

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 89 (1991)

Heft: 10

Artikel: Europäischer Erdbeobachtungssatellit ERS-1 zur Erforschung unserer Umwelt

Autor: Nüesch, D. / Schmidt, M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-234605>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 04.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Europäischer Erdbeobachtungssatellit ERS-1 zur Erforschung unserer Umwelt

D. Nüesch, M. Schmidt

Die Mission des ersten europäischen Fernerkundungssatelliten wird in ihrer Zielsetzung, ihrer technischen Realisierung und ihrer Bedeutung für die weiteren Zukunftspläne der europäischen Erdbeobachtung dargestellt. Der European Remote Sensing Satellite (ERS-1) erfasst die globalen Kreisläufe von Wasser und Wärme in den Meeren, überwacht die arktischen und antarktischen Eisbedeckungen, ortet Eisberge, meldet Änderungen der Erdoberfläche, liefert Daten über den klimabeeinflussenden Energieaustausch zwischen Bodenoberfläche und Atmosphäre, registriert dynamische Prozesse in küstennahen Gewässern und hilft beim Lokalisieren von Meeresverschmutzungen. Ferner wird durch genaue Beobachtung seiner Umlaufbahn eine genauere Erfassung des ozeanographischen Geoides (aus dem Schwerefeld hergeleitete mathematisch vereinfachte Erdfigur) ermöglicht. Dies sind wichtige Beiträge zur Lösung brennender Umweltprobleme. Mit der Bewältigung dieser technologischen Herausforderung der ERS-Mission setzen europäische Wissenschaftler, Forscher und Ingenieure für die neunziger Jahre einen Meilenstein der Erdbeobachtung aus dem Weltraum.

Grâce au lancement d'ERS-1 le 16 juillet 1991, le premier satellite de télédétection voué à l'étude de toute la surface du globe, les anomalies climatiques, le niveau des mers, la dynamique des courants marins, les zones de glace et les terres émergées auront bientôt moins de secrets. – Le radar à synthèse d'ouverture ou SAR est le plus remarquable des instruments embarqués sur ERS-1. Le SAR produit de jour comme de nuit des données scientifiques très importantes de nombreux domaines, depuis la pollution des mers par les hydrocarbures jusqu'au recul des forêts tropicales ou l'évolution annuelle des glaces de l'océan Arctique et Antarctique. Le diffusiomètre vent et l'altimètre radar fournissent des données détaillées sur la force et la direction, la pente et la distribution spectrale des vagues. La température de surface des océans sert en quelque sorte de «baromètre de l'effect» de serre» lorsqu'elle est évaluée à l'échelle du globe, comme le fait le radiomètre à balayage de long de trace (ATSR). – L'un des objectifs de la mission est de faire en sorte que cette masse de données parvienne aux utilisateurs dans les délais les plus brefs.

schon einige Simulationen existieren, von denen er sich Aufschluss über Veränderungen seiner Umwelt erhofft, ist er in Zukunft dringend auf zuverlässige Daten des Ist-Zustandes angewiesen, die es ihm erlauben, mit genügender Genauigkeit Modellrechnungen durchzuführen, welche uns die zukünftigen «Trends» aufzeigen könnten. Da es sich hier um grossräumige, ja globale Fragen handelt, drängt sich der Einsatz von Satelliten nachgerade auf, die ihm in idealer Weise sowohl das Beobachten der Erdoberfläche als Gesamtheit (Synoptik), als auch das rasche wissenschaftliche Erfassen von Einzelercheinungen ermöglichen.

Das Erdbeobachtungsprogramm der Europäischen Weltraumorganisation ESA hat sich zum Ziel gesetzt, auf dem Gebiet der Umweltbeobachtung einen Beitrag zu leisten und mit dem Start des ERS-1 als Vorläufer einer Reihe europäischer Fernerkundungssatelliten in den 90er Jahren einen Anfang gemacht.

Die gesammelten Daten des ERS-1 Satelliten werden erstmals tiefe Einblicke in die physikalischen, biologischen und anderen Zustandsgrössen von Land, Wasser und Luft vermitteln. Damit wird eine breite Palette von Disziplinen wie Meteorologie, Klimatologie, Atmosphärenphysik, Hydrologie, Ozeanographie, Glaziologie, Geologie, Geographie, Land- und Forstwirtschaft in die Lage versetzt, Einzeldaten von lokaler, regionaler und globaler Bedeutung zu verknüpfen.

ERS-1 Missionsziele

Der erste europäische Fernerkundungssatellit ERS-1 ist ein Meilenstein für die Erdbeobachtung aus dem Weltraum in

Einführung

Die unterschiedlichen Systeme der Litho-, Hydro-, Bio- und Atmosphäre sind in mannigfacher Weise gekoppelt; zum Teil bestehen sehr enge Wechselwirkungen. Zudem hat der Mensch seit dem 19. Jahrhundert seine Umwelt erwiesenermassen auf entscheidende Weise beeinflusst. Er greift immer massiver durch industrielle und landwirtschaftliche Produktionen in die Kreisläufe der Atmosphäre, der Landmassen und Ozeane ein. Er ist sich wohl bewusst, dass er einen bestimmten, eventuell verhängnisvollen Prozess in Gang gesetzt hat, aber seine heutigen Kenntnisse über die Beziehungen der einzelnen Teilsysteme und im besonderen der Einfluss des Menschen auf das Gesamtsystem Erde sind noch sehr spärlich. Obwohl

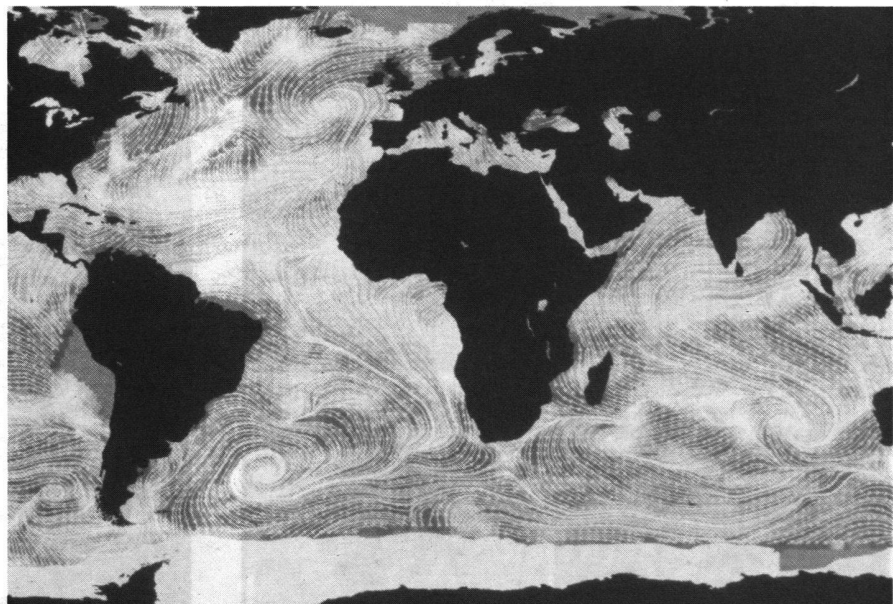
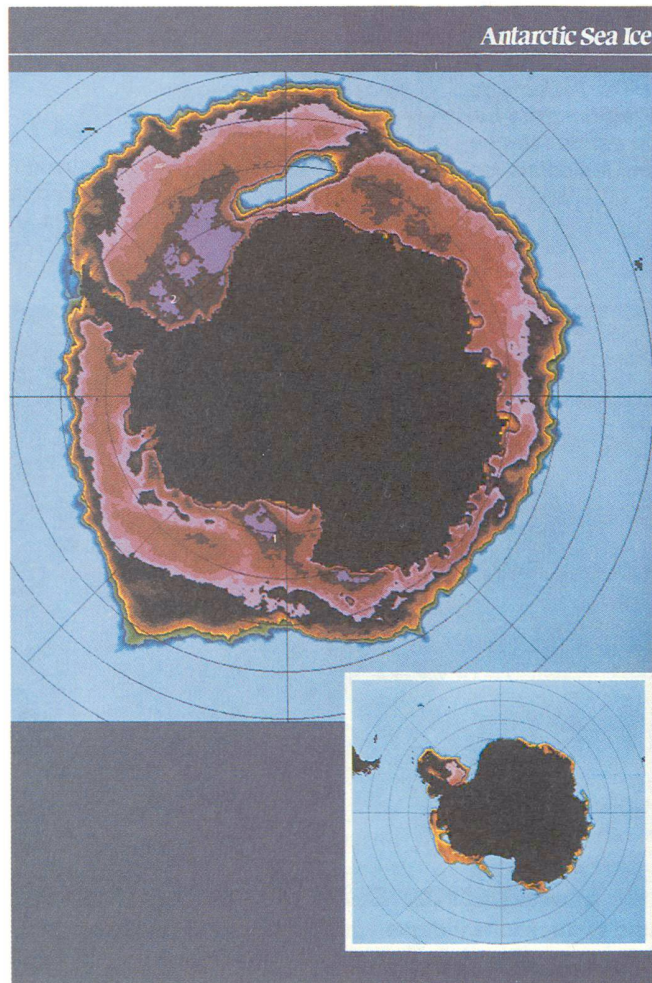
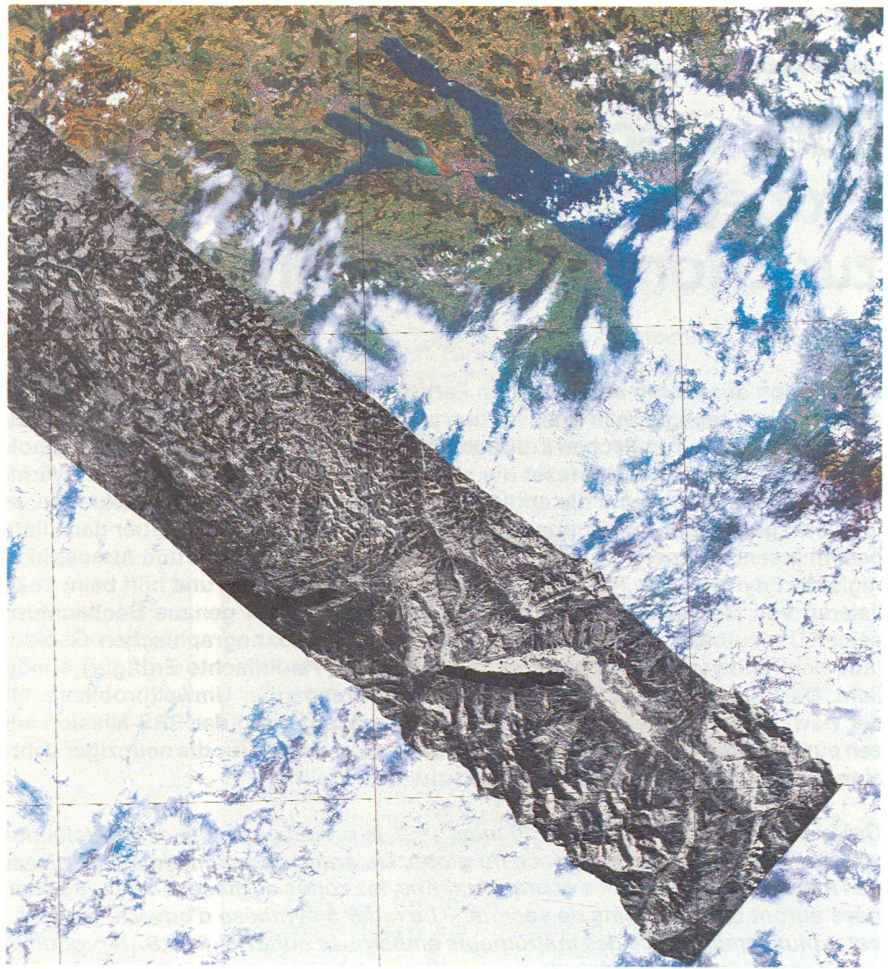


Abb. 1: Windrichtung und Windgeschwindigkeit ermittelt aus Seasat-Scatterometer Daten. Quelle: P. Woiceshyn, JPL, M.G. Wurtele, UCLA & S. Peteherych, AES/CDN.

Ergänzte Fassung aus «Schweizer Ingenieur und Architekt» (SI+A) 19/1991.

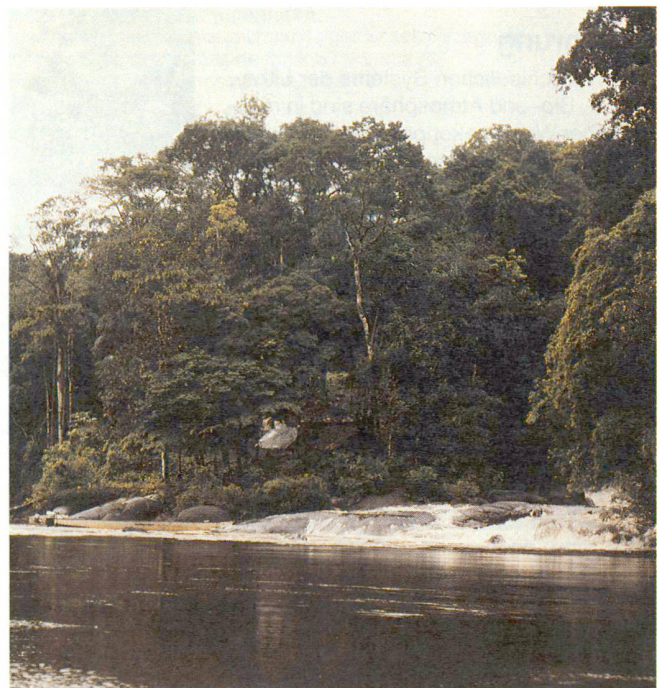
den 90er Jahren. Das Programm verfolgt wirtschaftliche und wissenschaftliche Ziele. Einerseits ist mit der Entwicklung von hochspezialisierten Sensorsystemen innerhalb eines komplizierten Raumsegmentes und dem Aufbau eines leistungsfähigen Bodensegmentes in Europa der Anschluss an die amerikanische Vormachtstellung in einem ersten Ansatz geglückt, andererseits muss jetzt in einem zweiten Schritt erst noch demonstriert werden, dass die vorgesehenen Messungen verschiedener Parameter sinnvoll für die Lösung der brennenden Umweltprobleme eingesetzt werden können. Die primäre Zielsetzung des ERS-1 ist die Erforschung und Überwachung von Ozeanen und Polargebieten. Mehrheitlich mit Mikrowellensystemen ausgerüstet, öffnet er dank seiner Unabhängigkeit von Sonnenlicht und

Abb. 2: Überlagerung von Landsat TM 194/27 und Shuttle Imaging Radar (SIR-B) vom Oktober 1984. Courtesy of: SIR-B Processierung: DLR Oberpfaffenhofen; Digitale Farbmaskierung Landsat TM: Institut für Kommunikationstechnik ETH-Zürich; Geocodierung und Mosaikierung: Erich Meier, Remote Sensing Laboratories, Universität Zürich.



◀ **Abb. 3:** Winterliche und sommerliche Ausdehnung der Eismassen in der Antarktis, 80% der winterlichen Eisdecke schmilzt im Sommer ab. Quelle: NASA-JPL.

Abb. 4: Auch die tropischen Regenwälder sollen mit ERS-1 näher untersucht werden (Abholzung). Quelle: ESA.



seiner Fähigkeit Wolken zu durchdringen, der Umweltdiagnostik für die schwer zu beobachtenden Gebiete der Erde ein wichtiges «Fenster». Als Illustration dazu zeigt Abbildung 2, wie eine teilweise bewölkte Landsat Thematic Mapper Szene der Ostschweiz mit Daten des Shuttle Imaging Radar (SIR-B) ergänzt wurde.

Wesentliche Beiträge werden von der ERS-1 Mission zu folgenden Problemkreisen erwartet:

- Verbesserte quantitative Erfassung der globalen Kreisläufe von Wasser und Wärme unter besonderer Berücksichtigung der Meeresströmungen, des an der Wasseroberfläche stattfindenden Energieaustausches zwischen Ozeanen und der Atmosphäre sowie der täglichen, saisonalen und jährlichen Schwankungen im Hinblick auf die Erstellung von präziseren Klimamodellen (Abb. 1).
- Bessere Überwachung der arktischen und antarktischen Eisbedeckung für zuverlässige Schätzungen der Massenbilanz des Wasserhaushaltes. Die genauere Erfassung der flächenhaften Ausdehnung der Oberflächentemperatur und Oberflächenrauigkeit von eisbedeckten Regionen sind wichtige Grössen und dienen als Indikatoren im

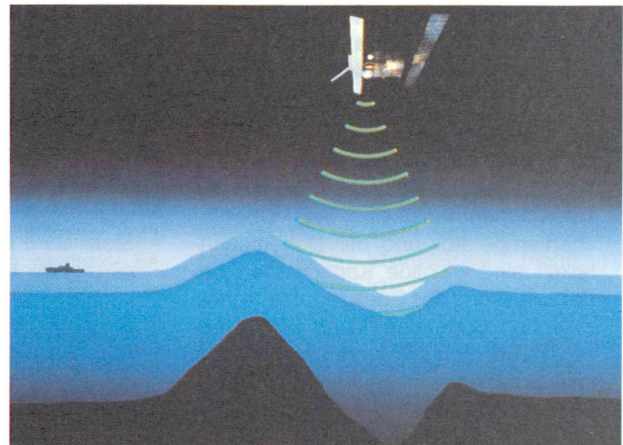


Abb. 5: Graphische Darstellung wie mit Hilfe des ERS-1 Satelliten die submarine Topographie untersucht wird. Quelle: ESA.

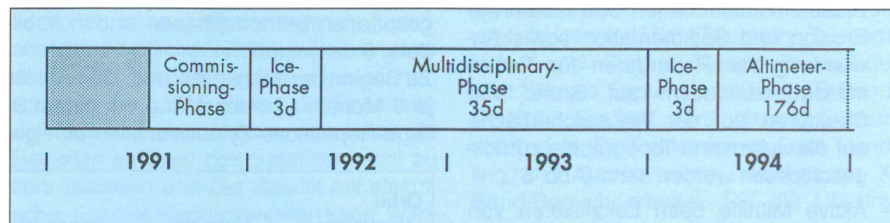


Abb. 6: ERS-1 Orbit Szenario.

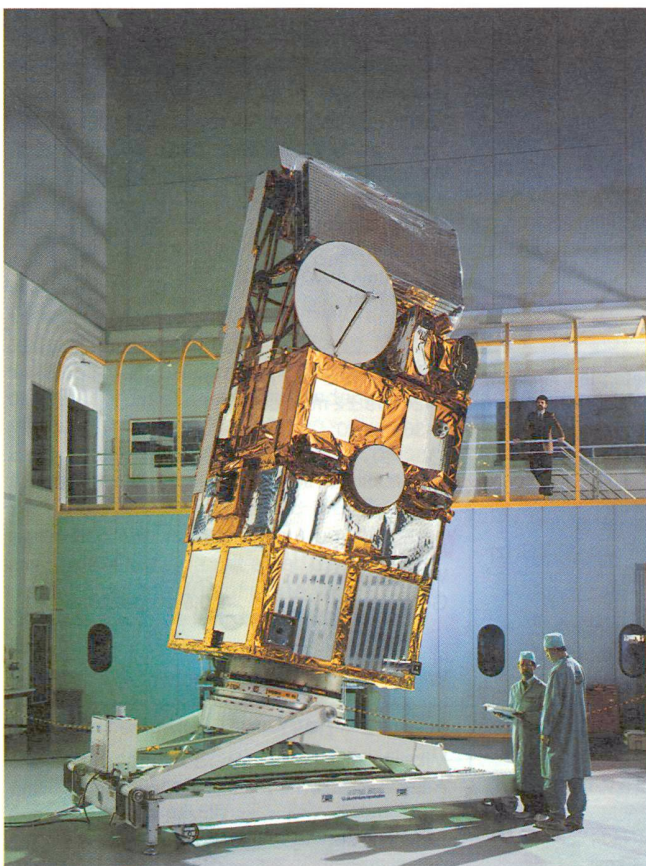


Abb. 7: Flug-einheit des ERS-1 Satelliten in Startkonfiguration. Die Antennen sind zusammengelegt. Die untere Hälfte des Satelliten stellt die Plattform dar, die obere die Nutzlasteinheit. Quelle: ESA.



Abb. 8: Nutzlastmodul mit wissenschaftlichen Experimenten. Die Struktur wurde durch Contraves in Zürich gebaut. Quelle: ESA.

kontroversen Diskussionsfeld der «globalen Erwärmung» und deren möglichen Auswirkungen für die Menschheit (Abb. 3).

- Ständige Überwachung der Änderungen der Landoberfläche insbesondere der Vegetationsdecke. Messungen der Oberflächenrauigkeit, der Oberflächentemperatur und der Bodenfeuchtigkeit sind wichtige Kenngrößen bei der Erfassung des Energieaustausches zwischen Bodenoberfläche und Atmosphäre und somit Faktoren, welche das lokale und das globale Klima beeinflussen. Mit Hilfe des Radars mit synthetischer Apertur wird es zum ersten Mal möglich, den Kahlschlag in den fast ständig bewölkten tropischen Regenwäldern flächenmässig zu erfassen (Abb. 4).
- Registrierung von dynamischen Prozessen in küstennahen Gewässern wie Erosion und Sedimentation sowie Anwendung der Radardaten für Tiefenmessungen, indem auf Grund von Strukturen auf der Wasseroberfläche auf die submarine Topographie zurückgeschlossen werden kann (Abb. 5).
- Aktive Mithilfe beim Lokalisieren von Meeresverschmutzungen (bei Tag und Nacht) wie Ölunfällen mit ihren verheerenden Folgen für die lokale marine Flora und Fauna sowie der wirtschaftlichen Auswirkung auf dem Gebiete der Fischerei und des Tourismus.
- Abgrenzung von Eis und Wasser sowie Analyse des Zustandes von Meereis, Orten von Eismassen (Eisbergen) und Vorhersage über deren Bewegungen für die Optimierung der internationalen Schifffahrt und Exploration in Subpolargebieten.
- Genaue und dichte ERS-1 Bahnbeobachtungen werden genutzt, um existierende Erdschweremodelle zu verfeinern. Bei Kenntnis der gemessenen Bahn des Satelliten erlaubt eine aufwendige Prozessierung der Altimeterdaten, Meereshöhen global und mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zu berechnen. Damit soll auch eine genauere Erfassung des ozeanographischen Geoides ermöglicht werden.
- Im Vergleich zu vergangenen Erdbeobachtungsmissionen wird ERS-1 innerhalb weniger Stunden nach der Datenaufnahme bestimmte Datenprodukte über ein sogenanntes «Fast Delivery» Verteilnetz den interessierten Benutzern zustellen können. Mit diesem Service soll es auch möglich sein, unmittelbar auf Ereignisse, wie z.B. Katastrophenfälle, zu reagieren.

Missionsphasen

Im Anschluss an den Start, der am 17. Juli 1991 stattgefunden hat, wird der Satellit in

einer sogenannten «commissioning phase» auf seine zukünftige Aufgabe im Weltraum vorbereitet und getestet. Dabei wird er ganz bestimmte Kontrollaufgaben über sich ergehen lassen müssen, bevor er im Routinebetrieb den verschiedenen Benutzern die gewünschten Daten liefern kann. Dazu gehören unter anderem:

- Stabilisierung der Plattform und Verfeinerung der Umlaufbahn
- Inbetriebnahme, Überwachung und Evaluierung von Subsystemen, die der Energieversorgung, der Übermittlung von Steuerbefehlen oder Sensordaten dienen
- Betreiben der eigentlichen Sensorsysteme

Nach einer erfolgreichen Testphase mit einem Repetitions-Zyklus von drei Tagen, bleibt die Plattform voraussichtlich bis Ende 1991 auf dieser Umlaufbahn. Die vorgesehenen Betriebsphasen sind in Abbildung 6 dargestellt.

Zu Beginn der Jahre 1992 und 1994 soll für je 3 Monate (Januar–März) mit einem 3-Tage-Repetitions-Zyklus vor allem eine ge-

naue Überwachung der überdeckten Gebiete während des arktischen Winters garantiert werden. Bis Ende 1993 wird mit einem 35-Tage-Zyklus die sogenannte «Multidisciplinary Phase» vorgesehen, welche möglichst viele der gewünschten Missionsziele berücksichtigen soll (siehe spezifische Anwendungen). Während der 3-Tage-Zyklus in hohen Breiten eine gute räumliche und zeitliche Überdeckung ermöglicht, entstehen in Äquatornähe bedeutende «Löcher». Aus diesem Grunde wurde für diese Gebiete ein 35-Tage-Zyklus gewählt, der eine lückenlose Abdeckung erlaubt. Ab 1994 ist mit einem 176-Tage-Zyklus für vornehmlich geodätische Anwendungen vorläufig die letzte Phase der ERS-1-Mission geplant.

Der ERS-1 Satellit und seine Nutzlast (Raumsegment)

Die Europäische Weltraumorganisation ESA hat sich zum Ziel gesetzt, die breite Palette der Fernerkundung mit der Reali-

Orbit		Gewicht	
Umlaufbahn:	fast polar	Wiederholungsrate:	3,35 oder 176 Tage
Inklination:	98,5°	Überflug:	
Nominale Höhe:	785 km	22.30 Uhr (aufsteigender Modus)	
		10.30 Uhr (absteigender Modus)	
Active Microwave Instrumentation (AMI)			
Arbeitsbereich:	C-Band (5,3 GHz)	Polarisation:	Neigung: 23°
		Linear/Vertikal	
SAR-Sensor			
Abbildender Modus		Wellenmodus	
Räumliche Auflösung:	30 · 30 m ² (100 · 100 m ²)	Auflösung:	
Radiometr. Auflösung:	2,5 dB (1 dB)	Wellenrichtung:	0–360° ± 15%
Abtaststreifen:	80 km / kontinuierlich	Wellenlänge:	100–1000 m ± 20%
		Radiometr. Auflösung:	2 dB
		Aufnahmezellen:	5 · 5 km ² / alle 200/300 km
Wind-Scatterometer (3 Antennen, Anstellwinkel 45°, 90° und 135°)			
Auflösung:	Windgeschwindigkeit:	4–24 m/s ± 2 m/s oder 10%	
	Windrichtung:	0–360° ± 20°	
Radiometr. Auflösung:	7 dB		
Auflösungszellen:	50 · 50 km ² / in 500 km breiten kontinuierlichen Streifen		
Radar-Altimeter			
Arbeitsbereich:	Ku-Band (13,8 GHz)	Signifikante Wellenhöhen:	1–20 m
Genauigkeit (Höhenmessungen):	± 10 m relativ	Genauigkeit:	± 0,5 m oder 10%
Auflösungszellen:	1–2 km / alle 6 km	Windgeschwindigkeit:	wie oben
Along-Track-Scanning-Radiometer			
Infrarotradiometer		Mikrowellensondierer	
Arbeitsbereich:	1,6, 3,7, 11, 12 µm	Arbeitsbereich:	Ka-Band (28,3 und 36,5 GHz)
Messwinkel:	0° (Nadir) und 46,9°	Räumliche Auflösung:	20 km
Räumliche Auflösung:	1 · 1 km ²	Abtaststreifen:	20 km / kontinuierlich
Radiometr. Auflösung:	< 0,1° K		
Abtaststreifen:	500 km / kontinuierlich		

Tab. 1: Einige wichtige technische Daten des ERS-1.

sierung des ersten europäischen Fernerkundungssatelliten ERS-1 zum Teil abzudecken. Da man von Anfang an beabsichtigte, möglichst viele Messungen mit Mikrowellensensoren durchzuführen, ist die wissenschaftliche Nutzlast sehr umfangreich ausgefallen

Um die gestellten Aufgaben in vollem Umfang erfüllen zu können, wurde der Satellit mit verschiedenen Antennen – die grösste ist 10 × 1 Meter gross – ausgerüstet. Mit diesem Antennenpaket werden aus der Erdumlaufbahn die Signale zur Erde ausgesandt und die Echos wieder empfangen. Aufgrund der hochgesteckten Ziele ist der Satellit sehr voluminös geraten. Mit entfalteten Antennen ist er 11,8 Meter hoch und sein Gewicht beträgt 2,4 Tonnen. Davon entfallen allein auf die wissenschaftliche Nutzlast über 1000 Kilogramm, welche bei vollem Betrieb über 1 Kilowatt an elektrischer Energie konsumiert. Auch die Erdumlaufbahn musste nach den Beobachtungskriterien ausgesucht werden. ERS-1 umkreist die Erde in einer fast polaren Erdumlaufbahn mit 98,5° Neigung zum Äquator. Diese sonnensynchrone Bahn liegt 785 Kilometer über der Erdoberfläche.

Vor dem ersten europäischen Fernerkundungssatelliten war bislang 1978 der amerikanische experimentelle Satellit SEASAT-1 zur Ozeanüberwachung gestartet worden. Seine eindrucklichen Ergebnisse haben den Bau von ähnlichen Satelliten gefördert. SEASAT-1 arbeitete leider nur etwa drei Monate lang. Die Informationen, welche aber in dieser kurzen Zeit zur Erde übertragen wurden, bewiesen, dass man aus dem Weltraum in globalem Umfang sowohl ozeanographische Ereignisse als auch Merkmale der Erdoberfläche untersuchen kann. SEASAT-1 war der erste zivile Satellit, der zur Untersuchung der Erde mit einer Anzahl von Instrumenten ausgerüstet war, die vor allem im Mikrowellenbereich arbeiteten und unter anderem Radarbilder von verschiedenen Regionen der Erde aufzeichneten.

ERS-1 soll nun verbesserte Daten dieser Art liefern und wurde in der Nacht vom 16. zum 17. Juli 1991, um 03.46 MESZ, vom europäischen Raumflugzentrum Kourou auf franz. Guayana mit einer Trägerrakete des Typs Ariane 40 auf seine, in die Nähe der Pole der Erde führende Bahn transportiert.

Überwachung und Steuerung

Die sogenannte *LEOP (Launch and Early Orbit Phase)* Operation ist eine kurze aber äusserst kritische Phase der gesamten ERS-1 Mission. Es handelt sich dabei um den Start und die erste Phase nach dem Einschuss des Satelliten in die 785 Kilometer hohe Erdumlaufbahn. Die Überwachung und Steuerung des Satelliten in der LEOP und während der Mission obliegt

dem europäischen Kontrollzentrum der ESA in Darmstadt, dem ESOC (European Space Operations Center). Nach dem von Kourou aus kontrollierten Start der Ariane 40 mit ERS-1 hat das ESOC in Darmstadt den Satelliten zur weiteren Kontrolle übernommen. Die Operationen werden aus dem Operations Control Center (OCC) durchgeführt. Da ERS-1 auf seiner polaren Erdumlaufbahn (die Bahnneigung beträgt 98,5°) in 785 Kilometer Höhe die Erde in rund 100 Minuten einmal umkreist, vollbringt der Satellit pro Tag ca. 14 Erdumläufe und hat dabei eine Relativgeschwindigkeit zur Oberfläche von ca. 7,5 km pro Sekunde. Deshalb ist er bei jedem Umlauf nur für kurze Zeit im Sichtbereich einer Bodenstation. Während der 100 Minuten Umlaufdauer wird er nur zwischen vier und zwölf Minuten für die Bodenstation erfassbar. Die Durchführung der Telekommandos durch das Kontrollzentrum stellt an die Techniker hohe Anforderungen in logistischer und zeitlicher Hinsicht. So war denn auch eine der wichtigsten Operationen während der LEOP-Phase die Entfaltung des Solarzellengenerators, damit sich die Batterien an Bord des Satelliten nicht zu sehr entladen und der Satellit mit elektrischer Energie versorgt werden kann. Während der LEOP-Operationen mussten deshalb die Befehle an den Satelliten durch das ESOC über nicht weniger als fünf Bodenstationen in Südamerika (Kourou und Santiago), Nordamerika (Wallops, Fairbanks) und Australien (Perth) übermittelt werden.

Nur 20 Sekunden nach der Trennung der Dritten Stufe vom Satelliten übernahm das ESOC über die Antenne von Wallops die Kontrolle von ERS-1. Während der ersten drei Erdumkreisungen wurden die folgenden LEOP-Operationen durchgeführt:

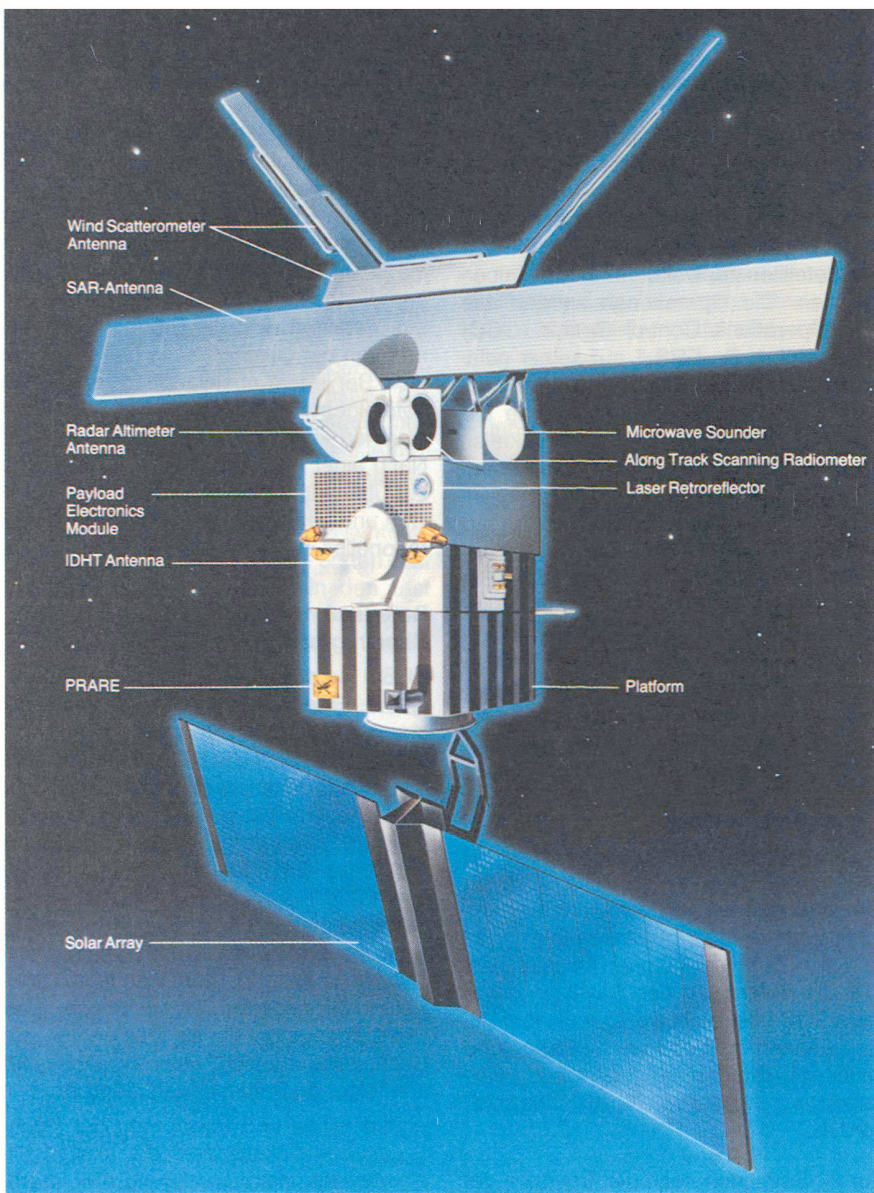
Nachdem die Bahn des Satelliten nach einigen Umläufen genau vermessen und entsprechend korrigiert worden ist, bewegt sich ERS-1 auf einer sogenannten sonnensynchronen Bahn und erfüllt damit die Bedingung für gleiche Ortszeit bei Wiederholungsaufnahmen. Vom Satelliten aus gesehen wird die Erdoberfläche immer von der gleichen Seite her «beleuchtet». Bei jedem absteigenden, respektive aufsteigenden Orbit findet der Satellit die gleichen «Beleuchtungsverhältnisse» vor. Nach einer Zeit von rund sechs Monaten zur Überprüfung der Funktionen des Satelliten und der Instrumente beginnt die operationelle Phase von ERS-1.

Datensammel- und Übertragungssystem (IDHT)

ERS-1 verfügt über zwei Telemetriesysteme. Einerseits über das klassische Telemetrie-, Befehlsgebungs- und Kontrollsystem, das als TCC (Telemetry, Telecommand and Control)-System bezeichnet wird. Dieses System arbeitet im S-Band-Bereich. Ergänzt wird dieses System durch das IDHT (Instrument Data Handling and Transmission), welches im X-Band-Bereich arbeitet. Für die Übertragung der sehr hohen Datenraten der Nutzlastinstrumente des Satelliten ist ein spezielles bordeigenes Datensammel- und Übertragungssystem als Bestandteil der Nutzlast erforderlich. Mit dem IDHT sind nun folgende Betriebsarten möglich:

- Akquisition und Übertragen der Hochgeschwindigkeitsdaten der aktiven Mikrowellen Instrumentierung AMI im abbildenden SAR-Modus in Echtzeit. Die anfallende SAR-Image Mode Datenmenge ist so gewaltig (105 Mbit/s), dass sie nicht an Bord zwischengespeichert werden kann.

– Entfalten der zweiten S-Band-Antenne (1. S-Band-Antenne ist schon beim Start betriebsbereit)	}	Wallops-Antenne
– Entfalten der ATSR-Nutzlast-Antenne		
– Ausfahren des Solarzellenpaddel-Arms	}	Perth-Antenne
– Stabilisierung des Satelliten in Bezug auf Höhe und Ausrichten zur Erde mit Hilfe der Lagekontrolldüsen		
– Entfalten des Solarzellengenerators		
– Entfalten der SAR-Antenne	}	Santiago-Antenne
– Entfalten der Scatterometer-Antennen		
– Aktivieren des Nachführmotors für den Solargenerator	}	Wallops-Antenne
– Rotation des Solargenerators		
– Freigabe der «Reaction Wheels» (Kreiselsteuerung) über ein Bodenkommando		
		Fairbanks-Antenne



- Akquisition und Übertragen der Messdaten der übrigen Instrumente mit mittlerer Datenrate (4,4 Mbit/s).
- Akquisition und bordeigene Speicherung der Daten mit mittlerer Rate.
- Playback (15 Mbit/s) und Übertragung der Daten vom Bandspeicher.

Die beiden Aufzeichnungsgeräte verfügen über ein 1/4" (Zoll) Magnetband von 1000 Metern Länge mit einer Gesamtspeicherkapazität von 6,5 Gigabit. Die Magnetbänder sammeln die Daten mittlerer Datenrate. Die Speicherung erfolgt kontinuierlich während eines gesamten Umlaufs mit einer Rate von 1,1 Megabit pro Sekunde. Die Aufzeichnung der gewaltigen Datenmenge der wissenschaftlichen Instrumente ist daher notwendig, weil der Satellit auf seiner Erdumlaufbahn nur während kurzen «Fenstern» mit einer der Bodenstationen Kontakt hat und die Datenpakete abgerufen werden können.

Die Plattform

Der Satellit ERS-1 ist aus drei Teilen aufgebaut: Ein Solargenerator zur Energieversorgung, eine Plattform zur Unterbringung der Untersysteme und ein Nutzlastmodul mit Tragstruktur für die Antennen. Die Plattform für den ERS-1 Satelliten wurde vom französischen Fernerkundungssatelliten SPOT übernommen und durch die Firma Matra gebaut. Sie ist würfelförmig

Abb. 9: Anordnung der Experimente und Betriebseinheiten beim ERS-1 Satelliten. Quelle: Dornier.

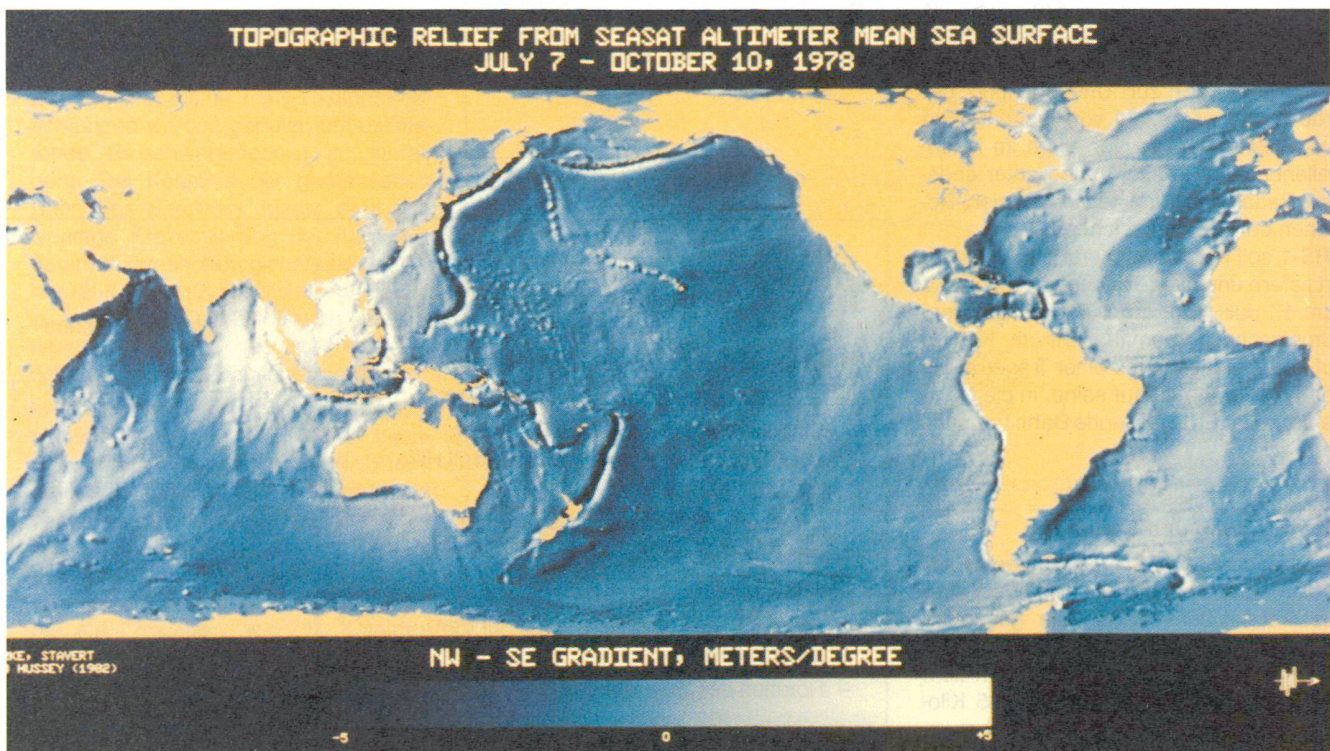


Abb. 14: Meerestopographie mit dem Radar-Altimeter des Seasat-1. Quelle: NASA-JPL.

und bildet eine in sich geschlossene Einheit. Die Kantenlänge beträgt ungefähr zwei Meter. Sie beherbergt alle notwendigen Systeme, die für Steuerung und Betrieb des Satelliten notwendig sind. Dazu gehört ein Lageregelungssystem, welches von vier Tanks mit zusammen 300 Kilogramm Hydrazin gespeisen wird. Im weiteren sind der zentrale Bordrechner sowie die Elektronik für die Kommunikation und die beiden Bandaufzeichnungsgeräte in diesem Teil des Satelliten untergebracht. Über die Instrumente in der Plattform erhält die Bodenstation auch die Informationen zum Status des Satelliten und der wissenschaftlichen Experimente. Am unteren Ende der Plattform ist der Solarzellengenerator montiert. Als Unterstützung für den Betrieb der Bordsysteme befinden sich auch vier Batterien in der Plattform. Sie haben vor allem die Instrumente während jenen 34 Minuten pro Umlauf zu versorgen, in welchen sich der Satellit im Erdschatten befindet. Der Solarzellengenerator seinerseits muss in den übrigen 66 Minuten pro Umlauf die Batterien wieder aufladen und die wissenschaftliche Nutzlast mit Strom versorgen. Er besteht aus zwei 5,8 Meter langen und 2,4 Meter breiten zusammenfaltbaren Paneelen aus verstärktem Kapton. Die Oberfläche ist mit 22 260 Solarzellen bestückt und wird nach einer Betriebszeit von zwei Jahren noch eine Leistung von 1,8 Kilowatt hervorbringen. Nach dem Entfalten im Weltraum ist der Solargenerator 11,7 Meter lang und wird laufend auf die Sonne ausgerichtet (Abb. 7).

Das Nutzlastmodul

Am gegenüberliegenden Ende des Solargenerators ist auf der Plattform das Nutzlastmodul von gleicher Grundfläche befestigt. Es wird als MPSS (Main Payload Support Structure) Haupt-Nutzlast-Unterstützungs-Struktur bezeichnet und ist zweigeteilt. Einerseits in das PEM (Payload Electronic Module) und andererseits in die Antennentragstruktur ASS (Antenna Support Structure). Die Abmessung des Nutzlastmoduls inklusive Antennentragstruktur misst 2×2 Meter in der Länge und Breite und ist 3 Meter hoch. Wichtig ist, dass das Nutzlastmodul völlig von der Plattform getrennt ist, und zwar mit einem nicht ladungstragenden elektromagnetischen Schild. Dies damit die wissenschaftliche Nutzlast nicht durch die elektrischen Felder der Bordinstrumente in der Plattform beeinträchtigt wird. Das Nutzlastmodul beinhaltet die Elektronik für die verschiedensten wissenschaftlichen Instrumente. Die Sensoren der Experimente sind an der Antennenstruktur und an der Aussenseite des Moduls befestigt. Es sind dies die Antenne für das SAR (Synthetic Aperture Radar), die drei Antennen für den Wind-Scatterometer, die Radarhöhenmesser-Antenne (Radar Altimeter Antenna),

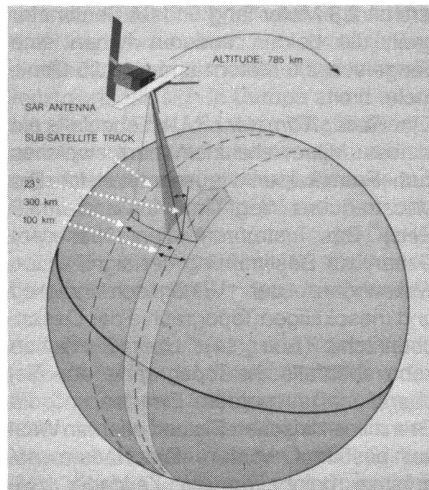


Abb. 10: Arbeitsweise der SAR im Bild-Modus und Umlaufbahn des Satelliten. Quelle: ESA.

die Sensoren für das ATSR-M (Along-Track-Scanning-Radiometer), sowie der Laser-Retro-Reflektor. Schliesslich ist auch die parabolförmige Kommunikationsantenne am Nutzlastmodul angebracht (Abb. 9).

Das europäische Industrieteam

Die Europäische Weltraumorganisation ESA hat am 29. Oktober 1986 der europäischen Raumfahrtindustrie den Auftrag zum Bau von ERS-1 erteilt. Der ERS-1 Auftrag wurde von der ESA an die deutsche Raumfahrtsunternehmung Dornier GmbH in Friedrichshafen als Hauptauftragnehmer für ein Firmenkonsortium aus zwölf europäischen Ländern und Kanada erteilt. Rund 80% wurden von Dornier in Form von Unteraufträgen an rund 50 Firmen weitergegeben. Neben der Systemführung wurden bei Dornier wichtige Teilsysteme, unter anderem die SAR-Antenne, entwickelt und gebaut. Wichtige Unterauftragnehmer sind die französische Firma Matra (F), welche die Plattform entwickelt hat, sowie Marconi (GB), Selenia (I) und Fokker (NL). Auch die Schweiz ist am ERS-1 Bau mitbeteiligt. Das in Zürich ansässige Unternehmen Contraves hat am Unterauftrag für Dornier die Struktur des Nutzlastmoduls gebaut (Abb. 8). Ausserdem konnte die gleiche Firma noch für verschiedene Instrumente Mechanismen bauen, so die Sonnenschutzvorrichtungen für das ATSR-M.

Während über vier Jahren haben mehr als 2000 Personen am ERS-1 Projekt gearbeitet.

Die wissenschaftliche Instrumentierung

Bei der *Aktiven Mikrowelleninstrumentierung (AMI)* handelt es sich um zwei getrennte Radarantennensysteme, bestehend aus dem SAR (Synthetic Aperture Radar) für den Betrieb im «Image Mode»

oder «Wave Mode» und dem Scatterometer für den Betrieb im «Wind Mode». Jedes System kann einzeln betrieben werden. Der Betrieb des «Image Mode» erlaubt keine gleichzeitige Erfassung der Daten im «Wave-» oder «Wind-Mode», jedoch ist ein kombinierter «Wind/Wave-Mode» vorgesehen.

Im *Bild-Modus* wird mit Hilfe der 10×1 Meter grossen SAR-Antenne ein 100 km breiter Streifen auf der Erdoberfläche erfasst. Über die Antenne werden kohärente Pulsfolgefrequenzen ausgestrahlt und die zurückgestreuten Echos über dieselbe Antenne für die weitere Verarbeitung am Boden nach Betrag und Phase aufgezeichnet. Aufgrund der unterschiedlichen Echo- und Empfangszeiten können verschiedene Ziele am Boden quer zur Flugrichtung («Range») entfernungsmässig unterschieden werden. Um eine sehr hohe Entfernungsauflösung zu erhalten, werden relativ lange Pulse ausgesendet, die ihre Frequenz über die vorgegebene Systembandbreite linear ändern (frequenzmoduliertes Chirp-Signal) und bei der digitalen Verarbeitung am Boden mit Hilfe von Filterverfahren («matched filters») wieder komprimiert werden. Um eine hohe räumliche Auflösung in Flugrichtung («Azimuth») zu erzielen, bedient man sich der Tatsache, dass durch mehrfache «Beleuchtung» des Zieles Doppler-Effekte auftreten, die sich in einer permanenten Frequenzänderung des Zieles äussern. Diese Mehrfachbeleuchtung aus verschiedenen Richtungen wird durch die Vorwärtsbewegung der Plattform realisiert, die damit ein Aneinanderreihen zahlreicher realer Aperturen zu einer synthetischen Antennenapertur mit grosser Länge ermöglicht (bei ERS-1 ca. 800 m). Wenn die zurückgestreuten Signale aufgezeichnet und rechnerisch im Computer kombiniert werden, interferieren sie miteinander entsprechend ihrer unterschiedlichen Amplitude und Phase. Die räumliche Auflösung der SAR-Bilder soll pro Bildpunkt ungefähr 30×30 m auf der Erdoberfläche betragen (Abb. 10).

Die empfangenen Daten werden mit 105 Megabit pro Sekunde zur Bodenstation übertragen. Das ist mehr als alle anderen Instrumente zusammen liefern. Weil die SAR-Bilddaten nur in Echtzeit übertragen werden können, muss der Satellit im Empfangsbereich einer der drei grossen Bodenstationen sein, was natürlich Einschränkungen in der Auswahl der beobachtbaren Gebiete ergibt. Die SAR-Daten eignen sich gut zur Bestimmung von ein- und mehrjährigem Eis, zur Abgrenzung von Eis und Wasser, zur Beobachtung von Eisbergen und deren Bewegungen. Aber auch von Landstrichen können aussagekräftige Informationen zur Tektonik usw. gewonnen werden. Das SAR lässt sich ausserdem noch im erwähnten «Wave-Mode» (Wellen-Modus) einsetzen. In dieser Betriebsart werden alle 200 Kilometer

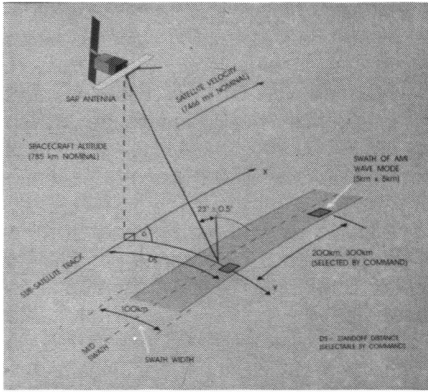


Abb. 11: Arbeitsweise des SAR im Wellen-Modus. Quelle: ESA.

«Schnappschüsse» von 5×5 Kilometern der Meeresoberfläche aufgenommen. Dabei misst das Instrument die Veränderung des Radarechos, welches durch die Wellen auf der Meeresoberfläche verursacht wird. Die im Wellenmodus gewonnenen Daten erlauben die Bestimmung von zweidimensionalen Wellenspektren (Abb. 11). Im «Wind-Modus» kommt der Scatterometer zum Einsatz. Er misst dabei die Veränderung der Radarrückstreuung, welche durch den Wind an der Meeresoberfläche entsteht. Für diesen Mode verwendet AMI drei verschiedene Antennen, die in Bezug auf die Flugrichtung des Satelliten mit jeweils 45° , 90° und 135° ausgerichtet sind. Das Messprinzip verlangt für jede Messzelle im überdeckten Streifen jeweils eine Messung mit jeder Antenne aus den verschiedenen Richtungen. Mit Hilfe eines mathematischen Modells werden aus den drei gemessenen Rückstreuquerschnitten die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung berechnet. Die Grösse der Auflösungszellen in Azimutrichtung ist durch die Grösse der Antennenaperturen (Öffnungen) bestimmt; in «Range» wird die räumliche Auflösung durch das sogenannte «Rang Gating» und entsprechende Datenverarbeitung am Boden erreicht (Abb. 12). Die drei Scatterometerantennen befinden sich oberhalb der SAR-Antenne, die mitt-

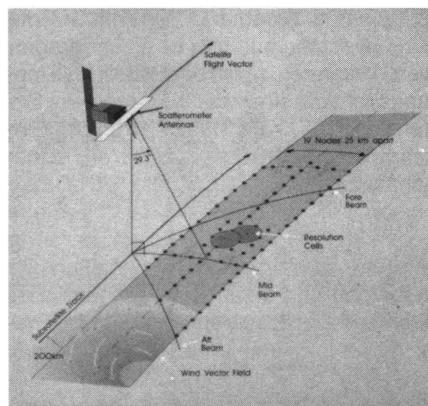


Abb. 12: Darstellung des Wind-Modus. Quelle: ESA.

lere ist 2,3 Meter lang und 34 Centimeter breit, die beiden anderen haben eine Länge von 3,6 Metern und sind 25 Centimeter breit.

Das Radar Altimeter (RA) ist ebenfalls ein aktives Mikrowelleninstrument, welches zum Erdmittelpunkt ausgerichtet ist. Die Messfrequenz liegt im Ku-Band (13,8 GHz). Das Instrument dient über dem Ozean zur Bestimmung der signifikanten Wellenhöhe, der Windgeschwindigkeit und mesokaligen Topographie der Ozeanoberfläche (Abb. 14). Über Eisflächen kann ebenfalls die Topographie der Eisoberfläche, ausserdem Eisarten und die Grenzlinie zwischen Eis und offenem Wasser bestimmt werden. Die Radarmessgrössen beinhalten die Zeitdauer zwischen Aussendung und Empfang eines Radarpulses, die Anstiegszeit (Slope) des Empfangssignals, die Amplitude des Radarechos und die Signalform (Abb. 13). Diese Messungen werden folgendermassen ausgewertet:

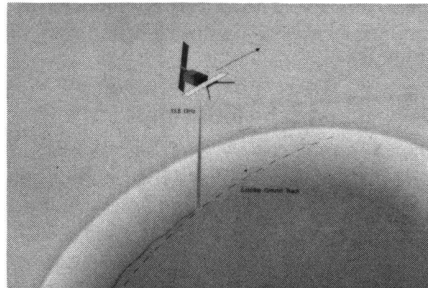


Abb. 13: Arbeitsweise des Radar-Altimeters. Quelle: ESA.

Der Abstand zwischen der Altimeterantenne und der Ozeanoberfläche wird aus der Signallaufzeit bestimmt, wobei die durch die Ionosphäre und die Troposphäre verursachten Einflüsse korrigiert werden müssen. Die entsprechenden Korrekturwerte können aus den Messungen des ATSR-M und des PRARE abgeleitet werden. Die absolute Kalibrierung des RA erfolgt unter Verwendung des Laser Retroreflektors beim Überfliegen von Laser- (Entfernungsmess-) Stationen.

Die signifikante Wellenhöhe (SWH) wird aus der Signalform des Radarechos berechnet.

Die Windgeschwindigkeit über dem Ozean wird aus der Stärke des Rückstreuungssignals abgeleitet, das ebenfalls zur Bestimmung der Grenze zwischen Wasser und Eis benützt wird.

Das Instrument liefert ausserdem für die wissenschaftliche Nutzung die über 50 msec. gemittelten Signalformen.

Das Along Track Scanning Radiometer und Mikrowellen Sondierer (ATSR-M) besteht aus zwei Instrumenten, einem Infrarotradiometer (IRR) und einem Mikrowellen Radiometer (MWR).

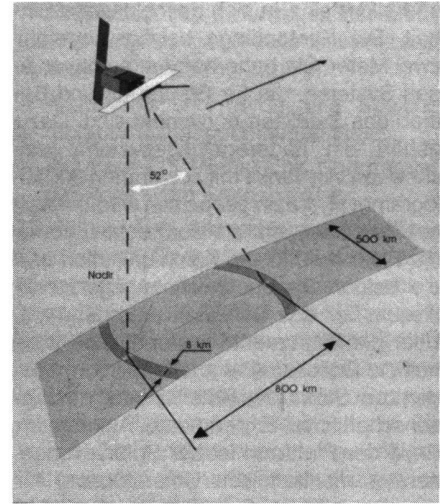


Abb. 15: Darstellung der ATSR-M Arbeitsweise. Quelle: ESA.

Das passive optische Infrarotradiometer tastet die Erdoberfläche gleichzeitig in zwei verschiedene Blickrichtungen in vier verschiedenen Wellenlängen (1,6; 3,7; 11; 12 Mikrometer) ab. Die Messaufgaben beinhalten die Bestimmung von: Temperatur der Meeresoberfläche, Temperatur der Wolkenoberfläche, Wolkenbedeckung, Strahlungsdichte von Land- und Eisoberfläche sowie Untersuchungen des Meereszustandes aus dem Sonnenglitter der Oberfläche. Die Genauigkeit der Temperatur für ein 50×50 Kilometer grosses Messfeld ist besser als $0,5$ Grad, vorausgesetzt, dass 20% der Messflächen wolkenfrei sind. Für wolkenfreie Flächen von 1×1 Kilometer ist die Ungenauigkeit kleiner als $0,1$ Grad.

Das zweite Instrument des ATSR-M ist ein Mikrowellensondierer, der zum Nadir ausgerichtet (Richtung Erdmittelpunkt) ist. Dieses Instrument verwendet eine 60 Centimeter Parabolantenne mit «Offset Feed», deren Frequenzen bei 23,8 GHz und 36,5 GHz liegen. Die hauptsächlichen Zielsetzungen sind die Bestimmung von atmosphärischem Wasserdampfgehalt, Gehalt von Wasser in flüssiger Form und Emissivität von Land und Eisflächen (Abb. 15).

Der Laser Retroreflektor ermöglicht die hochgenaue Bestimmung der Satellitenposition mit Hilfe von Laser-Messstationen. Diese Messungen werden für die Kalibrierung des RA benötigt, ausserdem dienen sie der genauen Bahnbestimmung des Satelliten, insbesondere der radialen Komponente.

Der Retroreflektor besteht aus einer Anordnung von prismatischen Elementen (Corner Cubes), welche Laserlicht reflektieren. Bei der Abstandsmessung werden von den Lasermessstationen monochromatische Lichtimpulse ausgesendet, von denen ein Bruchteil von den Corner Cubes zur Sendestation zurückreflektiert wird.

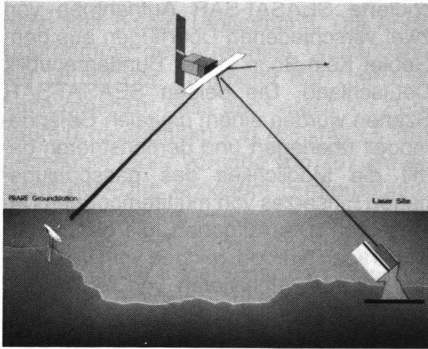


Abb. 16: Schema des PRARE und Laser-Retro-Reflektors. Quelle: ESA.

Aus der Messung der Laufzeit zwischen Sende- und Empfangsimpuls kann die Entfernung zwischen dem Satelliten und der Laserstation ermittelt werden (Abb. 16).

Schliesslich liefert das *Precise Range and Range Rate Equipment (PRARE)* genaue Messungen von Abstand und Abstandsänderung zwischen Bodenstationen und Satellit mit Hilfe von Zweiwegmessungen. Dieses Mikrowelleninstrument arbeitet im X-Band mit einigen Funktionen im S-Band. Die Laufzeitverzögerungen zwischen Sendung und Empfang im X- und S-Band werden gemessen und an die PRARE Bodenstation übertragen. Ausserdem besteht die Möglichkeit, die am Boden berechnete Zeitverzögerung zwischen dem S- und X-Band, aus der sich die Ionosphärenkorrektur ergibt, an den Satelliten zur bordeigenen Speicherung und späteren Verwendung zu übertragen.

Bodensegment

Damit weltweit verschiedenste Benutzer mit den unterschiedlichsten Anwendungsbedürfnissen berücksichtigt werden können,

wurde das ERS-1 Bodensegment für Empfang, Verarbeitung und Archivierung der Sensordaten als weltweites Netzwerk konzipiert, das sich in Europa aus Einrichtungen der ESA und ihrer Mitgliedsländer zusammensetzt. In Übersee garantieren spezielle Verträge mit den interessierten Partnerländern den lückenlosen Empfang sowie den eventuellen Vertrieb der Datenprodukte. Die Abbildung 17 stellt eine Übersicht des ERS-1 Bodensegmentes dar.

Satelliteneinsatzplanung und Kontrollfunktionen inklusive der Fernüberwachung der Empfangsstation Salmijaervi (Kiruna) gehören in den Verantwortungsbereich des Mission Management and Control Centre (MMCC) am European Space Operations Center (ESOC) in Darmstadt (D). Die Nutzerschnittstelle mit dem zentralen Katalog und dem Bestellwesen, der Qualitätssicherung der Datenprodukte sowie der Schnittstelle zum europäischen Kontrollzentrum (MMCC) für die Nutzlaststeuerung wurde der «Earthnet ERS-1 Central Facility» (EECF) am European Space Research Institute (ESRIN) in Frascati (I) übertragen.

Die sehr spezifische Konfiguration der Sensoren an Bord (siehe Kapitel «wissenschaftliche Instrumente des Raumsegmentes») des Satelliten in einer polnahen und sonnensynchronen Umlaufbahn verlangen ein sehr ausgeklügeltes System der Datenaufnahme und Datenübermittlung. Während die SAR-Daten (sehr hohe Datenrate) nicht aufgezeichnet, sondern nur im direkten Empfangsbereich einer Empfangsstation aufgenommen und übermittelt werden können, müssen alle Daten von Sensoren mit niedriger Datenrate (Scatterometer, Radar-Altimeter, ATSR) nach ihrer Aufzeichnung auf Band mindestens einmal pro Umlauf an irgendeine Bodenstation übermittelt werden. Die Boden-

stationen für den Empfang der Sensordaten bilden aus diesem Grund einen weltweiten Verbund bestehend aus

- ESA-Stationen: Salmijaervi (Kiruna, Schweden), Villafranca (Spanien), Fucino (Italien), Maspalomas (Kanarische Inseln), Gatineau und Prince Albert (Kanada).
- Nationale europäische Stationen: Tromsø (Norwegen), West Freugh (UK), Aussaguel (Frankreich).
- Aussereuropäische Stationen: Fairbanks (Alaska, USA), Cuiaba (Brasilien), Cotopaxi (Equador), Hydrabad (Indien), Kumamoto und Hatoyama (Japan), Hobart (Australien), Bangkok (Thailand).
- Antarktisstationen: O'Higgins (Deutschland), Syowa (Japan).

Einige dieser Stationen sind im Moment noch nicht operationell, mit einigen Ländern ist die ESA zur Zeit noch in Verhandlungen (Indonesien, Saudi-Arabien, Pakistan). Die ESA-Stationen stellen sicher, dass für Europa der globale Satz der «Low-Bit-Rate»-Daten in Kiruna und Gatineau, die «High-Bit-Rate»-(SAR)-Daten in Kiruna und Fucino aufgezeichnet werden. Innerhalb von drei Stunden («near real time») nach dem Datenempfang werden daraus abgeleitete «Fast Delivery Products» (FDP) an nationale Einrichtungen weiterverbreitet.

Für die spezialisierte Datenverarbeitung, die Archivierung und die Verteilung von Standard- und Spezialprodukten stützt sich die ESA auf die Mitarbeit verschiedener ESA-Mitgliedstaaten. Dafür werden vier sogenannte «Processing and Archiving Facilities» (PAF) errichtet (siehe Abb. 18):

- F-PAF in Brest, Frankreich, am Institut Français pour l'Exploration de la Mer (IFREMER).
- UK-PAF in Farnborough, am Royal Aerospace Establishment (RAE).
- D-PAF in Oberpfaffenhofen, Deutschland, an der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR).
- I-PAF in Matera, Italien, bei der Agenzia Spaziale Italiana (ASI).

Obwohl die PAFs vornehmlich durch nationale Budgets unterhalten werden (und nur zu ca. 15–20% von der ESA), behält sich die ESA das Recht vor, die übergeordnete Koordination auszuüben, um eine vollständige Implementierung und Durchsetzung der vom Programmrat Erdbeobachtung der ESA abgeordneten ERS-1 Data-Policy Regeln zu garantieren. Die EECF in Frascati übernimmt nicht nur die Kontrolle aller Operationen der Einrichtungen des ERS-1 Bodensegmentes, sondern erstellt auch den globalen Nutzlast-Auslastungsplan zuhanden des MMCC, welches dann die entsprechenden Steuerungsbefehle

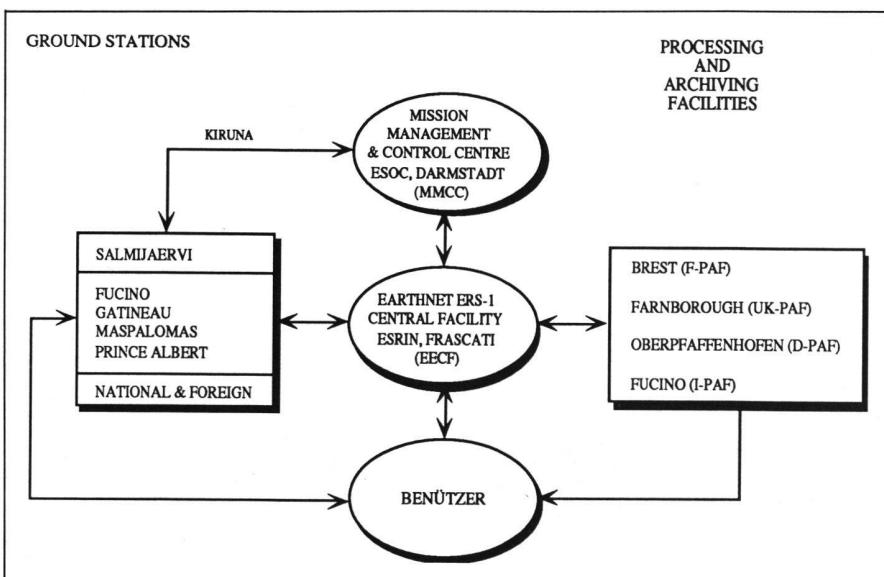


Abb. 17: ERS-1 Bodensegment.

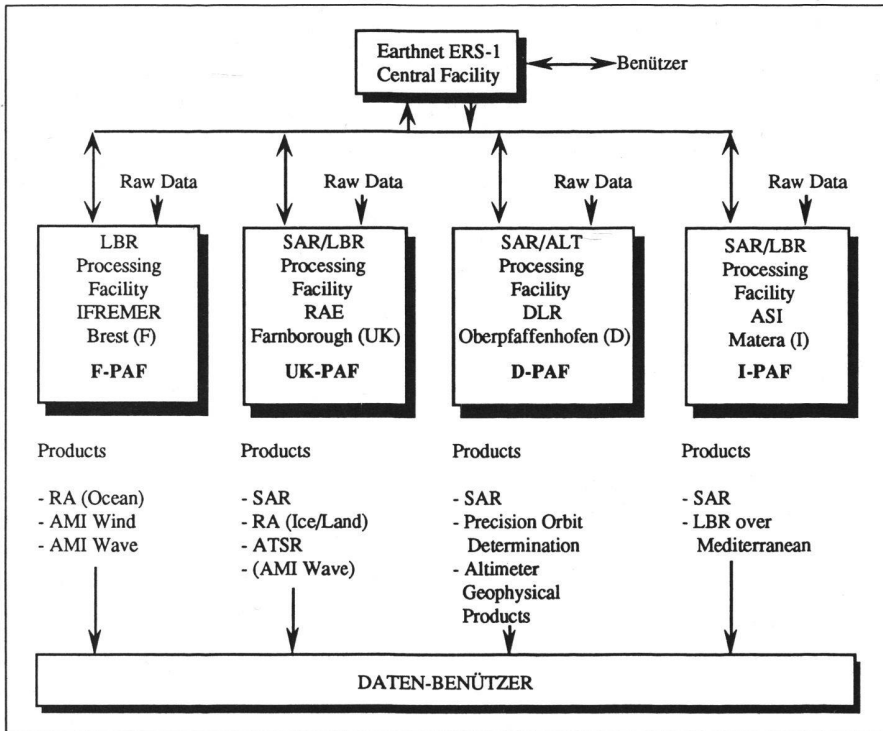


Abb. 18: Europäische Processing und Archivierungs-Facilities (PAF).

dem Satelliten übermittelt. Die Übersicht über den örtlichen und zeitlichen Einsatz der von den Benutzern «gebuchten» Sensoren garantiert ein sogenannter «Global Activity Plan» (GAP), der in Übereinstimmung mit den anfänglich gewählten Missionsphasen alle Aktivitäten festlegt. Daneben wird hier auch ein globaler Katalog von ERS-1-Daten geführt, der jederzeit darüber Auskunft gibt, wann welche Daten mit welchen Sensoren in welchem Gebiet aufgenommen worden sind. Alle Bestellungen von ERS-Daten werden zentral über die EECF geleitet, auch wenn die eigentliche Datenprozessierung unter Umständen einer nationalen Verarbeitungseinrichtung in Auftrag gegeben wird. Neben der eigentlichen Datenprozessierung sollen die PAFs auch eine zentrale Rolle bei der Betreuung von potentiellen und effektiven Benutzern sowie bei der Entwicklung von neuen Algorithmen übernehmen, um die ERS-1 Datenprodukte in Zukunft noch effizienter und publikumsnäher zu gestalten. Aus diesem Grunde wurde von der ESA vorgesehen, diese vier nationalen Institutionen bis zu 12 Jahre nach dem Start unter Vertrag zu nehmen und damit eine möglichst hohe Kontinuität und hohen Nutzen für die Datenbenutzer zu garantieren. Während sich das F-PAF in erster Linie der Verarbeitung und Archivierung von ozeanographischen Daten (AMI: Wind, Wave; RA, ATSR) widmen wird, soll das UK-PAF neben den oben erwähnten Aufgaben auch die SAR-Prozessierung gewährleisten. Die primäre Aufgabe des D-PAF wird

die SAR-Prozessierung und die Geocodierung – an welcher auch die Universität Zürich als Unterauftragnehmer beteiligt ist – der SAR Produkte beinhalten, sowie die Verarbeitung und Archivierung von Radar-Altimeter- und Bahnvermessungsdaten. Abbildung 19 zeigt als Beispiel zwei geo-

codierte SEASAT-SAR Aufnahmen von zwei verschiedenen Überflügen aus dem Gebiet Köln-Bonn in der Bundesrepublik Deutschland. Die beiden SEASAT-SAR Szenen wurden einem digitalen Geländemodell überlagert und demonstrieren damit die Möglichkeit des passpunktgenauen Einsatzes von multitemporalen Datensätzen. Die Aufgaben, die dem I-PAF übertragen wurden, reichen vom Verarbeiten bis zum Archivieren von regionalen, das heisst mediterranen Daten des SAR-Sensors sowie der entsprechenden Sensoren mit geringerer Datenrate wie Scatterometer, RA und ATSR. Die Funktionalität und Effizienz dieses dezentralisierten Bodensegmentes wird für den ERS-1 erstmals getestet und soll unter Einbeziehung der dann gemachten Betriebserfahrungen die Basis für das Europäische Bodensegment für zukünftige Fernerkundungssatelliten wie ERS-2, EPOP-M1, EPOP-N1 bilden.

Die ersten Wochen nach dem Start

In der Nacht vom 16. auf den 17. Juli 1991 konnte der ERS-1 Satellit zusammen mit vier Mikrosatelliten erfolgreich gestartet werden. Die ARIANE 40 Trägerrakete hob um genau 03:46:31 Uhr MESZ (01:46:31 Uhr Weltzeit) vom Raumfahrtzentrum in Kourou ab. Das waren nur 31 Sekunden nachdem das vier Minuten dauernde Startfenster sich geöffnet hatte. Abbildung 20 zeigt den Einschuss in die vorgese-



Abb. 19: Geokodierte Seasat-SAR Aufnahmen der Region Köln-Bonn. Quelle: Universität Zürich, Remote Sensing Laboratories.

hene fast polare Umlaufbahn. Die erste Überprüfung der erreichten Umlaufbahn auf Grund der Parameter der Drittstufe hatte ergeben, dass der Satellit ein Perigäum (Erdnahpunkt) von 766 km (± 5 km) gegenüber einer Vorgabe von 767 km erreicht hat. Das Apogäum (Erdfernpoint) wurde mit 787 km (± 5 km) gegenüber einer Vorgabe von 787 km errechnet. Demzufolge hat die Trägerrakete den Satelliten mit hoher Präzision auf die gewünschte Umlaufbahn transportiert. Die erreichte Bahnneigung von $98,5^\circ$ ist absolut identisch mit der Vorgabe. Während den ersten beiden Umläufen wurde eine Serie von kritischen Manövern erfolgreich durchgeführt. Die Antennen und das Solarzellenpaddel konnten fast planmässig ausgefahren und entfaltet werden. Während diesen Operationen stellte man nämlich fest, dass eine der Scatterometerantennen sich nicht richtig entfaltet hatte. Das Operationszentrum der Europäischen Welt- raumorganisation ESA in Darmstadt konnte jedoch die Antenne einige Umläufe später problemlos zum Entfalten bringen. Dazu wurde der Entfaltungsmotor mit Hilfe von Telekommandos zum Ausführen einiger Hin- und Herbewegungen aktiviert. Daraufhin wurde die Scatterometeran- tenne ganz ausgefahren. Die Überprüfung der wissenschaftlichen Nutzlast sowie der Bordsysteme des Satelliten konnte in den Tagen darauf erfolgreich durchgeführt werden. Nur gerade 10 Tage nach dem Start, am 27. Juli, konnten das SAR aktiviert und die ersten Radarbilder von zwei europä- ischen Bodenstationen empfangen werden. Dafür wurde zuvor, am 26. Juli, der Satellit vom europäischen Kontrollzen-

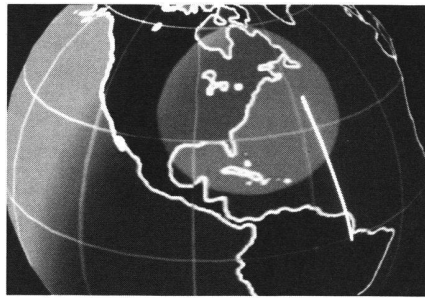


Abb. 20: Bahneinschuss von ERS-1 nach der Trennung von der Ariane 40 Trägerrakete. Quelle: ESA.

trum ESOC in Darmstadt auf die sogeannte «Venedigbahn» gesteuert, welche während der ganzen «commissioning phase» beibehalten werden soll. Die «Venedigbahn» ist eine sich alle drei Tage wiederholende Bahn, die über die Stadt Venedig führt und vor allem die genaue Eichung des Radaraltimeters mit Hilfe von Laserstationen während der Inbetriebnahme ermöglicht.

Um die übergeordneten Ziele der ERS-1 Mission zu erfüllen, ist die für die ersten drei Monate nach dem Start vorgesehene «commissioning phase» von ausschlaggebender Bedeutung. Durch den verzögerten Starttermin wird sie voraussichtlich bis Ende 1991 verlängert. Sie dient unter anderem der Verfeinerung der Umlaufbahn und allgemein der Vorbereitung aller Experimente, die während der operationellen Phase mit Beginn ab 1992 durchgeführt werden sollen. Die ersten sechs Wochen nach dem Start wurden in zwei Phasen eingeteilt:

1. «The Satellite Functional Test (SFT) Phase» dauert zwei Wochen mit 212 Erdumläufen.
2. «The Early Commissioning Phase» mit zehn dreitägigen Zyklen von je 43 Erdumläufen.

Die SFT-Phase ist vor allem für die genaue Positionierung des Satelliten und die Inbetriebnahme aller Systeme an Bord (Energieversorgung, Übermittlung, wissenschaftliche Instrumente inklusive deren Kalibrierung) vorgesehen. Ebenfalls werden in dieser Phase die Übertragungs- kanäle zu den Bodenempfangsstationen getestet, insbesondere das «Playback» der «Low-Bit-Rate»-Daten (d.h. das Abspielen der auf Magnetband aufgezeichneten Daten) im Empfangsbereich der ESA Stationen Kiruna, Gatineau, Maspa- lomas und Fucino.

Die zweite Sub-Phase hat vor allem das Ziel einen ersten operationellen Ablauf eines ganzen drei-Tage-Zyklus mit allen möglichen Sensor-Einschaltungen und deren Datenübertragung durchzuspielen. Während die Instrumente mit niedriger Datenrate (ATSR-M, PRARE; RA) dauernd in Betrieb sein werden, ist für das AMI ein besonderer Datenaufnahmeplan aufgestellt worden: Der Wind/Wellen-Modus bleibt über allen Ozeanen dauernd eingeschaltet, während der SAR im Bild-Modus über den Landgebieten mit erster Priorität über Europa, dann aber auch über Gebieten mit empfangsbereiten Bodenstationen wie Kanada, Alaska, Australien und der Antarktis eingeschaltet wird. Die aus dieser ersten «commissioning phase» gemachten Erfahrungen sollen

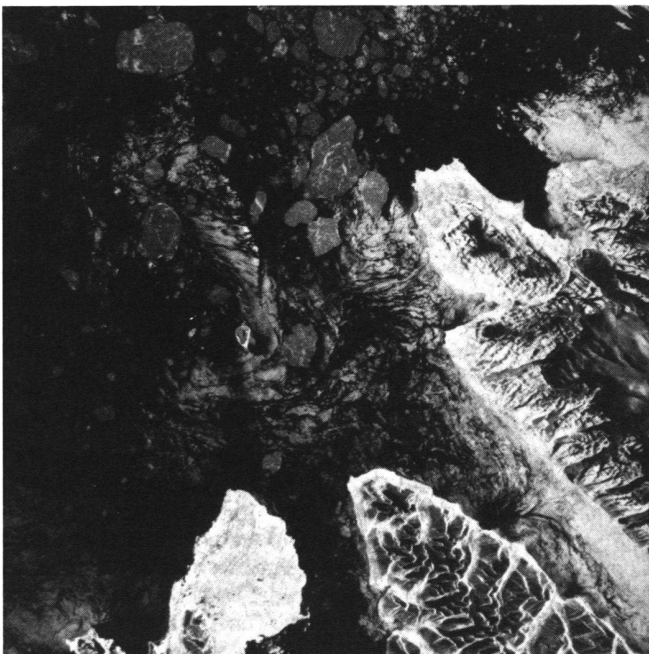


Abb. 21: Das erste von der ESA-Bodenstation in Kiruna (Schweden) empfangene Bild zeigt einen 95 x 95 Kilometer grossen Ausschnitt des nördlichsten Teils von Westspitzbergen. Quelle: ESA/Earthnet.



Abb. 22: Das erste bei Nacht aufgenommene und von der Bodenstation Fucino (Italien) empfangene Bild zeigt die Watteninseln in Nordwest-Holland. Quelle: ESA/Earthnet.

Partie rédactionnelle

dann auch den weiteren Verlauf dieser Phase bis Ende 1991 sowie die ganze Mission massgeblich beeinflussen.

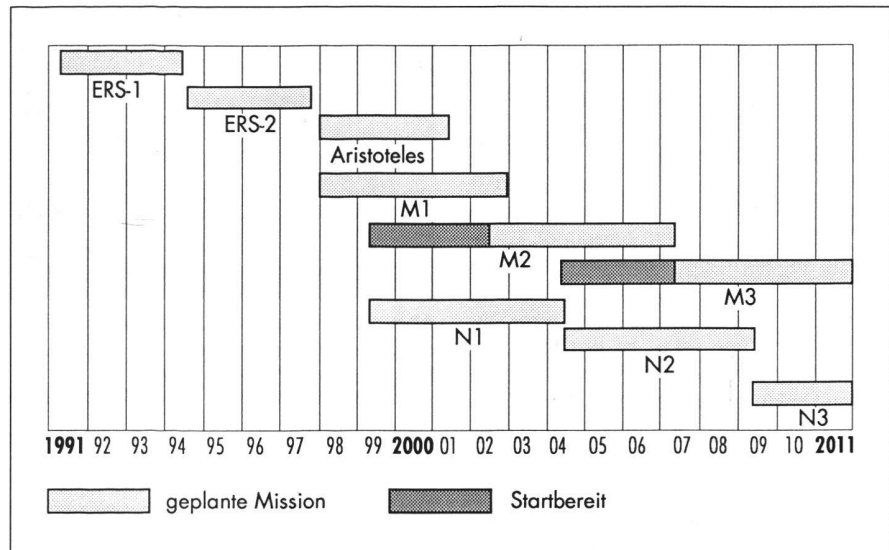
Erste Daten

Die europäischen Bodenstationen in Kiruna (S) und Fucino (I) empfangen laufend riesige Datenmengen, die nach und nach den entsprechenden Verantwortlichen von wissenschaftlichen Projekten in der Testphase zur Bearbeitung zugestellt werden. Von ganz besonderem Interesse sind die Bilddaten des komplexesten Instrumentes, des Radars mit synthetischer Apertur (SAR). Die ersten von der ESA freigegebenen Bilder zeigen einen kleinen Teil Spitzbergens (Abb. 21), den Nordwesten der Niederlande (Abb. 22) und einen Ausschnitt der Berner und Walliser Alpen (Abb. 23).

Abbildung 21 zeigt einen 95 km × 95 km grossen Ausschnitt vom nördlichen Teil Westspitzbergens zwischen 77° N und 81° N. Auf dem Bild erkennt man deutlich die beiden Fjorde Woodfjorden (im Westen) und Wijdefjorden (im Osten). Beim letzteren fliesst der Gletscher direkt ins Meer. Beide Fjorde enthalten einen beträchtlichen Teil von Gletschereis. Auf dem offenen Meer vor der Küste treiben mächtige Eisschollen von mehrjährigem Eis mit einem Durchmesser von bis zu 10 km und einer Eisdicke von bis zu 3,5 m. Die Daten wurden am 27. Juli 1991 um 11.50 Uhr (UTC) aufgenommen, in Kiruna direkt empfangen und sogleich mit Hilfe des «Fast Delivery SAR-Processor» verarbeitet. Die räumliche Auflösung am Boden beträgt ca. 25 m.

Abbildung 22 zeigt ein ebenfalls 95 km × 95 km grosses Gebiet vom Nordwesten der Niederlande mit den Westfriesischen Inseln Texel, Vlieland Terschelling und Ameland von Westen nach Osten. Das bedeutendste Merkmal dieses Bildes sind die charakteristischen Wellenmuster im IJsselmeer, letzteres ist durch den langen Afsluit-Dijk (Deich) vom Wattenmeer getrennt. Die unterschiedlichen Grautöne sind auf Unterschiede des Wellenganges zurückzuführen, der die Meeresoberfläche mehr oder weniger aufraut. Wenig bewegtes Wasser führt zu schwachen Radarechos (dunkle Töne) und stärkere Bewegung der Meeresoberfläche führt zu stärkeren Radarechos (helle Töne). Zahlreiche Schiffe können sowohl als helle Punkte als auch aufgrund ihres bis zu 20 km langen Kielwassers ausgemacht werden.

Die Städte erscheinen ebenfalls in hellen Grautönen, auf der rechten Seite z.B. Leeuwarden mit deutlich auf sie hinführenden Strassen und Eisenbahnlinien oder auf der linken Seite der Schiffshafen der Stadt Den Helder. Die landwirtschaftlichen Gebiete von Friesland (unten rechts) und Wieringermeerpolder (unten links) fallen durch ihre regelmässig angeordneten



Tab. 2: Erdbeobachtungsmissionen mit polarer Umlaufbahn.

Felderstrukturen auf. Die Daten wurden am 27. Juli 1991 um 21.40 Uhr (UTC) aufgenommen, in Fucino direkt empfangen und auf dem «Verification Mode Processor» am Earthnet in Frascati verarbeitet. Die räumliche Auflösung am Boden beträgt ca. 25 m.

Das erste über Schweizer Territorium aufgenommene und von der ESA freigegebene SAR-Bild (Abb. 23) zeigt ein 95 km × 95 km grosses Gebiet über den Walliser und Berner Alpen. Die Daten wurden während eines aufsteigenden Orbits in Kiruna am 30. Juli 1991 um 21:38 (UTC) empfangen und darauf mit dem «Verification Mode Processor» am ESA/Earthnet in Frascati prozessiert. Im Unterschied zu den beiden anderen Bildern (Abb. 21 und 22) wurden diese Daten anschliessend an der Deutschen «Processing and Archiving Facility» (D-PAF) der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen am 22. August 1991 mit Hilfe eines digitalen Geländemodelles geometrisch korrigiert (geocodiert), sodass die ursprünglich stark verzerrten Daten der Geometrie der Landeskarte der Schweiz (Schiefachsige Zylinderprojektion, Ellipsoid von Bessel 1841) angepasst werden konnten. Der Algorithmus [11] wurde am Geographischen Institut der Universität Zürich (Remote Sensing Laboratories) entwickelt und die operationelle Software (GEOS) unter der Leitung der DLR und in Zusammenarbeit mit dem Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessung in Hannover sowie dem Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik in Graz erstellt. Eine strenge Qualitätskontrolle dieses Bildprodukts wurde noch nicht durchgeführt.

Auf den ersten Blick fallen dem Beobachter folgende Details auf:

Die stark gekrümmten Bildkanten am linken (Nahbereich) resp. rechten (Fernbereich) Bildrand zeigen auf eindruckliche Weise die Auswirkungen des Reliefs auf

den Geocodierungsprozess, welcher zum Ziel hat, die vom SAR-Sensor in der Schrägdistanzebene aufgenommene Dateninformation der strukturierten Erdoberfläche am richtigen Ort auf der Karte zu lokalisieren.

Wegen der mehrheitlich fast parallel zur Flugrichtung (SSE-NNW) verlaufenden Tälern, den sehr grossen Höhenunterschieden und den steilen Einfallswinkeln der Radarstrahlen, entstehen ausgedehnte «Layover»-Gebiete. Da die Radarechos vom maximal beleuchteten Vordergrund gleichzeitig den Sensor erreichen, hat dies eine Informationsüberlagerung zur Folge, welche eine eindeutige räumliche Zuordnung der Signale nicht zulässt. Auch wenn sich die Qualität der zur Verfügung stehenden digitalen Geländemodelle noch entscheidend verbessern lässt, wird es auch in Zukunft mit den besten Zusatzdaten nicht möglich sein, im alpinen Gelände Fehlpositionierungen der SAR-Entfernungsmessung und Dopplerinformation in horizontaler und vertikaler Richtung vollständig zu vermeiden. Es versteht sich auch von selbst, dass es nicht möglich ist, die Intensität der Signalanteile aus diesen «Layover»-Gebieten für die Bildanalyse zu verwenden. Aus diesem Grund soll der Benutzer mit Hilfe einer sog. «Layover»-Karte, die er beim DLR/D-PAF bestellen kann, auf solche Problemgebiete aufmerksam gemacht werden.

Mit diesem Bildprodukt (ERS-1.SAR.GTC) ist es gelungen, zumindest in geometrischer Hinsicht, durch maximal mögliche Eliminierung von Verzerrungen den Benutzer von SAR-Bilddaten bei der komplexen Interpretation der Bildinformation wesentlich zu unterstützen. Es bedarf aber in Zukunft noch weit grösserer Anstrengungen auf dem Gebiete der digitalen Bildanalyse und der Signaturforschung, um den Informationsgehalt eines SAR-Bildes voll auszuschöpfen.

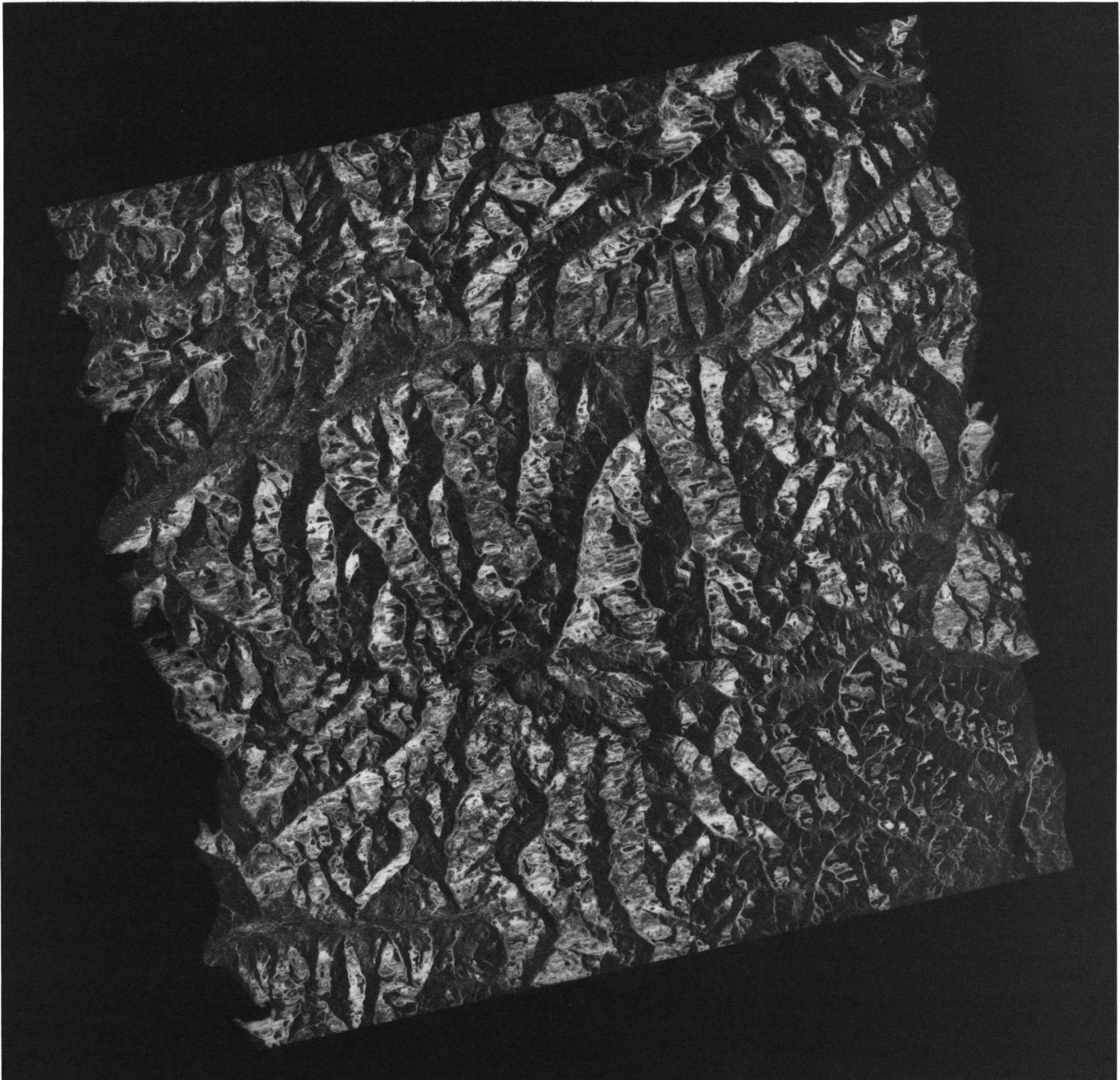


Abb. 23: Die erste mit Hilfe eines digitalen Geländemodelles geometrisch korrigierte (geocodierte) ERS-1 SAR-Aufnahme. Gebiet: Walliser und Berner Alpen. Quelle: D-PAF/DLR-Oberpfaffenhofen, Deutschland.

Zukunftspläne der europäischen Erdbeobachtung

Auch wenn die ERS-1 Mission als bedeutender Schritt in Richtung Realisierung des von der ESA geplanten Erdbeobachtungsprogrammes angesehen werden muss, kann der volle Nutzen sowohl für die Forschung als auch für die operationelle Anwendung erst mit einer langfristigen Verfügbarkeit dieser Daten garantiert werden. Die Realisierung der von der ESA vorgesehenen Strategie stützt sich heute vornehmlich auf folgende vier Gross-Programme:

- ERS-1 Nachfolgeprojekt (ERS-2)
- Gravitationsprojekt zum Studium der festen Erde (Aristoteles)
- Meteosat zweite Generation (MSG)
- Reihe von Polarplattformen (EPOP)

Der 1991 dafür vorgesehene Zeitplan sieht folgendermassen aus:

- Der für 1994 vom ESA-Rat gebilligte ERS-2 sollte vor allem bis zur Realisierung des Konzeptes der Polarplattformen um die Jahrtausendwende die Datenkontinuität sicherstellen. Zusätzlich zu den bekannten Instrumenten wird mit dem «Global Ozone Monitoring Ex-

periment» (GOME) ein Spektrometer mit mittlerer Auflösung (0,2 nm) im ultravioletten bis sichtbaren Spektralbereich die Ozonschicht in der Tropo- und Stratosphäre unseres Planeten untersuchen.

- Das Aristoteles-Projekt, eine gemeinsame ESA/NASA-Mission, setzt sich zum Ziel, aus einer tiefen, nahezu polaren Umlaufbahn (200 km) Daten des Schwere- und Magnetfeldes der Erde für das Studium der festen Erde, für ozeanographische und klimatologische Untersuchungen bereitzustellen.

Partie rédactionnelle

- Eine neue Serie von Wetterbeobachtungssatelliten ist im Rahmen des operationellen METEOSAT-Programmes mit Hilfe von geostationären Plattformen vorgesehen, welche nicht nur die bis heute bekannten Datenprodukte garantieren sollen, sondern wesentliche Verbesserungen auf dem Sektor Bildgenerierung, Datenübermittlungsrate und operationelle Kapazität für alle Benutzer bringen soll.
- Das von der ESA gesteckte Ziel von globalen Datensätzen auf dem Gebiet der Erdbeobachtung verlangt für dessen Realisierung einen sehr weit gesteckten Zeitrahmen. Dafür sehen die Verantwortlichen auf der Basis der heute geplanten Columbus Polarplattform verschiedene Satelliten mit einer Nutzlast-Kapazität von ca. 1000–2400 kg (zwei bis dreimal so schwer wie ERS-1) und einer Lebensdauer von vier bis fünf Jahren vor. Geplant ist ein sogenanntes «Dual Orbit Continuous Scenario», welches auf zwei getrennten Linien (M-Serie und N-Serie) verschiedene Missionsziele auf getrennten, optimierten Umlaufbahnen verfolgen würde (siehe Tabelle 2). Während sich die sogenannte M-Serie (EPOP-M1, EPOP-M2, etc.) in erster Linie den Gebieten Meteorologie, Atmosphäre, Ozeane, Eis widmen würde, nähme sich die N-Serie vornehmlich den Problemen der Landmassen, des Umweltschutzes und der Atmosphäre an. Die vorgesehenen Missionen bedienen sich auch einer sonnensynchronen Umlaufbahn mit einer optimierten Höhe zwischen 700–850 km und einem absteigenden Ast (von Nord nach Süd) am Vormittag. Die erste für 1997 vorgesehene Plattform wird operationelle Instrumente, wie sie zur Zeit auf den NOAA-Satelliten der TIROS N-Serie mitfliegen, beherbergen. Zusätzlich

müssten für die vorgesehenen Aufgaben des Umweltschutzes und der globalen Zirkulation auch aktive Mikrowellensensoren (SAR, Scatterometer, Radar-Altimeter) berücksichtigt werden. Geplant ist ebenso der Transport eines kleinen Kontingents von leichten, für ganz spezifische Forschungsaktivitäten gebauten Sensoren für Aufgaben auf dem Gebiet der Chemie der Atmosphäre, der Strahlungsmessung und der Satellitenpositionierung.

Die breite Palette von Disziplinen, die durch eine Vielzahl von Sensoren auf verschiedenen Plattformen auf unterschiedlichen Umlaufbahnen abgedeckt werden wird, soll eine globale, kontinuierliche Beobachtung unseres Planeten erlauben. Zusammen mit den geplanten Aktivitäten der USA im Rahmen des «Earth Observing System» (EOS), der Kanadier (RADARSAT), der Deutschen (ATMOS) und der Japaner (MOS und JERS) sollte bald ein verbessertes Verständnis unseres komplexen Systems Erde resultieren, um langfristig den Schutz und die Erhaltung unseres Planeten zu gewährleisten.

Literatur:

- [1] Dornier Post: 2/84, 2/85, 2/86, 2/89, 2/90.
- [2] ESA-Bulletin: Nr. 51 August 1987 und Nr. 65 Februar 1991.
- [3] ESA-Journal: 83/1, 86/3, 88/4.
- [4] DLR Press Kitt: Nr. 33 August 1990.
- [5] DLR MRSE-STS 9 1982.
- [6] ESA Earth Observation Quarterly: Nr. 11 Sept. 1985, Nr. 15 Sept. 1986, Nr. 17 März 1987, Nr. 20 Dez. 1987, Nr. 23/24 Dez. 1988, Nr. 29 März 1990, Nr. 32 Dez. 1990.
- [7] ESA F-12, a keen eye on the earth, August 1988.
- [8] EARSEL: Taking the long view.
- [9] ESA BR 36: ERS-1 1990.
- [10] EDOC Documentation and Information Service, UK, Farnborough: ERS-1, An Introduction, 1991.
- [11] Meier, Erich, 1989: Geometrische Korrektur von Bildern orbitgestützter SAR-Systeme, Remote Sensing Series Vol. 15, Geographisches Institut Universität Zürich.

Die Satellitenbilddaten können beim Schweizerischen NPOC (National Point of Contact) bei folgenden Adressen bezogen werden:

Bundesamt für Landestopographie
Dienststelle für Photogrammetrie
und Fernerkundung
Seftigenstrasse 264
CH-3084 Waber
Telefon 031 / 54 93 11
Institut für Kommunikationstechnik
ETH
Fachgruppe Bildwissenschaft
ETH-Zentrum
CH-8092 Zürich
Telefon 01 / 256 52 84

Adressen der Verfasser:

PD Dr. Daniel Nüesch
Remote Sensing Laboratories
Geographisches Institut Universität Zürich
Winterthurerstrasse 190
CH-8057 Zürich
Men J. Schmidt
Wissenschaftspublizist
Astronomie und Raumfahrt
Kirchstrasse 56
CH-9202 Gossau

swissair  **Photo+Vermessungen AG**

Zu verkaufen mehrere

WILD TC 2000 mit GRE 4a

- 2,5 Jahre alt
- sehr guter Zustand
- ab Werksrevision

Preis nach Vereinbarung.

SWISSAIR Photo und Vermessungen AG
Abteilung Ingenieurvermessung, 8035 Zürich
Telefon 01 363 33 33

Zu verkaufen

1 Zeiss-Nivellier-Mikrometer Ni2

mit Planplatten-Mikrometer

2 Kern Präzisions-Nivellierlatten

1/2 cm Teilung, 3 m mit Streben

Total-Revision 1988 mit neuen Invarbändern
und Zertifikat

Anfragen: Telefon 093 / 33 56 66