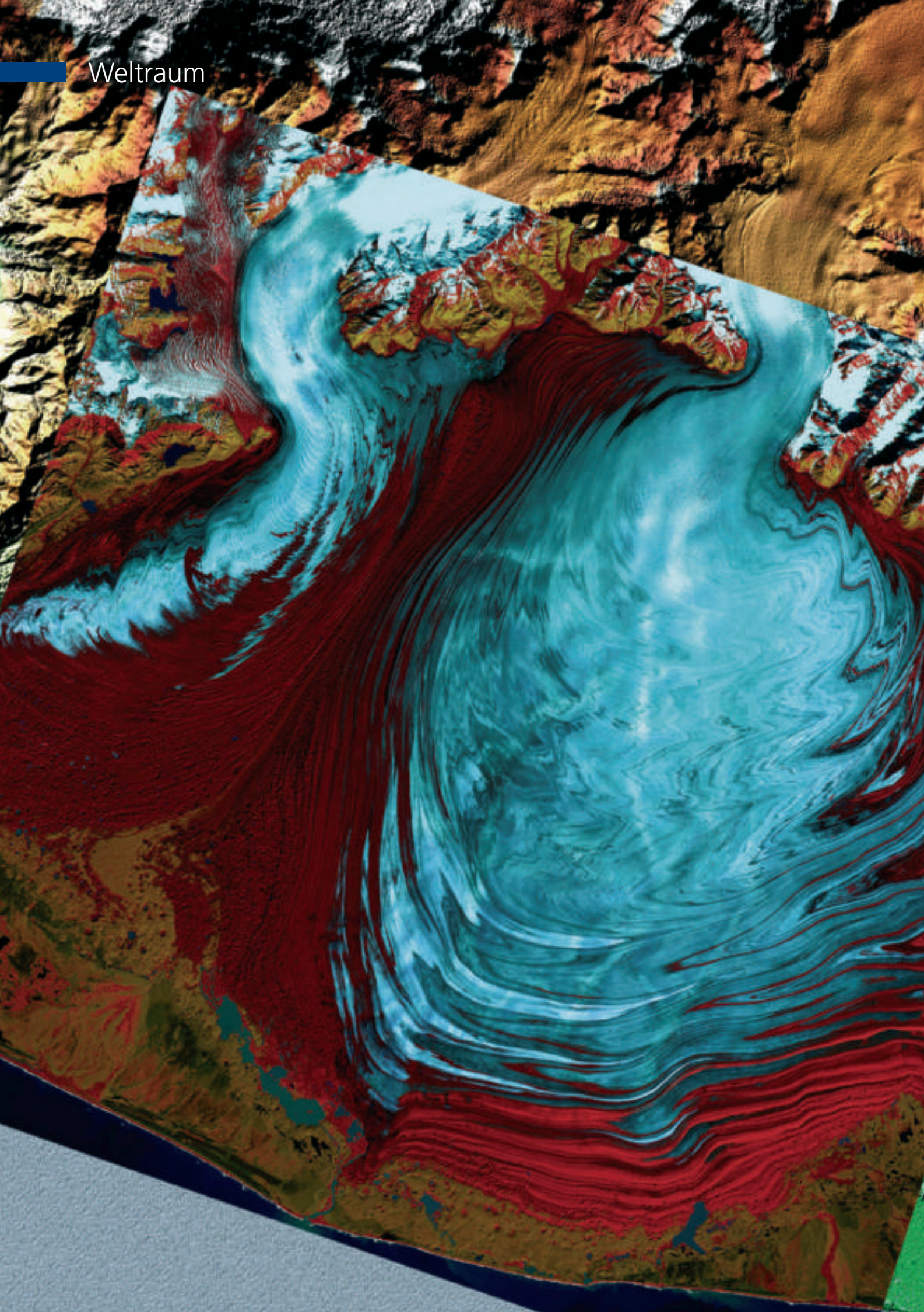


Weltraum



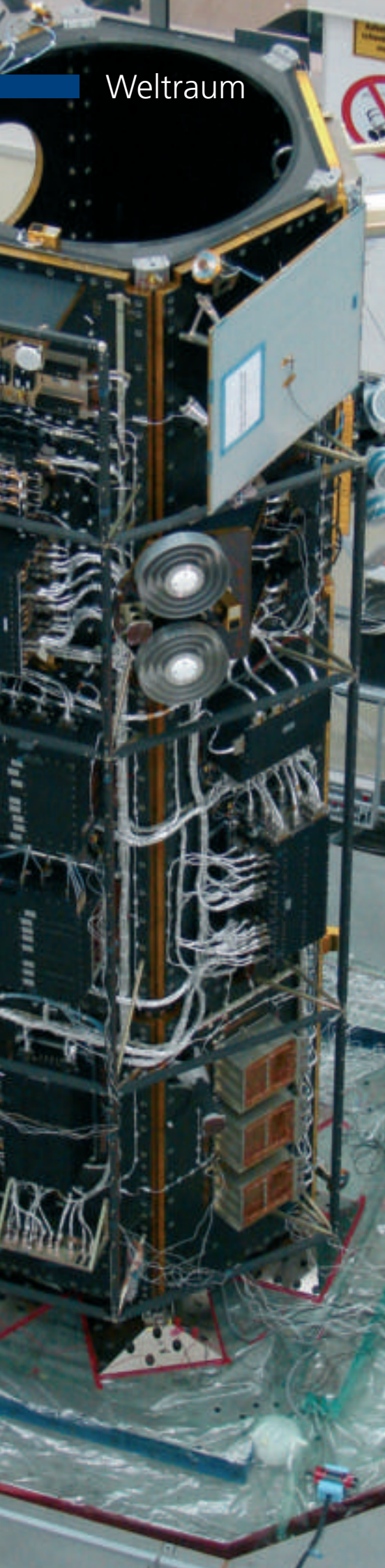


Das Radar-Auge im All

Der deutsche Satellit TerraSAR-X wird die Erde auch bei Nacht und durch Wolken hindurch erkunden

Von Rolf Werninghaus

Wenn sich TerraSAR-X im Februar 2007 auf der Spitze einer russischen DNEPR-1 Rakete vom kasachischen Weltraumbahnhof Baikonur in den Himmel erhebt, wird dies der Höhepunkt einer langen und aufregenden Entwicklung sein. Wissenschaftler und Ingenieure des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und von Europas führendem Satellitenhersteller Astrium werden dann im deutschen Satellitenkontrollzentrum des DLR in Oberpfaffenhofen mit Spannung die ersten Minuten und Stunden „ihres“ in vielen anstrengenden Stunden entwickelten Radarsatelliten im Weltraum aufmerksam verfolgen. Hinter ihnen liegt zu diesem Zeitpunkt ein langer und bisher in Deutschland einmaliger Weg zu einer partnerschaftlichen Realisierung eines Erdbeobachtungssystems.



Schon in den 90er Jahren gab es Überlegungen in der deutschen Industrie, Fernerkundungsdaten dem kommerziellen Markt zuzuführen. Diese Gedanken trafen im damals zuständigen Ministerium für Bildung und Forschung (BMBF) auf fruchtbaren Boden, wo etwa um die gleiche Zeit versucht wurde, bislang rein wissenschaftlich orientierte Projekte unter Beteiligung der deutschen Industrie in privatwirtschaftliche Anwendungen zu überführen. Darauf aufbauend wurde die Idee eines Leitprojektes geboren, in dem die öffentliche Hand und die Industrie kooperieren, um gemeinsam ein Projekt zu realisieren, dessen Verwirklichung jeder Seite allein nicht möglich gewesen wäre. Ziel war dabei ein Erdbeobachtungssystem, das die Interessen des Staates – die liegen in der Regel in der Bereitstellung von Daten für die wissenschaftliche Forschung – und die Interessen der Industrie an Daten für den kommerziellen Markt gleichermaßen befriedigen kann.

Ausgehend von den Ergebnissen einer Marktuntersuchung der Astrium GmbH wurde zusammen mit den Wissenschaftlern und Ingenieuren des DLR die Spezifikation eines Radarsatellitensystems erstellt, dessen Daten beiden Nutzergruppen gleichermaßen zugute kommen sollten. Dabei konnte das DLR seine umfangreiche Expertise in der Radartechnologie einbringen, die es 1994 in den zwei X-SAR-Missionen (X-SAR: X-Band Synthetic Aperture Radar) auf dem Space Shuttle und 2000 in der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) erworben hat. Die drei DLR-Einrichtungen Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme, Institut für Methodik der Fernerkundung und

Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum bilden gemeinsam das SAR Center of Excellence. Die beteiligten Institute ergänzen sich in idealer Weise und decken alle Bereiche ab: von der Sensortechnik und Missionsauslegung über die hochgenaue operationelle Prozessierung bis hin zu den veredelten Nutzerprodukten. So sind diese Institute zusammen mit dem Deutschen Raumfahrtkontrollzentrum GSOC im Fall von TerraSAR-X auch zuständig für den Aufbau des Bodensegmentes sowie den fünfjährigen Satellitenbetrieb.

Der Satellit TerraSAR-X

Schließlich wurde zusammen mit Astrium ein Satellitensystem definiert, das im so genannten X-Band bei einer Wellenlänge von etwa drei Zentimetern und einer Frequenz von 9,65 Gigahertz operiert. Das Ergebnis ist TerraSAR-X, ein Satellit, der aus einer 514 Kilometer hohen Um-



TerraSAR-X vor der Endmontage

laufbahn Aufnahmen mit einer Auflösung von 16 Metern, drei Metern und einem Meter liefern wird – und das Tag und Nacht sowie durch Wolken hindurch. Damit eignet sich der Satellit für eine Fülle von Anwendungen sowohl im wissenschaftlichen wie auch im kommerziellen Bereich.

Der gesamte Satellit ist sehr kompakt gebaut. Der fünf Meter lange Körper besitzt einen sechseckigen Querschnitt, seine primäre Nutzlast ist ein aktives Radar. Es ermöglicht, den Strahl senkrecht zur Flugrichtung in einem Schwenkbereich zwischen 20 und 60 Grad elektrisch zu verstellen, ohne den Satelliten selbst bewegen zu müssen. Der Vorteil liegt auf der Hand: Es lassen sich aus der Flugbahn wesentlich mehr Ziele anpeilen als bei einem festen Radar. Außerdem kann man den Strahl eines aktiven Radars länger auf einen Bereich konzentrieren, während der Satellit über ihn hinweg-

fliegt. Dadurch erhöht sich die Intensität des empfangenen Signals, was sich in einer höheren Auflösung, sprich Detailschärfe, äußert. In diesem so genannten Spot-Modus kann ein fünf mal zehn Quadratkilometer großes Gebiet mit einer Auflösung von einem Meter aufgenommen werden. Autos beispielsweise sind damit leicht erkennbar. Im mittleren Strip-Map-Modus tastet die Antenne einen 30 Kilometer breiten und bis zu 1.500 Kilometer langen Streifen mit drei Metern Auflösung ab. Und das „Weitwinkelobjektiv“ (ScanSAR-Modus) liefert in einem 100 mal 1.500 Quadratkilometer großen Gebiet 16 Meter Auflösung. Es dauert maximal viereinhalb Tage, bis der Satellit einen beliebigen Ort auf der Erde beobachten kann.

Eine Spezialität von TerraSAR-X ist der „Dual Receive Antenna Mode“. Das ist ein experimenteller Modus, mit dem sich Bewegungen am

Boden ausmachen lassen. Dabei wird die Radarantenne elektrisch in zwei Hälften geteilt, die dann voneinander unabhängig betrieben werden. Der Satellit verhält sich nun so, als verfüge er über zwei Augen, mit denen er am Boden Bewegungen erkennen kann, die sich jeweils zwischen zwei Pulsen ereignet haben. Mit dieser Along Track Interferometrie genannten Technik will man zum Beispiel Verkehrsströme auf Autobahnen messen. Denkbar wäre es auch, die Bewegung von Schiffen und anderen Fahrzeugen zu verfolgen. Dass diese Technik im Prinzip funktioniert, konnte bereits im Jahr 2000 im Rahmen der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) demonstriert werden.

Die Messdaten sollen an Bord in einem Festspeicher abgelegt und bei jedem Bodenkontakt mit 300 Megabit pro Sekunde an die Bodenstation des DLR in Neustrelitz übertragen



Künstlerische Darstellung von TerraSAR-X über Europa



Digitale Höhenprofile, hier am Beispiel der Region Köln, können mit TanDEM-X erstellt werden

werden. Darüber hinaus ist beabsichtigt, Daten auch direkt an kommerzielle Kunden der Astrium Tochter Infoterra GmbH mit eigener Empfangsstation, so genannte Direct Access Partner, zu übertragen.

Neben dem SAR-Instrument fliegen zwei sekundäre Nutzlasten auf TerraSAR-X: Das von der Raumfahrt-Agentur des DLR finanzierte und von der Firma TESAT gebaute Laser Communication Terminal (LCT) ist ein Technologie-Demonstrator, der zur In-Orbit Verifikation einer schnellen optischen Datenübertragung mit mehreren Gigabit pro Sekunde via Laserstrahl eingesetzt werden soll. Das Tracking, Occultation and Ranging Experiment (TOR) wird vom Geo-Forschungszentrum Potsdam (GFZ) bereitgestellt. Es besteht u. a. aus dem Zweifrequenz-GPS-Empfänger IGOR, der eine hochexakte Bahnbestimmung des Satelliten mit bis zu zehn Zentimetern Genauigkeit erlaubt.

Die Aufgaben der Partner

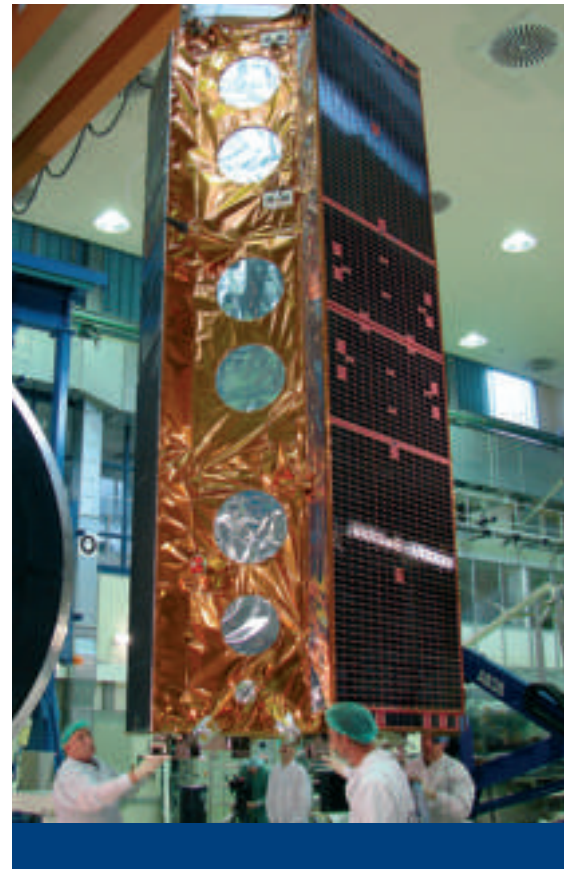
Mit Astrium beteiligt sich die Industrie erstmals zu einem erheblichen Teil an der Finanzierung eines Satelliten sowie des Missionsbetriebes. Die Raumfahrt-Agentur im DLR ist in der TerraSAR-X-Partnerschaft zuständig für das Management des Gesamtprojektes. Die genannten Forschungsinstitute des DLR haben das Bodensegment für die Kommandierung des Satelliten, den Betrieb und die Kalibrierung des Radarinstrumentes sowie den Datenempfang aufgebaut. Sie werden zudem den Missionsbetrieb über fünf Jahre durchführen sowie die Daten prozessieren, archivieren und an die Wissenschaftler verteilen. Astrium hat den Satelliten gebaut, getestet und ist für den Start verantwortlich.

Die Daten bleiben Eigentum des DLR, die wissenschaftliche Nutzung wird vom Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum des DLR koordiniert. Die Infoterra GmbH vermarktet die Daten kommerziell. Kommerzielle und wissenschaftliche Nutzer sollen dabei im Mittel gleich große Anteile an der insgesamt möglichen Beobachtungszeit erhalten. Um die langfristige Versorgung der Nutzer mit Daten zu sichern, ist in der Kooperationsvereinbarung bereits ein Nachfolger des TerraSAR-X vorgesehen, der – bei positivem Geschäftsverlauf – gänzlich von Astrium finanziert und betrieben werden soll.

Vorbereitung auf den Start

Nach einer nahezu fünfjährigen Vorbereitungsphase wurde der TerraSAR-X-Satellit bei IABG in Ottobrunn intensiv überprüft und hat Ende September 2006 alle Tests – von den Vibrationstests, über die Untersuchungen in der Thermal- und Vakuumkammer bis hin zur elektromagnetischen Kompatibilität – ohne Probleme überstanden. Nach Abschluss dieser Umwelttestphase und Freigabe durch ein Review-Board wird der Satellit dann im Januar 2007 per Flugzeug zum Startplatz in Baikonur/Kasachstan transportiert. Hier wird er nochmals in einer etwa vierwöchigen Startkampagne auf eventuelle Transportschäden untersucht, schließlich betankt und auf die Spitze der Startrakete montiert.

Ende Februar 2007 wird es dann soweit sein: Früh morgens um 3:11 Uhr MEZ soll TerraSAR-X an Bord einer DNEPR-1 vom Raumflughafen Baikonur abheben. Bereits etwa 15 Minuten nach dem Abheben wird der Satellit von der Oberstufe der Rakete in den Orbit ausgesetzt,



TerraSAR-X in der Testhalle

TerraSAR-X: Technische Daten

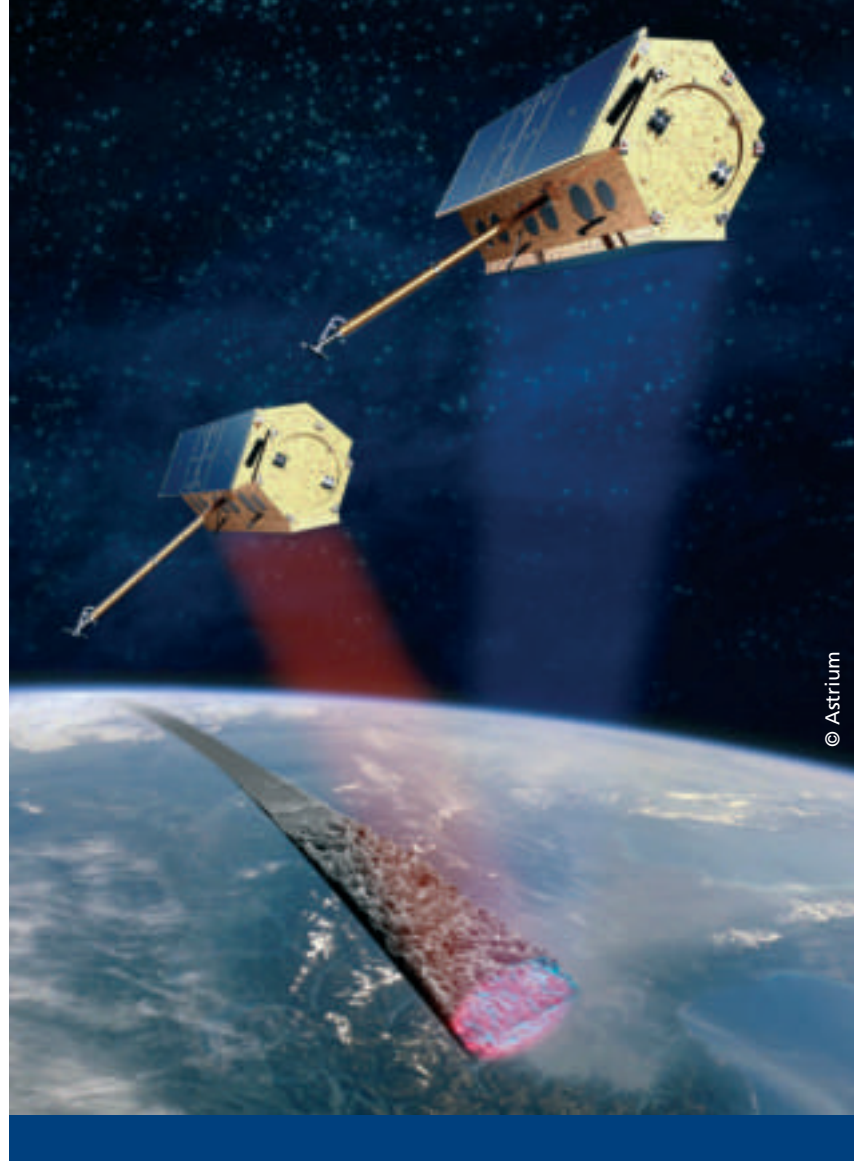
Start	Februar 2007
Ort	Baikonur, Kasachstan
Trägerrakete	DNEPR-1
Orbithöhe	514 km
Inklination	97,4°
Satellitenmasse	ca. 1.340 kg
Satellitengröße	4,88 m Höhe x 2,4 m Durchmesser
Radarfrequenz	9,65 GHz
Energieverbrauch	800 W (gemittelt)
Missionsbetrieb	GSOC Oberpfaffenhofen
Satellitenkommandierung	DLR-Bodenstation Weilheim
Datenempfang	DLR-Bodenstation Neustrelitz
Lebensdauer	mindestens 5 Jahre

woraufhin sich der On-board-Computer, die zentrale Steuereinheit des Satelliten, automatisch aktiviert. Bereits wenige Minuten danach besteht die Gelegenheit, erste „Lebenszeichen“ des Satelliten zu empfangen. Dann wird der Satellit autonom beginnen, seine anfänglich noch trudelnde Lage zu stabilisieren und sich anhand der von ihm vermessenen Positionen von Erde und Sonne auszurichten. In den folgenden zwei Wochen wird das Betriebsteam des Deutschen Satellitenkontrollzentrums (GSOC) in Oberpfaffenhofen die Systeme des Satelliten nach und nach in Betrieb nehmen.

Am Ende dieser „Launch and Early Orbit“ Phase (LEOP) werden das Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme, das Institut für Methodik der Fernerkundung sowie das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum aktiv. Denn nun beginnt die auf fünf Monate angesetzte „Commissioning“-Phase, in der insbesondere das komplexe Radar-Instrument mit seiner Vielzahl von Betriebsmodi in Betrieb genommen, ausgetestet und kalibriert wird. Zahlreiche Radar-Testaufnahmen müssen programmiert und geplant, die aufgenommenen Daten vom Satelliten zur Empfangsstation in Neustrelitz gesendet sowie die empfangenen Daten prozessiert und analysiert werden. Im Sommer 2007 wird der Satellit zum operativen Betrieb bereit sein.

TanDEM-X: Mit dem Zweiten sieht man besser!

Doch Deutschland plant schon weiter: Der Vertrag zum Bau eines weiteren Radarsatelliten namens TanDEM-X im Rahmen einer öffentlich-privaten Partnerschaft ist bereits unterschrieben. Er soll zusätzliche, innovative



TerraSAR-X und TanDEM-X im Aufnahme-Modus (künstlerische Darstellung)

Datenprodukte, insbesondere ein hochgenaues, digitales Höhenmodell der Erdoberfläche liefern. Das deutsche Erdbeobachtungsprogramm setzt mit TanDEM-X seinen einzigartigen Ansatz zur Kommerzialisierung in einer Partnerschaft fort, der mit dem Projekt TerraSAR-X erfolgreich begonnen wurde. Mit der Mission TanDEM-X nutzen die Wissenschaftler die einmalige Gelegenheit eines parallelen Betriebs mit dem TerraSAR-X Satelliten: Im engen Formationsflug soll ein strategisch bedeutendes und für zahlreiche Nutzer notwendiges globales Höhenmodell erstellt werden – und dies in bisher noch nicht erreichter Qualität. Der Start von TanDEM-X ist für das Frühjahr 2009 vorgesehen.

Deutschland wird durch TerraSAR-X und TanDEM-X schon bald über attraktive und weltweit einmalige Datenprodukte verfügen, die in vielfältiger Weise für wissenschaftliche und kommerzielle Zwecke genutzt werden können. Der erfolgreiche Start von TerraSAR-X ist hierzu der erste, wichtige Schritt.

Autor:

Rolf Werninghaus ist Gruppenleiter für die nationalen Missionen, Instrumente und Großprojekte in der Abteilung Erdbeobachtung der Raumfahrt-Agentur im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Er ist Projektleiter für die Satellitenmission TerraSAR-X.