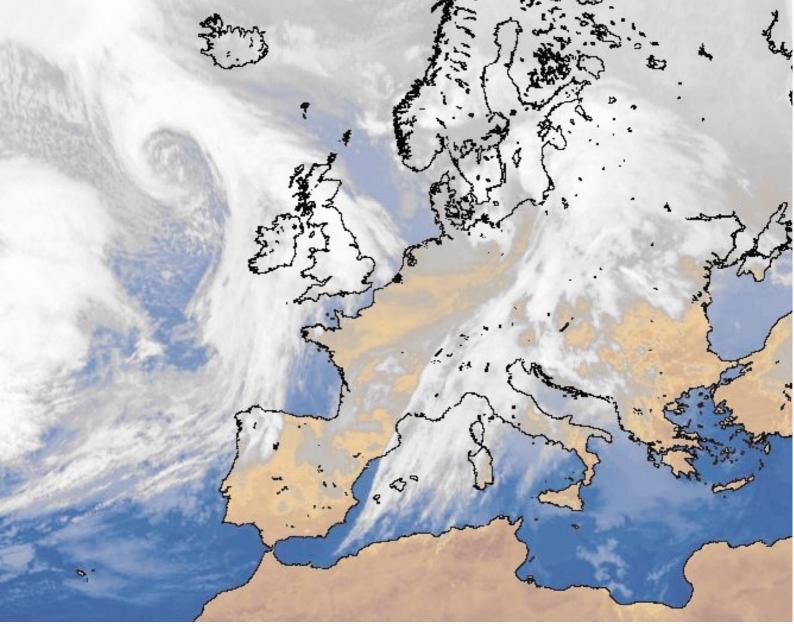




# Erdbeobachtung – einst und jetzt

as Bestreben der Menschen, den Zustand ihrer Umwelt zu dokumentieren, lässt sich bis in die frühen Hochkulturen zurückverfolgen: So gilt eine um 1250 v. Chr. entstandene "Ägyptische Goldminenkarte" als das älteste geologische Dokument in der Geschichte der Kartografie. Die ersten Erdgloben tauchten dagegen erst im 16. Jahrhundert auf, nachdem Christoph Kolumbus Amerika entdeckt und Ferdinand Magellan durch seine Erdumseglung die Kugelgestalt der Erde bewiesen hatte.

Erdbeobachtung im klassischen Sinne ist noch recht jung: Sie umfasst nicht nur eine bloße Kartierung der Landschaft, sondern auch die Überwachung von Veränderungen – seien sie nun natürlicher Art oder von Menschen provoziert. Voraussetzung hierfür ist zum einen eine



Überblick aus dem Weltraum: Eine Wettervorhersage ohne Satellitendaten ist inzwischen
undenkbar. Das Wettersatellitenbild vom
31.1.2002 zeigt den
Wolkenwirbel eines starken Tiefdruckgebietes
westlich von Irland.

geeignete Messtechnik, die auch den menschlichen Sinnen nicht direkt zugängliche Eigenschaften der Umwelt erfassen und über längere Zeiträume dokumentieren kann; Voraussetzung ist zum anderen die richtige "Perspektive", die eine Einordnung lokaler Veränderungen in einen regionalen oder gar globalen Rahmen ermöglicht. So war zwar das Waldsterben in den 70er und 80er Jahren des 20. Jahrhunderts ein für jedermann erkennbares Phänomen, der saure Regen als mutmaßlicher Verursacher aber nur über chemische Analysen zu entlarven.

Spätestens seit der Dokumentation des Ozonlochs durch den amerikanischen Wettersatelliten Nimbus 7 im Jahre 1978 ist die satellitengestützte Erdbeobachtung "salonfähig" geworden: Mit ihrer wahrhaft globalen Perspektive erlaubt sie eine rasche Aufnahme vieler umwelt- und sicherheitsrelevanter Daten und eine ebenso rasche

Übermittlung dieser Daten an zentrale Sammelstellen. Eine anschließende zeitnahe Auswertung dieser Daten vorausgesetzt, hätte zum Beispiel der Kapitän der Titanic auf seiner rekordsüchtigen Fahrt nach New York entschiedener vorgewarnt und die Katastrophe vom 15. April 1912 möglicherweise vermieden werden können.

Aber Erdbeobachtung dient nicht nur dem lokalen oder regionalen Katastrophenmanagement, sondern ist erst recht für die Vermeidung globaler Katastrophen unerlässlich: Solange zum Beispiel keine zuverlässigen Daten über die Klimaentwicklung und deren Folgen auf die Höhe des Meeresspiegels vorliegen, können Politiker und Wirtschaftslenker unbequeme Entscheidungen, wie etwa die rasche Beschränkung des Kohlendioxidausstoßes, auf die lange Bank schieben und so den Zeitpunkt für ein letztes Herumreißen des Steuers untätig verstreichen lassen. Angesichts der wesentlich größeren Erdbevölkerung würde es in einer

neuen "Arche Noah" bedrohlich eng – da ist es schon besser, die Zeichen der Zeit zu sehen und zu verstehen. So eröffnet Erdbeobachtung auch einen Weg zum Überleben der Menschheit.

### Wie wird das Wetter morgen?

Eine Frage, die kaum jemanden kalt lässt. Solange die Meteorologen nur Wetterdaten von Stationen auf dem Festland hatten, war das Wetter vor allem in küstennahen Gebieten nur schwer vorhersehbar, denn nicht zu Unrecht gelten gerade die Ozeane der Erde, die immerhin 70 Prozent der Erdoberfläche bedecken, als "Wetterküchen". So ist es nicht verwunderlich, dass die Erstellung von Wolkenbildern aus der Erdumlaufbahn zu den ersten Anwendungsgebieten der Weltraumfahrt gehörte, war doch die Verkehrsdichte auf den Meeren der Erde und in der Luft in den 1950er Jahren noch wesentlich geringer als heute. Entsprechend dürftig war die Zahl Wettermeldungen aus dem Luftraum über den Ozeanen.

Während die ersten Wettersatelliten lediglich Schwarzweiß-Bilder aus geringen Höhen lieferten, stützen sich die Wetterdienste heute vor allem auf ein globales Netz von geostationären Satelliten, die aus einer Höhe von fast 36.000 Kilometer über der Erdoberfläche jeweils rund ein Drittel unseres Planeten überblicken und ständig Bilder und Daten aufnehmen und zu den Bodenstationen funken.

Die europäischen Satelliten vom Typ Meteosat verwenden dazu ein Radiometer (Strahlungsmesser), das die Erdoberfläche in drei Spektralbereichen abtastet: zwischen 0,45 und 1,0 Mikrometer (im Bereich des sichtbaren Lichtes), zwischen 5,7 und 7,1 Mikrometer (hier liegen die Infrarot-Absorptionslinien von Wasserdampf) sowie zwischen 10,5 und 12,5 Mikrometer (dem "thermischen" Infrarot). Da sich die Satelliten zur Drallstabilisierung ihrer räumlichen Ausrichtung 100 Mal pro Minute um ihre Längsachse drehen, wird die Erde gleichsam zeilenweise abgetastet; mit dem Teleskop von 3,65 bzw. 0,54 Meter Brennweite liefert das Radiometer eine Auflösung von 2,5 Kilometer im sichtbaren Spektralbereich und fünf Kilometer im Infraroten.

25 Jahre nach dem Start von Meteosat 1 soll noch im Sommer 2002 der erste Meteosat der zweiten Generation gestartet werden, der die Erde in mehr und engeren Spektralbereichen erfassen wird.

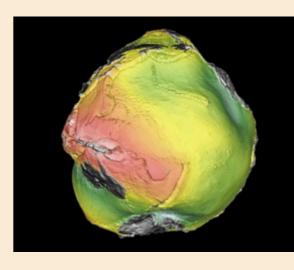
### Erdbeobachtung mit "Radaraugen"

Die Beobachtung der Erde wird im Bereich des sichtbaren Lichtes durch das Auftreten von Wolken und den Wechsel von Tag und Nacht empfindlich beeinträchtigt. Für eine vom Wetter unabhängige Erdbeobachtung muss man daher auf andere Bereiche des elektromagnetischen Spektrums ausweichen. Als besonders geeignet hat sich das aus Schiff- und Luftfahrt bekannte Radarortungssystem erwiesen, das seit den 1980er Jahren auch auf Erdbeobachtungssatelliten zum Einsatz kommt. Dabei verraten Radarwellen nicht nur die Existenz metallischer Objekte am Erdboden, sondern liefern neben guasirealistischen Ansichten auch Informationen zum Beispiel über den Wellengang auf den Ozeanen, die Ausdehnung von Eisflächen in den arktischen Regionen oder andere Veränderungen in ansonsten unzugänglichen Regionen – bis hin zu einer Kartierung der Höhen und Tiefen des Meeresbodens.

Den bisherigen Höhepunkt dieser Entwicklung brachten die beiden europäischen Erderkundungssatelliten ERS-1 und -2 (für European Remote Sensing), die am 17. Juli 1991 und am 21. April 1995 gestartet wurden. ERS-1 blieb mehr als fünf Jahre im Einsatz und konnte zuletzt - im Tandemflug mit seinem Nachfolger - sogar Stereo-Radarbilder der Erdoberfläche liefern, die

eine dreidimensionale Erfassung der Landschaft ermöglichten – gleichsam als Vorgeschmack auf die Shuttle-Radar-Topography-Mission, die im Februar 2000 geflogen wurde; ERS-2 soll bis zum Einsatz von ENVISAT betrieben werden. Zu den "operationellen" Ergebnissen des ERS-Programms gehören unter anderem

- die Bestimmung von Wind- und Wellenfeldern über den Ozeanen,
- die Erstellung von Eiskarten,
- die Bestimmung der Meerestopografie und von Schwerefeldanomalien,
- die Gewinnung von Höhenkarten der Antarktis und Grönlands,
- die Kartierung des Regenwaldes sowie
- die Beobachtung und Auswertung von Katastrophen wie Hochwasser, Tankerunfällen und Erdbeben.



Die Erde ist eine Kartoffel: Die stark überhöhte Darstellung der "theoretischen" Erdoberfläche, des sogenannten Geoids, zeigt, dass die Erde alles andere als eine Kugel ist; "Höhen" sind rot eingefärbt, "Tiefen" schwarz. Die Form des Geoids wurde aus den Daten des Satelliten CHAMP errechnet. (Quelle: GFZ Potsdam)

# Erdbeobachtung – wozu?

Das Ziel der Raumfahrt ist die Erde" – dieser dem deutschen Raketenbauer Wernher von Braun zugesprochene Satz hat sich auch und vor allem bei den Flügen zum Mond bewahrheitet: Zum ersten Mal sahen Menschen unseren Planeten aus der Ferne, als Himmelskörper von "zerbrechlicher Schönheit", und ihre Fotos vom blauen Planeten haben bei vielen Zeitgenossen einen Bewusstseinswandel eingeleitet. Begriffe wie "Umweltverschmutzung" oder "Grenzen des Wachstums" haben durch die Verinnerlichung dieser Bilder rasch an Gewicht gewonnen und die Notwendigkeit eines globalen Umweltmanagements deutlich werden lassen. Seither ist die Erfassung des Ist-Zustandes unserer Umwelt sowie die Erkennung und Überwachung von Veränderungen zu einem entscheidenden Bestandteil gesellschaftlicher Daseinsvorsorge geworden, zumal die stetig wachsende Erdbevölkerung unseren Planeten immer stärker "in Anspruch nimmt".

Zweifellos ist der Anteil der sogenannten Treibhausgase in der Atmosphäre in den zurückliegenden Jahrzehnten deutlich angestiegen und liegt heute um ein Drittel höher als noch vor 250 Jahren. Untersuchungen von Luftbläschen im antarktischen Eis zeigen, dass der heutige CO<sub>2</sub>-Gehalt der höchste seit mindestens 420.000 Jahren, wahrscheinlich sogar seit 20 Millionen Jahren ist. Im gleichen Zeitraum (seit 1750) hat sich die Methankonzentration in der Atmosphäre verdreifacht und die Menge der Stickoxide ist um ein Sechstel angestiegen. Entsprechend sind die Durchschnittstemperaturen im 20. Jahrhundert um etwa ein halbes Grad angestiegen: die 1990er Jahre waren das wärmste Jahrzehnt und 1999 das wärmste Jahr, seit man 1861 mit regelmäßigen Temperaturmessungen begonnen hat.

"Wir reisen gemeinsam auf einem kleinen Raumschiff, abhängig von dessen bedrohten Reserven an Luft und Erde; seinem Schutz und Frieden zu unserer eigenen Sicherheit verpflichtet; nur durch Fürsorge, unser Tun und so möchte ich behaupten - unsere Liebe, die wir diesem zerbrechlichen Raumschiff angedeihen lassen, geschützt vor der Vernichtung. Wir können es nicht zur Hälfte Glück verheißend, zur anderen Hälfte Jammer herauf beschwörend bewahren, halb vielversprechend, halb hoffnungslos, halb versklavt (durch die alten Feinde der Menschheit), halb befreit durch eine Freisetzung von Ressourcen, von der man früher nur hätte träumen können. Kein Raumschiff, keine Besatzung kann mit derartigen Widersprüchen sicher durchs All reisen. Von ihrer Lösung hängt unser aller Überleben ab."

Adlai Stephenson, ehemaliger Botschafter der USA bei den Vereinten Nationen.

Treibhauseffekt und Klimaänderung sind aber nur ein Aspekt des globalen Wandels, der sich um uns herum vollzieht, und noch ist unklar, wie viel davon "hausgemacht" ist, wie groß also der anthropogene Anteil daran ist. Weitere Problemfelder des "Systems Erde" sind unter anderem

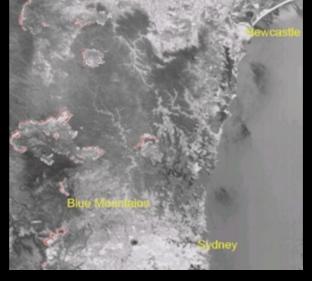
- die Ausdünnung des stratosphärischen Ozons,
- die Zunahme von "Naturkatastrophen" wie Flächenbränden und Überschwemmungen,
- die Gewässerverschmutzung,
- die Folgen großflächiger Rodungen
   nicht nur in tropischen Waldgebieten,
- die Verluste an nutzbarem Ackerboden durch Erosion,
- die Ausbreitung von Wüstengebieten,
- der Verlust an Biotopfläche
- und der dramatische Artenschwund.



Die politische Antwort auf diesen "Global Change" ist das Leitbild der "Nachhaltigen Entwicklung" (sustainable development), das eine "nach wissenschaftlichem Kenntnisstand langfristig und global zukunftsfähige Entwicklung" zum Ziel hat. Auf der United Nations Conference on Environment and Development (UNCED) 1992 in Rio de Janeiro wurde ein umfassendes Aktionsprogramm (Agenda 21) für die weltweite Umsetzung dieses Leitbildes verabschiedet. Es behandelt in insgesamt 40 Kapiteln sowohl ökologische Themen wie Klima, Wald, Wüstenausbreitung, Meere und andere als auch sozioökonomische Probleme wie demografische Entwicklung, Arbeit, Gesundheit und organisatorische Umsetzungsaspekte.

Für die Erdbeobachtung ergeben sich aus der Umsetzung der Agenda 21 sowie den damit verbundenen internationalen Konventionen und nationalen Programmen anspruchsvolle Aufgaben: Der Nachhaltigkeitszustand eines Ökosystems lässt sich nicht aus einmaligen Erhebungen ableiten, sondern nur aus einer wiederholten Bestandsaufnahme, die Trendanalysen ermöglicht; aus archivierten Daten lassen sich dann auch Entwicklungen retrospektiv rekonstruieren. Darüber hinaus werden großräumige, flächenbezogene Planungsund Entscheidungsgrundlagen für geeignete Maßnahmen im Bereich der Katastrophenvorsorge, der Land- und Forstwirtschaft, der Siedlungs- und Verkehrspolitik oder auch des Arten- und Biotopschutzes benötigt, die regelmäßig aktualisiert werden müssen. Schließlich können Berichtspflichten im Rahmen internationaler Konventionen sowie EU-Richtlinien teilweise nicht mit konventionellen Erhebungsverfahren erfüllt werden, sondern benötigen ebenfalls großräumige, möglichst zeitnahe Datenprodukte.

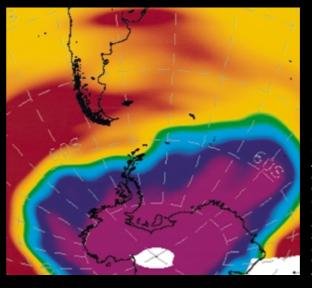
Eine erste Antwort Europas auf diese politische und technologische Herausforderung des Klimaschutzes ist der Satellit ENVISAT (für "Environmental Satellite") – eine wissenschaftliche Mission für eine mögliche Umwelt-Wache im All.



Früherkennung von Waldbränden und Vulkanausbrüchen aus dem Weltraum: Der deutsche Kleinsatellit BIRD lieferte diese Aufnahme von den verheerenden Waldbränden aus der Umgebung Sydneys im Januar 2002. Mit den Daten aus dem Weltraum können die Temperaturen genauestens und damit die Hauptbrandherde präzise erkannt werden. Dies verhilft der Feuerwehr zu einer besseren Brandbekämpfung.



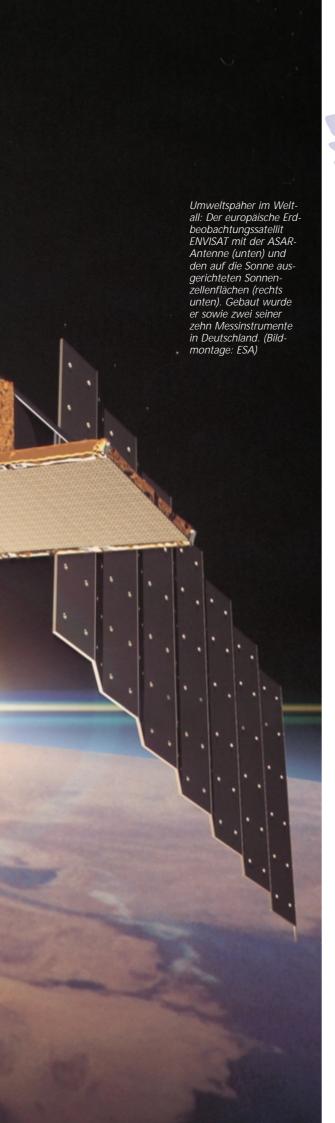
Überschwemmungsgefahr nach starken
Regenfällen im Alpengebiet: 800 Millionen
Kubikmeter Wasser lassen den Lago Maggiore
1993 so sehr ansteigen,
dass die Uferpromenade
von Locarno überflutet
wird. Radardaten aus
dem Orbit weisen überschwemmte Landstriche
aus und können somit
für die Katastrophenhilfe genutzt werden.



Gefahr von oben: Das Ozonloch über der Antarktis am 14. Oktober 1998, erfasst mit dem Global Ozone Monitoring Experiment GOME auf dem europäischen Fernerkundungssatelliten ERS-2: Violett, lila und blau stehen für eine geringe Ozonkonzentration.







# ENVISAT – der Überflieger

er größte, leistungsfähigste und teuerste Erdbeobachtungssatellit, der jemals in Europa gebaut wurde, heißt ENVISAT: Mit einem Gewicht von 8,2 Tonnen und einer Ausdehnung von 10 m x 4 m x 4 m (beim Start) kann er es schon mit einem größeren Reisebus aufnehmen. Seine Nutzlast umfasst wissenschaftliche Messgeräte, Detektoren und die dazugehörige Elektronik für insgesamt zehn Instrumente, vom Radarhöhenmesser über einen globalen Ozondetektor bis hin zu einem Mikrowellen-Strahlungsmesser.

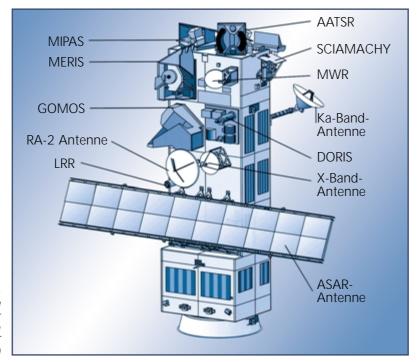
Ursprünglich war dieser komplexe Satellit unter dem Namen "Polare Plattform" als zusätzlicher europäischer Beitrag zur Internationalen Raumstation konzipiert worden. Nachdem sich jedoch der Verzicht auf frei fliegende Elemente der Raumstation abzeichnete, erhielt das Projekt einen eigenständigen Status und seinen heutigen Namen.

Sieben der zehn Instrumente wurden im Rahmen des ESA-Programms entwickelt und gebaut, drei weitere von einzelnen Mitgliedsländern beigestellt. In alphabetischer Reihenfolge sind dies

- AATSR, das Advanced Along-Track Scanning Radiometer, das die Oberfläche von Landmassen und Ozeanen im Bereich des sichtbaren und infraroten Lichtes abtastet und dabei u. a. die Temperatur auf bis zu 0,3 Grad Celsius genau bestimmen kann; es kann Waldbrände anhand ihrer Hitzeentwicklung erkennen und die Ausbreitung von Pflanzenwuchs erfassen.
- ASAR, das Advanced Synthetic Aperture Radar, das die Erdoberfläche mit Radarstrahlen abtastet; es zeichnet die Oberflächenform des Landes auf, bildet Wellen- und Eisformationen ab, ermöglicht die Bestimmung von Landnutzung und Wachstumsformen und der Beschaffenheit der Erdoberfläche.
- DORIS, Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite, vermisst die exakte
   Position des Satelliten auf seiner Umlaufbahn auf
   4,5 Zentimeter und seine Geschwindigkeit auf
   0,4 Millimeter pro Sekunde genau; seine Angaben dienen zur Verbesserung der aus den Radar-Messungen abgeleiteten Angaben zu Schwerefeldanomalien, zur Meereshöhe und zu den
   Oberflächenprofilen an Land.
- GOMOS, Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars, verfolgt auf- bzw. untergehende Sterne, deren Licht durch die Atmosphäre geschwächt wird; aus der charakteristischen Veränderung der Spektren kann die Menge an Wasserdampf und Ozon durch viele Höhenstufen der Atmosphäre (20-100 km) bestimmt werden.



Die "Sinne" der Wissenschaft: Die Zeichnung zeigt die Lage der Instrumente auf dem Satelliten ENVISAT (Zeichnung: ESA)



- LLR, der Laser Retro-Reflector, erlaubt eine Kontrolle der Satellitenbahn vom Erdboden aus und ermöglicht die regelmäßige Eichung der Instrumente DORIS und RA-2.
- MERIS, das Medium Resolution Imaging Spectrometer, liefert Bilder von Wolken, die einen Teil des sichtbaren Lichtes und des infraroten Anteils der auftreffenden Sonnenstrahlung aufhalten, beobachtet die Wolkenbildung und ermittelt die Luftfeuchtigkeit in der Atmosphäre; es kann darüber hinaus die "Farbe" des Meeres und der Küstengewässer bestimmen, die den biologischen Zustand vor Ort anzeigen, erkennt Pflanzen in ihren verschiedenen Wachstumsphasen und kann die Menge an Chlorophyll ermitteln, aus der sich die pflanzliche Biomasse auf der Erde abschätzen lässt.
- MIPAS, das Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding, beobachtet die Atmosphäre im mittleren Bereich des infraroten Spektrums und ermöglicht so die Bestimmung zahlreicher Spurengase; es kann Industrieabgase und Treibhausgase erkennen und die Zusammensetzung einzelner Luftschichten bestimmen.
- MWR, das Microwave Radiometer, bestimmt die Luftfeuchtigkeit in der Atmosphäre; seine Daten können auch genutzt werden, um mögliche Messfehler des Radar Altimeter 2 zu korrigieren, die sich aus der Luftfeuchte ergeben.

- RA-2, das Radar Altimeter 2, erlaubt eine Höhenbestimmung des Satelliten über Grund auf 4,5 Zentimeter genau; eine Verknüpfung der RA-2-Daten mit denen von DORIS ermöglicht u. a. Oberflächenkarten des Meeres, des Meeresgrundes sowie der von Eis bedeckten Landmassen, also Grönlands und der Antarktis.
- SCIAMACHY, das Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography, registriert die Rückstrahlung der Atmosphäre in einem weiten Bereich des Spektrums. Hieraus werden in Ergänzung zu MIPAS und GOMOS zahlreiche weitere Spurengase, Ozon-, Wolkenund Staubteilchenkonzentrationen berechnet. Dabei

ermöglicht das Instrument eine Bestimmung der Gesamtmenge der Gase über einem Punkt der Oberfläche ebenso wie eine Konzentrationsangabe in unterschiedlichen Höhen. Das vielseitige Instrument lässt sich für zahlreiche Fragen der Luftchemie nutzen, einschließlich zur Beobachtung der Folge von Waldbränden, von Industrieabgasen, arktischem Dunst, Staubstürmen und Vulkanausbrüchen.

Die Energieversorgung aller Instrumente erfolgt über ein 70 Quadratmeter großes Sonnensegel, das auch nach fünf Jahren Betriebsdauer noch mindestens 6,6 Kilowatt Energie bereitstellen soll. Rund 50 voneinander unabhängige Bordcomputer kontrollieren den Satellitenbetrieb und speichern die ständig anfallenden Daten: im Normalfall rund viereinhalb Megabit pro Sekunde, während hochauflösender MERIS- oder ASAR-Einsätze auch deutlich mehr. Das reicht, um die beiden Festspeicher mit insgesamt 160 Gigabit schon innerhalb weniger Stunden vollzuschreiben. So ist eine regelmäßige Datenübertragung zu einer ESA-Bodenstation (z. B. Kiruna in Nordschweden oder zu einer mobilen Station des DLR) erforderlich - entweder während einer jeweils zehnminütigen Überflugphase mit einer Datenrate von 200 Megabit pro Sekunde oder auf dem Umweg über den europäischen Datenrelais-Satelliten Artemis, der bis zum Beginn der operationellen Phase seine vorgesehene Umlaufbahn in rund 36.000 Kilometern Höhe erreicht haben soll. (Artemis war nach dem Start am 9. Juli 2001 mit einer Ariane-5-Rakete

zunächst in einer zu niedrigen Umlaufbahn "gestrandet", nachdem die Oberstufe der Rakete nicht richtig funktioniert hatte; in einem aufwändigen Rettungsunternehmen konnte der Kurs des Satelliten vom europäischen Bodenkontrollzentrum ESOC in Darmstadt so beeinflusst werden, dass mit etwa einjähriger Verspätung die vorgesehene Position erreichen wird.)

Insgesamt wird ENVISAT im Laufe seines Lebens ein Petabyte an Daten sammeln - eine 1 mit 15 Nullen oder der Festplatteninhalt von rund einer Million PCs. Die Bodenstationen übermitteln diese Daten zum Datenbearbeitungszentrum der ESA, ESRIN, im italienischen Frascati, unweit von Rom, oder/und an eines der Weiterbearbeitungsund Archivierungszentren in Deutschland, England, Frankreich, Italien, Schweden oder Spanien. Von dort bekommen Nutzer aus aller Welt das "Rohmaterial" für Klimaforschung, Katastrophenvorsorge, Wettervorhersage und Umweltbeobachtung. Wissenschaftler erhalten die Daten zum Selbstkostenpreis. Die Daten von ASAR, MERIS und AATSR sollen kommerziell im Internet bereitgestellt werden.

Die Bahn von ENVISAT führt in einer Höhe von 800 Kilometern auf einer polnahen Bahn alle hundert Minuten einmal um die Erde herum. Sie ist so angelegt, dass der Satellit den Äquator jeweils am mittleren Vormittag Ortszeit von Nord nach Süd überquert. Die Erde dreht sich während eines Umlaufs um etwa 25 Grad nach Osten, und so überquert der Satellit den Äquator jeweils rund 2.800 Kilometer oder "1.667 Zeitzonen" weiter westlich – nach drei Umläufen also fünf Zeitzonen. Auf diese Weise kann er innerhalb von drei Tagen die Erdoberfläche nahezu vollständig erfassen; nach jeweils 35 Tagen erreicht er sogar wieder die gleiche Umlaufposition.

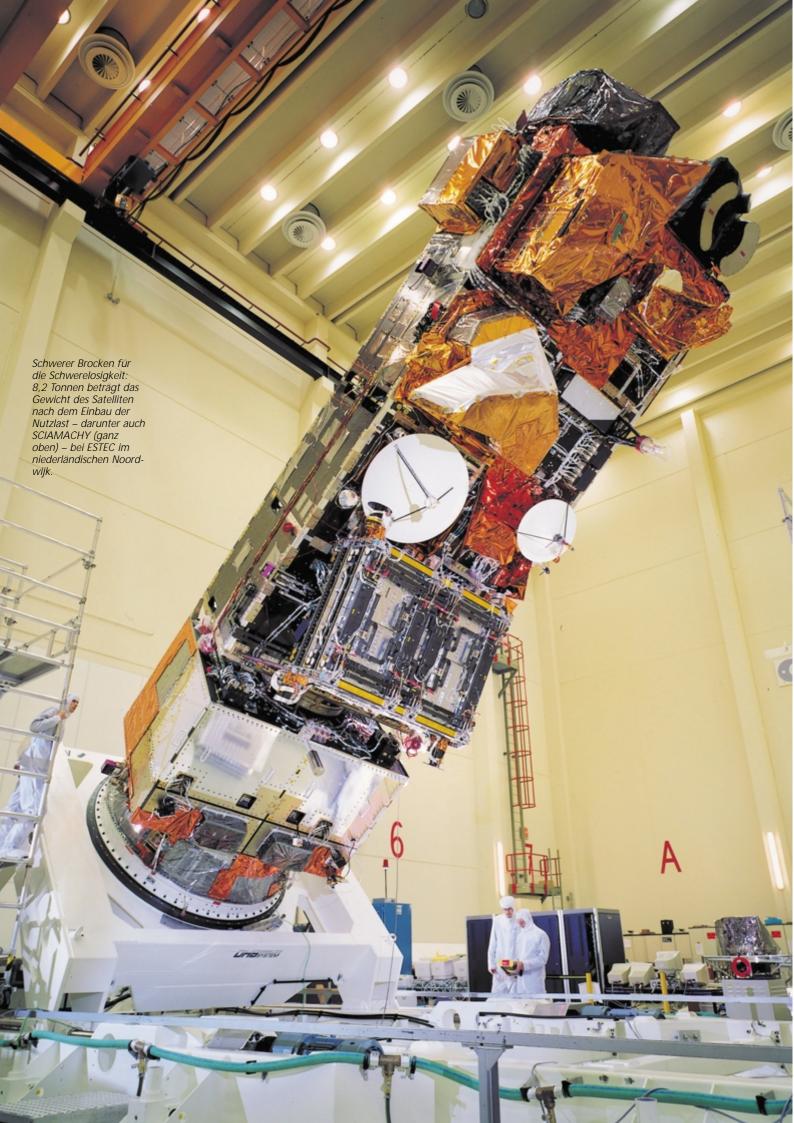
Ab Mitte April bis Mitte August wird man den Satelliten jeweils gegen 23 Uhr MESZ als hellen Lichtpunkt in Süd-Nord-Richtung über den Himmel ziehen sehen können; die genauen Überflugzeiten können jederzeit unter der Internetadresse www.heavens-above.com abgefragt werden.

Gebaut wurde der rund zwei Milliarden Euro teure Satellit unter der Systemführerschaft der Astrium GmbH von einem Konsortium aus 50 Unternehmen in Europa und den USA. Da sich die Entwicklungs- und Bauzeit über rund 15 Jahre erstreckte, entspricht dies umgerechnet einer Beteiligung von drei Euro pro Jahr und Euro-Bürger.

Während ENVISAT von oben auf die Erde herunterblickt, erfassen seine Instrumente folgende Details:

- 1 In 100 bis 0 Kilometer Höhe bestimmen GOMOS, MIPAS und SCIAMACHY die Ozondichte, messen MIPAS und SCIAMACHY die Häufigkeit von Wasserdampf, Stickoxiden, Methan und anderen Spurengasen und liefern so Basisdaten für Atmosphärenforschung und Klimaschutz;
- 2 in 20 bis 0 Kilometer Höhe registrieren MIPAS und SCIAMACHY Spurengase, die von der Industrie, der Landwirtschaft, von Flugzeugen oder von einem Kraftwerk stammen können;
- 3 in 15 bis 0 Kilometer Höhe stellt MERIS ein globales Wetterbild zusammen, wobei die sichtbaren Wolken nur einen Teil des gesamten atmosphärischen Wassergehaltes anzeigen;
- 4 in 9 bis 0 Kilometer Höhe erfassen ASAR und RA-2 die Reliefstruktur der Erdoberfläche mit einer Genauigkeit von zehn Metern;
- unmittelbar über dem Boden gewinnen ASAR, AATSR und MERIS solche Daten, die zusammen eine "Vegetationskarte" ergeben;
- 6 am Boden misst AATSR die Temperatur der Wasseroberfläche auf 0,3 Grad genau, während MERIS über die Farbe der Meere Rückschlüsse auf die Verteilung von Plankton und Chlorophyll ermöglicht und ASAR gemeinsam mit RA-2 Meeresströmungen, mittlere Wellenhöhen und Windgeschwindigkeiten aufnimmt.
- 7 Im Boden verraten sich unterschiedlich dichte Gesteinsformationen anhand von Schwerefeldvariationen, die sich aus der Kombination von Daten des Radarhöhenmessers und DORIS ableiten lassen.





### Große deutsche Beteiligung

■ issenschaftler, Ingenieure und Techniker aus Deutschland sind an Entwicklung, Bau und Nutzung des europäischen Umweltsatelliten ENVISAT maßgeblich beteiligt. So lag die industrielle Planung und Führung der ENVISAT-Mission sowie die Entwicklung von insgesamt zweien der zehn teilweise neuartigen Instrumenten zur Beobachtung der globalen Veränderungen unserer Umwelt bei der zu Astrium gehörenden Dornier Satellitensysteme GmbH (DSS) in Friedrichshafen, die auch schon die "Vorläufersatelliten" ERS-1 und ERS-2 gebaut hatte. Forschergruppen von diversen Universitäten, Max-Planck-Instituten und Instituten des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt sowie weitere Großforschungseinrichtungen der Helmholtz-Gesellschaft wirken an der Auswertung der Daten mit.

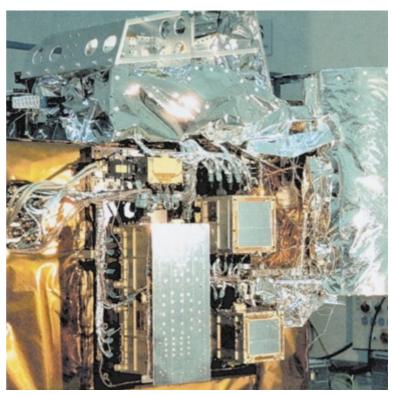
Ein besonders vielseitiges und leistungsfähiges Instrument an Bord von ENVISAT ist das von Deutschland, den Niederlanden und Belgien auf nationaler Ebene entwickelte Instrument SCIA-MACHY. Mit ihm wollen die Wissenschaftler eine Vielzahl von Fragen und Problemen im Verständnis der chemischen und physikalischen Prozesse innerhalb der Erdatmosphäre klären. Dabei geht es unter anderem um

- die Entwicklung des Ozonloches und die Konzentration des stratosphärischen Ozons in mittleren Breiten, wenn demnächst die maximale Konzentration an FCKWs in diesen Bereich vordringt;
- die Verschmutzung der unteren Atmosphäre (Troposphäre) durch industrielle Abgase und die Verbrennung fossiler Energieträger;
- den Austausch zwischen Troposphäre und Stratosphäre;
- die Folgen besonderer Ereignisse wie etwa Vulkanausbrüche oder solare Protonenstürme.

SCIAMACHY kann die Konzentration und Verteilung einer Vielzahl von Molekülen, darunter O<sub>3</sub>, BrO, OCIO, CIO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>CO, NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O und N<sub>2</sub>O bestimmen und außerdem Druck und Temperatur sowie die Aerosolkonzentration ermitteln.

Um den unterschiedlichen Aufgabenstellungen gerecht zu werden, wird das Instrument in unterschiedlicher Weise eingesetzt:

- Im sogenannten Nadir-Modus wird die Luftsäule zwischen dem Satelliten und dem Boden erfasst und dabei ein bis zu 960 Kilometer breiter Streifen quer zur Flugbahn mit einer maximalen Auflösung von 26 km x 15 km analysiert;
- im Limb-Modus ist das Instrument auf den "Horizont" gerichtet und tastet dann bei jedem Scan einen etwa drei Kilometer dicken und bis zu 960 Kilometer breiten Streifen der Atmosphäre ab. (Aufgrund der raschen Umlaufbewegung des Satelliten kann SCIAMACHY einen zunächst im Limb-Mode horizontal untersuchten Atmosphärenabschnitt nach nur sieben Minuten auch im Nadir-Modus erfassen und so dreidimensionale Datensätze über die Atmosphäre gewinnen.)
- Im Okultations-Modus wird das Instrument auf Sonne oder Mond ausgerichtet, wenn diese für den Satelliten gerade "aufgehen". Aus der Absorption des Sonnen- oder Mondlichtes durch die Atmosphäre kann dann deren Dichte in unterschiedlichen Höhen ermittelt werden.



Umweltspion im Labor: Die optische Einheit von SCIAMACHY, ein deutsch-niederländisches Instrument auf dem Satelliten ENVISAT zur Analyse komplizierter Umweltprozesse.

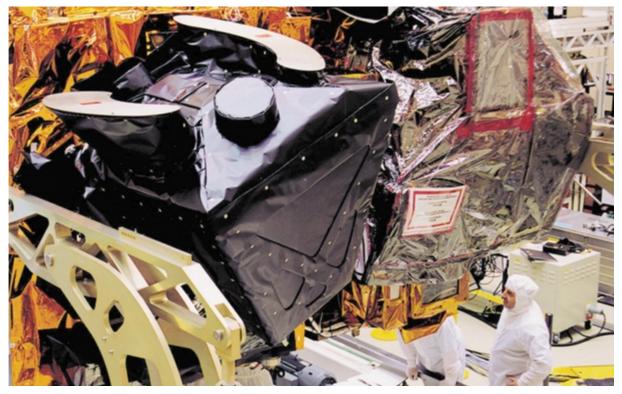
Der Empfindlichkeitsbereich von SCIAMACHY reicht von 240 bis ca. 2.400 Nanometer, also vom langwelligen UV über das sichtbare Licht bis weit in den Infrarot-Bereich. Das spektrale Auflösungsvermögen genügt, um die Konzentration der meisten Gase sowohl im Limb-Modus als auch im Nadir-Modus mit einem Fehler von wenigen Prozent bestimmen zu können.

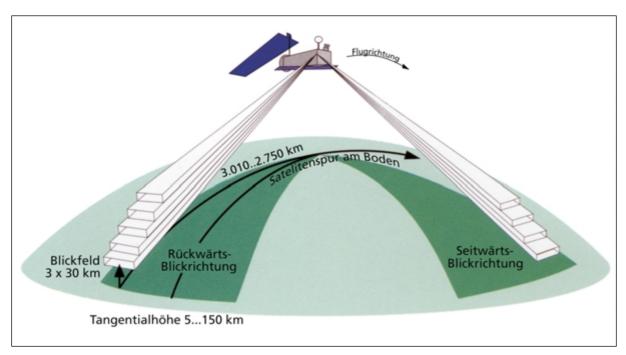
SCIAMACHY empfängt das von der Atmosphäre zurückgestrahlte Sonnenlicht über zwei bewegliche Spiegel. So ist das Instrument in der Lage, die Lufthülle abzutasten und ein räumliches Bild der Rückstrahlung aufzuzeichnen. Um das Eigenrauschen, insbesondere der Infrarot-Kanäle zu reduzieren, muss SCIAMACHYS Optik gekühlt werden. Das geschieht im Weltraum über abstrahlende Kühlbleche. Die Infrarot-Detektoren werden so auf einer konstanten Temperatur um -120 Grad Celsius gehalten.

Die Idee für das Instrument stammt von Prof. John Burrows, dem Projektwissenschaftler, der am Institut für Umweltphysik und Fernerkundung der Universität Bremen lehrt. Er sowie zahlreiche Wissenschaftler aus dem In- und Ausland, darunter auch Forscher des DLR, kümmern sich um die Validation der Daten (den Vergleich mit unabhängigen Messwerten) und um deren Interpretation.

Während SCIAMACHY die Veränderung des Sonnen-Spektrums beim Durchgang des Lichts durch die Atmosphäre misst - die Wissenschaftler erkennen die einzelnen Spurengase anhand ihrer charakteristischen Absorption erkennen – , empfängt MIPAS, das zweite in Deutschland entwickelte Instrument auf ENVISAT, die Eigenstrahlung der Moleküle im mittleren Infrarotbereich (zwischen 4,15 und 14,6 Mikrometer Wellenlänge). Herzstück dieses Geräts ist ein Fourier-Spektrometer (Michelson-Interferometer), das die erforderliche extrem hohe spektrale Auflösung über einen derart weiten Bereich des Infrarotspektrums liefert. Die ankommende Strahlung wird zunächst über zwei Schwenkspiegel zum Abtasten der Atmosphäre in das eigentliche Interferometer geleitet. Dieses enthält einen Strahlteiler und zwei gegeneinander verschiebbare Spiegelsysteme, die gemeinsam eine Weglängendifferenz von bis zu 20 Zentimetern erzeugen können. Bei der anschlie-Benden Überlagerung der beiden Teilstrahlen entstehen in Abhängigkeit von diesem variablen Weglängenunterschied Interferenzen, die als sogenannte Fouriertransformation des Gesamtspektrums bezeichnet werden; aus ihr lässt sich mit einem geeigneten Computerprogramm durch Umkehr der Fouriertransformation das Originalspektrum berechnen. Da die Intensität der zu vermessenden Strahlung in der Größenordnung von einigen

24-Stunden-Späher aus Deutschland: Das Instrument MIPAS wird die Eigenstrahlung der Moleküle im mittleren Infrarotbereich messen und dadurch Luftverschmutzungen auf die Spur kommen.





Die Atmosphäre im Visier: Mit einer raffinierten Technik und Aufnahme-Geometrie schaut das in Deutschland entwickelte Instrument MIPAS vom Satelliten ENVISAT aus auf unsere sensible Umwelt.

Nanowatt liegt, müssen die optischen Elemente des Fourier-Spektrometers auf -70 Grad Celsius gekühlt werden, um die Eigenstrahlung der Elemente zu verringern; wie bei SCIAMACHY geschieht dies durch Abstrahlung über Kühlbleche. Zusätzlich werden die infrarot-empfindlichen Quecksilber-Cadmium-Tellurid-Detektoren zur Empfindlichkeitssteigerung mit einem aktiven Kühlaggregat (Stirling-Kühler) auf -200 Grad Celsius gehalten.

Während der Missionszeit wird MIPAS im Dauereinsatz Daten liefern - entweder von der Atmosphäre oder – in regelmäßigen Abständen – von der mitgeführten Eichquelle. MIPASi beobachtet MIPAS den "Horizont" und beginnt jeden Messzyklus bei einer Tangentialhöhe von etwa 70 Kilometern; die Aufnahme eines Spektrums (das Durchfahren des gesamtem Bereichs vom minimalen zum maximalen Weglängenunterschied) nimmt bei voller spektraler Auflösung 4,6 Sekunden in Anspruch, bei einer auf zehn Prozent verringerten Auflösung nur eine Sekunde. Anschließend wird die Tangentialhöhe in Schritten von jeweils fünf oder drei Kilometern bis auf eine minimale Resthöhe von sieben Kilometer verringert. So kann in einer entsprechend hohen Luftsäule über einem etwa 30 x 375 Quadratkilometer großen Gebiet auf der Erde innerhalb von 75 Sekunden die Konzentration zahlreicher Spurengase ermittelt werden (die Breite dieser Fläche ergibt sich aus der Breite des Spektrometer-Gesichtsfeldes, die Länge aus der Eigenbewegung des Satelliten während der Messphase, wobei sich durch das Abwärtsschwenken des Elevationsspiegels die Perspektive verändert und damit die effektive Länge von etwa 500 Kilometer auf rund 375 Kilometer verkürzt wird). MIPAS kann (bezogen auf die Flugrichtung des Satelliten) wahlweise nach hinten oder im rechten Winkel zur Seite blicken.

Damit die Daten auch den richtigen Höhen zugeordnet werden können, muss die Ausrichtung des Instrumentes sehr genau bekannt sein, denn während der Messung ist der Satellit etwa 3.300 Kilometer vom jeweiligen "Horizont" entfernt. Wenn daher die Ungenauigkeit der Höhenangabe nicht größer als ein Kilometer sein soll, muss die Blickrichtung des Spektrographen auf etwa eine Bogenminute genau fixiert werden können – das entspricht ungefähr einem Dreißigstel des Monddurchmessers.

An der Konzeption und Entwicklung des rund 327 Kilogramm schweren Instrumentes waren Forschergruppen und Ingenieure aus vielen Nationen beteiligt. Die wissenschaftliche Leitung liegt in Deutschland beim Institut für Meteorologie und Klimaforschung des Forschungszentrums Karlsruhe.

### Die SRTM-Mission für eine 3-D-Karte der Erde

m Februar 2000 konnte der deutsche ESA-Astronaut Gerhard Thiele in nur elf Tagen die Daten für eine nahezu erdumspannende 3-D-Karte unseres Planeten sammeln – eine rekordverdächtige Leistung, wenn man bedenkt, dass Carl Friedrich Gauß knapp 200 Jahre vorher für die Vermessung des Königreiches Hannover die Daten über viele Jahre hinweg durch mühsame "Feldarbeit" beschaffen musste.

Deutscher Landvermesser im Weltraum: Der ESA-Astronaut Gerhard Thiele hat auf der deutsch-amerikanischen SRTM-Mission aus dem amerikanischen Shuttle heraus die Erde dreidimensional kartografiert. (Foto: ESA)



Möglich wurde diese "Blitzaktion" durch ein Stereo-Radarsystem, das an Bord des Raumtransporters Endeavour die Erdoberfläche aus einer Höhe von 233 Kilometern vermessen hat. Die sogenannte SRTM-Mission (für Shuttle Radar Topography Mission – die Erstellung einer topographischen Karte mit einem Radar an Bord des Shuttle) wurde unter starker deutscher Beteiligung in Zusammenarbeit mit der NASA vorbereitet.

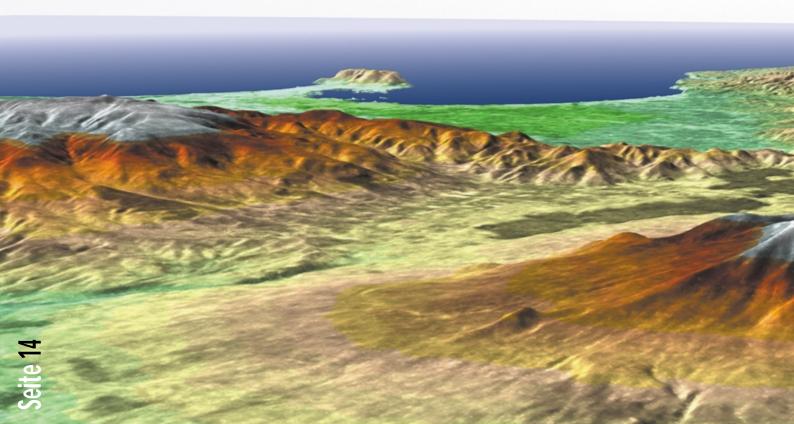
Herzstück der wissenschaftlichen Nutzlast waren zwei verschiedene Radarsysteme, die bei unterschiedlichen Wellenlängen beziehungsweise Frequenzen arbeiten. Das amerikanische SIR-C-System (für Shuttle Imaging Radar – abbildendes Shuttle-Radar – im C-Band) tastete die Erdoberfläche bei einer Wellenlänge von sechs Zentimetern (entsprechend einer Frequenz von etwa fünf Gigahertz) ab.

Es erfasste einen rund 225 Kilometer breiten Streifen und konnte die gesamte Landfläche der Erde zwischen den 58. Breitengraden Nord und Süd erfassen.

Das in deutsch-italienischer Kooperation entwickelte Gegenstück, das X-SAR (für Synthetic Apertur Radar – ein Radar mit künstlich vergrößerter Antenne – im X-Band) arbeitete bei einer Wellenlänge von drei Zentimetern (entsprechend 9,6 Gigahertz). Die kürzere Wellenlänge lieferte gleichsam eine zweite "Farbe" der Radarbilder und erlaubte damit eine zusätzliche Kategorisierung der erfassten Oberflächen. Darüber hinaus sorgte die kürzere Wellenlänge für ein höheres Auflösungsvermögen, das allerdings mit einem schmaleren Abtaststreifen (von nur 50 Kilometer Breite) "bezahlt" werden musste: Das X-SAR konnte während der elf Tage währenden Mission etwa 40 Prozent der überflogenen Landflächen aufnehmen.

Idee und Konzeption zu dieser X-SAR-Antenne stammten aus dem Institut für Hochfrequenztechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Oberpfaffenhofen. Als industrieller Hauptauftragnehmer für die Entwicklung des Instrumentes zeichnete die zur DaimlerChrysler Aerospace gehörende Dornier Satellitensysteme GmbH (heute Astrium GmbH) in Friedrichshafen verantwortlich.

Während der Messphasen über den Landgebieten der Erde wurden pro Sekunde rund 1.700 Mikrowellenpulse abgestrahlt, deren Echos nach jeweils rund einer 650stel Sekunde empfangen wurden.



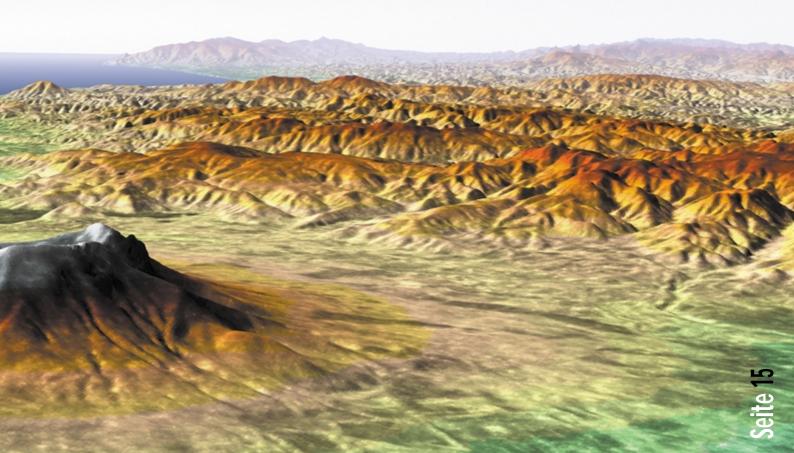
Die "künstliche" Vergrößerung der Radarantenne ergibt sich aus der Bewegung des Raumtransporters: Da ein einzelner Punkt am Erdboden von mehreren aufeinanderfolgenden Pulsen aus unterschiedlichen Positionen erfasst wird, läßt sich aus den verschiedenen Echozeiten und -richtungen seine Lage am Erdboden ähnlich genau bestimmen wie aus den Daten einer viel größeren, aber feststehenden Antenne. Das Verfahren erfordert allerdings einen erheblichen Rechenaufwand.

Beide Systeme waren zuvor schon zweimal parallel zum Einsatz gekommen: im Frühjahr und Herbst 1994. Neu bei der SRTM-Mission war der "Stereoblick", der mit Hilfe einer zweiten Empfangsantenne am Ende eines 60 Meter langen Auslegers erreicht wurde. Diese zweite Antenne empfing die gleichen Echos mit einem geringfügigen Laufzeitunterschied, der ausreichte, um mit dem amerikanischen SIR-C-System eine Höhenauflösung von zehn Metern zu erreichen, mit dem deutsch-italienischen X-SAR eine solche von sechs Metern. Angaben über die dritte Dimension lassen sich zwar in Grenzen auch aus den Daten verschiedener Überfliegungen des gleichen Gebietes gewinnen, doch kann sich in der Zwischenzeit das entsprechende Radarecho deutlich verändert haben, zum Beispiel durch Regen, der die Bodenfeuchte ansteigen lässt und damit die Rückstrahleigenschaften beeinflusst. Für die Erstellung einer topographischen Karte mit hinreichend zuverlässigen Höhenangaben ist die zeitgleiche Höhenerfassung daher eine wesentliche Voraussetzung.



Etwa drei Jahre nach der Mission werden die meisten Daten ausgewertet sein. Sie ermöglichen eine digitale Höhenkarte der Erde, die für jedes Gebiet von 30 mal 30 Metern eine bis auf sechs Meter genaue Höhenangabe enthält. Der bislang beste vollständige Datensatz lieferte für eine Fläche von 1.000 mal 1.000 Metern nur eine auf 100 Meter genaue Höhe.

Genaue Abtastung aus dem Weltall: Die amerikanisch-deutsche SRTM-Mission lieferte im Februar 2000 mittels eines ausgefahrenen Radarmastes Daten für eine detailreiche digitale Höhenkarte der Erde, aus der sich auch dreidimensionale Ansichten der Erdoberfläche berechnen lassen. Unten im Bild: Hokkaido, die nördlichste der vier Hauptinseln Japans.





te Meeresoberfläche repräsentiert, ist derzeit nur mit einer Genauigkeit im Bereich von einem Meter bekannt. Demgegenüber liefern radargestützte Höhenmessungen eines Satelliten eine Genauigkeit im Zentimeterbereich. Mit einer verbesserten Kenntnis des Geoids werden sich also reale Veränderungen des Meeresspiegels deutlicher erkennen lassen als bisher, seien sie nun durch Temperaturänderungen des Wassers ausgelöst, strömungsbedingt oder durch den Austausch zwischen Wasser und Eis. Darüber hinaus bildet das globale Geoid die Bezugsfläche für alle topografischen Höhen und ist außerdem eine grundlegende Voraussetzung für die genaue Bahnbestimmung von niedrig fliegenden Satelliten.

Unregelmäßigkeiten im Schwerefeld der Erde verraten aber auch Details aus dem Erdinnern und ermöglichen damit ein besseres Verständnis der dynamischen Vorgänge, die sich tief unter unseren Füßen abspielen. Zusammen mit den magnetischen Daten und deren Veränderungen liefern sie Hinweise auf großräumige Prozesse wie die Plattentektonik und deren Anbindung an die Konvektion des Erdmantels. CHAMP kann diese Signale mit so hoher Genauigkeit messen, dass sich daraus wesentliche Randbedingungen zur Überprüfung verschiedener Modelle über den Aufbau des Erdinnern ergeben und beobachtete Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Erdbebenwellen sich präziser als bisher in Dichtewerte des Gesteins umwandeln lassen, was wiederum unsere Kenntnis über das Erdinnere und die Vorgänge in den Grenzzonen verbessert.

Schließlich wird es möglich sein, die beobachteten Änderungen im Schwerefeld der Erde einzelnen "Verursachern" zuzuordnen. Dabei werden die größten, mit CHAMP messbaren Signale durch Massenbewegungen in der Atmosphäre, Grundwasseränderungen, Massenverlagerungen durch Ozeanströmungen, aus der Reaktion der oberen Erdkruste auf Veränderungen im Bereich aufliegender Eismassen und durch Massenbewegungen innerhalb des flüssigen Erdkerns ausgelöst.

Auch das Magnetfeld der Erde entspricht in seiner Struktur nicht der weit verbreiteten Vorstellung, die durch das allseits bekannte Dipolfeld eines Stabmagneten wiedergegeben wird: Zum einen stellt es eine Überlagerung von drei Hauptquellen dar, zum anderen unterliegen zumindest zwei dieser Quellen ständigen Veränderungen. So unterscheidet man zwischen dem Hauptfeld, das durch



Startbereit: Der Kleinsatellit CHAMP – hier mit eingeklapptem Ausleger – erinnert in seiner Form an ein überdimensioniertes altes Zupfinstrument. (Foto: GFZ Potsdam)

den im Erdkern ablaufenden Dynamoprozess und Strömungen im Erdmantel aufgespannt wird, dem Krustenanomalienfeld, das seinen Ursprung in der Magnetisierung von Gesteinen und Sedimenten hat, und schließlich dem Außenfeld, für das in der lonosphäre und der Magnetosphäre der Erde fließende elektrische Ströme verantwortlich sind; sowohl das Hauptfeld als auch das Außenfeld zeigen deutliche zeitliche Veränderungen.

Seit Beginn regelmäßiger Magnetfeld-Messungen im frühen 19. Jahrhundert hat die Intensität des irdischen Magnetfeldes beständig abgenommen. Allerdings ist dies nicht das Ergebnis einer allgemeinen Abschwächung, sondern muss differenzierter betrachtet werden. So ist die Magnetfeldstärke über dem Südatlantik allein in den vergangenen 20 Jahren um zehn Prozent zurückgegangen. Selbst niedrig fliegende Satelliten sind daher in dieser Region einer erhöhten Strahlungsbelastung durch energiereiche Teilchen von außen ausgesetzt. Noch deutlicher sind Veränderungen im Außenfeld zu spüren. Sie werden durch dynamische Vorgänge auf der Sonne ausgelöst und über Störungen im Sonnenwind an die Erde herangeführt, wo sie das "innere" Magnetfeld erschüttern und mitunter magnetische Stürme auslösen, die sich in hohen geografischen Breiten als Polarlichter auch optisch bemerkbar machen. Solche Ereignisse führen immer wieder zu Störungen moderner technischer Systeme wie etwa zum Ausfall von Nachrichtensatelliten oder zum Zusammenbruch von Überland-Stromversorgungsnetzen.

Aus der Analyse von Funksignalen, die an Bord des Satelliten von "untergehenden" GPS-Satelliten empfangen werden, lassen sich zusätzlich Angaben über Temperatur- und Druckprofile der Atmosphäre ableiten: Bei abnehmender Höhe über dem "Horizont" müssen die Signale durch immer dichtere Luftschichten dringen, was infolge der Änderung des Brechungsindex zu einer Änderung der scheinbaren Ursprungsrichtung und -entfernung der Signalquelle führt. Dabei lässt sich der Fehler der Höhenangabe einzelner "Messpunkte" auf wenige hundert Meter eingrenzen.

### BIRD – ein ganz besonderer "Vogel"

ormalerweise fliegen Vögel im unteren Bereich N der Troposphäre, in Höhen von bis zu einigen Kilometern. Seit dem 22. Oktober 2001 umkreist allerdings ein Vogel ganz besonderer Art die Erde in einer Höhe von rund 570 Kilometern, also weit außerhalb der "tragenden" Lufthülle. Gemeint ist BIRD, ein Kleinsatellit des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, der im Herbst 2001 mit einer indischen Rakete gestartet wurde. BIRD steht für Bispectral Infrared Detection, und dieser Name ist Programm, geht es doch darum, vom Weltraum aus sogenannte "Hot Spots" frühzeitig zu erkennen: dazu gehören Vulkanausbrüche und Waldbrände, bei denen insbesondere ihre Ausdehnung und die auftretenden Flammentemperaturen von Interesse sind.

Herzstück des 94 Kilogramm schweren "Feuervogels" in Gestalt eines High-Tech-Würfels von 60 Zentimeter Kantenlänge ist eine von Forschern und Ingenieuren des Berliner DLR-Instituts für Weltraumsensorik und Planetenerkundung entwickelte neue Generation von Infrarotsensoren, die speziell auf die Feuerfernerkundung zugeschnitten sowie für den Einsatz auf Kleinsatelliten geeignet sind. Hinzu kommen neue Drallräder zur Lagestabilisierung aus Berlin und ein neuartiges On-Bord-Navigationssystem.

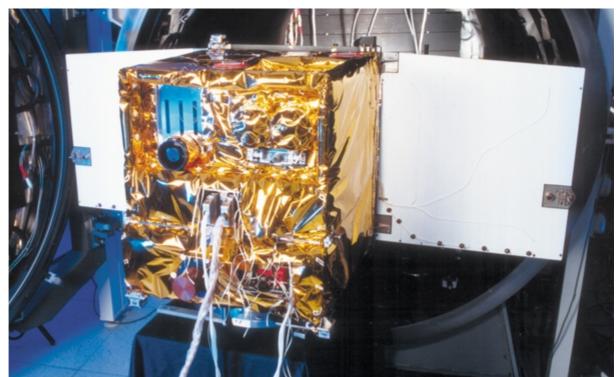
Der Hauptsensor von BIRD besteht aus einem 2-Kanal-Infrarot-Sensorsystem zur Erkennung und Analysierung von Hochtemperaturereignissen, sogenannten "Hot Spots" (Hot Spot Recognition Sensor), und einem optoelektronischen Weitwin-

kel-Scanner WAOSS-B (Wide-Angle Optoelectronic Stereo Scanner), der ursprünglich für den Einsatz auf einer russischen Marssonde entwickelt wurde.

Seine "Feuertaufe" hat BIRD bereits erfolgreich bestanden, als er im Januar 2002 Bilder der Buschbrände im Südosten Australiens übermittelte und dabei seine Fähigkeit unter Beweis stellte, kleinste thermale Kontraste zu erkennen und zugleich auch sehr heiße Ziele wiedergeben zu können. Damit wurde es erstmals möglich, aus dem Weltraum Feuerparameter wie die Temperatur zu messen und – unabhängig von der Sichtbehinderung durch Rauchwolken – die Ausdehnung von Feuerfronten zu erfassen.

Nach einer erfolgreichen Erprobung planen die Berliner Wissenschaftler die BIRD-Infrarot-Sensortechnologie zu einem abbildenden und spektrometrischen Infrarotsystem FOCUS weiterzuentwickeln, das an Bord der Internationalen Raumstation ISS zum Einsatz kommen könnte. Mit FOCUS würden dann Brände vom Weltraum aus in Echtzeit automatisch erkannt und genauer unter die "Infrarot-Lupe" genommen. Diese "Infrarot-Lupe" soll durch Kombination von multispektraler abbildender Infrarotsensorik (vom Typ BIRD) und ein spektral extrem hochauflösendendes Infrarot-Spektrometer Aussagen zu den Auswirkungen der Feuer und des entstehenden Rauches auf Atmosphäre und Umwelt erlauben. Auf diesen Härtetest könnte dann die operationelle Nutzung der neuen Infrarot-Satellitensensor-Technologien auf einem oder mehreren Kleinsatelliten folgen, was eine routinemäßige rasche Erkennung, Bewertung und Reaktion auf irdische Hochtemperatur-Katastrophen bereits in deren Entstehungsphase ermöglichen würde. FOCUS könnte außerdem wertvolle Beiträge für die Vulkanologie liefern.

High-Tech, low-cost: Der beim DLR in Berlin-Adlershof gebaute Kleinsatellit BIRD – ein "Feuervogel" der besonderen Art.





Horchen in den Weltraum: Eine Empfangsantenne für Satellitendaten des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums (DFD) beim DLR in Oberpfaffenhofen.

# Das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum

a die Daten von Erdbeobachtungssatelliten häufig die einzige verfügbare Informationsquelle über den Zustand und die Dynamik großer Teile der Erdoberfläche und der Atmosphäre darstellen, kommt ihrer Sammlung, Weiterverarbeitung und Langzeitarchivierung eine wichtige Rolle zu.

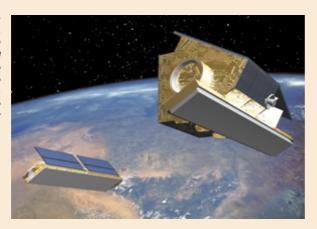
Das Deutsche Fernerkundungs-Datenzentrum (DFD) wurde 1992 gegründet und ist eine Einrichtung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt mit Standorten in Oberpfaffenhofen, Köln-Porz und Neustrelitz. Es entwickelt und betreibt so genannte Bodensegmente für satellitengestützte Erderkundungsprogramme mit deutscher und internationaler Beteiligung. Durch diese datenund informationstechnischen Empfangs-, Verarbeitungs-, Archivierungs- und Zugriffssysteme wird der kontinuierliche und nachhaltige Zugang zu den Daten- und Informationsprodukten der wichtigsten Erderkundungssatelliten sowohl für wissenschaftliche als auch für kommerzielle Nutzer sichergestellt. Außerdem wird durch Forschung und Entwicklung im Be-reich der Algorithmik die Gewinnung von geowissenschaftlichen Informationen aus den Primärdaten und die Entwicklung und Erzeugung von hochwertigen Fernerkundungsprodukten vorangetrieben. Zu den Einrichtungen des DFD gehören in Oberpfaffenhofen Empfangsanlagen für die Daten der meteorologisch/ ozeanografischen

Satellitensysteme Meteosat und NOAA, während in Neustrelitz die Daten von ERS-2, Landsat-7 und einigen indischen Erderkundungssatelliten aufgefangen werden; außerdem stehen dort Referenzstationen für Navigationssatelliten des amerikanischen GPS- und des russischen GLONASS-Systems. Zu-sätzlich betreibt das DFD ein weitgespanntes Netz von Bodenstationen in Kooperation mit staatlichen und industriellen Satellitenbetreibern wie ESA, NASA, ISRO, NPO Planeta und Space Imaging. Die DFD-Arbeitsgruppe in Köln-Porz befasst sich mit der Nutzung der Erdbeobachtungsdaten für Um-weltsystemanalysen und hydrologische Fragestellungen.

Im Auftrag der ESA betreibt das DFD seit Beginn der ERS-Missionen eine "Processing and Archiving Facility" (PAF). Es übernimmt auch für ENVISAT die Rolle eines europäischen "Processing and Archiving Centers" (PAC).

Die Menge der anfallenden Daten lässt sich nur noch durch vollautomatisierte, robotergesteuerte Archive verwalten. Sie wird aber – nicht zuletzt durch ENVISAT – in den kommenden Jahren weiter ansteigen. Derzeit verfügt das DFD über zwei dezentrale Archive in Oberpfaffenhofen und Neustrelitz, die bis zu einer Speicher-kapazität von einer Million Gigabyte ausgebaut werden können.

Fliegender Doppelpack im All: Der TerraSAR-X-Satellit soll demnächst wissenschaftlich und kommerziell nutzbare Radardaten der Erde liefern.Ein Satellitentandem könnte diese Aufgabe noch besser erfüllen.



# TerraSAR-X – Die Wirtschaft entdeckt die Erdbeobachtung

A uf der Basis der bisherigen Erfahrungen im Bereich der Synthetic-Apertur-Radar-Technologie bereiten das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und die Astrium GmbH Bau und Betrieb eines operationellen Radarsatelliten für die wissenschaftliche und kommerzielle Nutzung vor. Das "TerraSAR-X" genannte Projekt soll erstmals in einer öffentlich-privaten Partnerschaft (ppp – private public partnership) durchgeführt werden, bei der beide Parteien zur Finanzierung des Systems beitragen. Herzstück des Satelliten ist ein im X-Band arbeitender Radarsatellit, der mit unterschiedlichen Betriebsmodi die Erdoberfläche erfassen kann:

- -Im "Spotlight" -Modus wird ein zehn mal zehn Kilometer großes Gebiet mit einer Auflösung von ein bis zwei Metern aufgenommen,
- -im "Stripmap" -Modus ein 30 Kilometer breiter Streifen mit einer Auflösung zwischen drei und sechs Metern registriert,
- -im "ScanSAR" -Modus sogar ein 100 Kilometer breiter Streifen, allerdings mit der geringeren Auflösung von 16 Metern erfasst.

TerraSAR-X soll 2005 starten. Der Satellit wird von der Astrium GmbH gebaut. Das DLR übernimmt den Satellitenbetrieb sowie Datenempfang, -prozessierung und -verteilung. Die hochaufgelösten Daten von TerraSAR-X sollen durch den Geoinformations-Anbieter "Infoterra" kommerziell verwertet werden. Ziel ist dabei, das Geschäftsfeld Erdbeobachtung in Europa so zu etablieren, dass es erfolgreich unter kommerziellen Gesichtspunkten betrieben werden kann. Das DLR ist in diesem Rahmen zuständig für die wissenschaftliche Verwertung der Daten.

# nternetadressen

### http://www.dlr.de

Homepage des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt

#### http://www.esa.int

Homepage der europäischen Weltraumagentur ESA

### http://sci.esa.int

Wissenschaftsportal der ESA

### http://spaceflight.nasa.gov

Homepage der bemannten Raumfahrt der US-Weltraumbehörde NASA

### http://science.nasa.gov

Wissenschaftsportal der NASA

### http://www.heavens-above.com

Homepage zur Beobachtung und Bahnverfolgung von Satelliten, Raumschiffen und der Internationalen Raumstation ISS



Die Schulinformation Raumfahrt wird herausgegeben vom:

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt** e.V.

51170 Köln



Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung

Redaktion: Eduard Müller, DLR

Text:

Astrohahn, Köln

Gestaltung: MACH 8, Essen

Bildnachweis: DLR, NASA

Druck

Richard Thierbach GmbH, Mülheim an der Ruhr