

TanDEM-X

Die Erde
in drei Dimensionen



Inhalt

TanDEM-X	
Die Erde in drei Dimensionen	3
Deutsches Schlüsselprojekt	4
Die Mission TanDEM-X	4
Öffentlich-private Partnerschaft	6
TanDEM-X-Daten für die Wissenschaft	7
Helix-Orbit	8
SAR-Interferometer	8
Anwendungsfelder	9
Across-track-SAR-Interferometrie	9
Along-track-SAR-Interferometrie	12
Kommerzielle Nutzung	13
Technik	14
Sicherheit und Präzision in der Erdumlaufbahn	14
TanDEM-X-Betriebsmodi	15
Der Satellit	17
Das Synthetic Aperture Radar (SAR)	18
Das Bodensegment	19
Die Prozessierungskette	21
Ausblick	22

TanDEM-X

Die Erde in drei Dimensionen

Das Ziel der Mission TanDEM-X ist ein hochgenaues, dreidimensionales Abbild unserer Erde in einheitlicher Qualität und bislang unerreichter Genauigkeit.

Für weite Teile der Erde existieren derzeit nur grobe, uneinheitliche oder lückenhafte Höhenmodelle aus unterschiedlichen Datenquellen und Erhebungsmethoden. TanDEM-X schließt diese Lücken und liefert ein homogenes Höhenmodell als unentbehrliche Grundlage für viele kommerzielle Anwendungen und wissenschaftliche Fragestellungen. Hierzu umkreisen zwei nahezu baugleiche Satelliten in rund 500 Kilometern Höhe die Erde und tasten die Oberfläche mit Radargeräten ab. Der erste der beiden Satelliten, TerraSAR-X, arbeitet bereits seit 2007 erfolgreich im All.

Nach zwei Jahren folgt ihm nun der Zwillingssatellit TanDEM-X. Beide fliegen nur wenige hundert Meter voneinander entfernt in enger Formation und ermöglichen so zeitgleiche Aufnahmen des Geländes aus verschiedenen Blickwinkeln. Daraus werden präzise Höheninformationen in einem 12-Meter-Raster und mit einer vertikalen Genauigkeit von besser als zwei Meter abgeleitet. Innerhalb von drei Jahren entsteht so ein Datensatz von 1,5 Petabyte. Zum Vergleich: Das entspricht dem Speichervermögen von fast 200.000 DVDs. Die Mission TanDEM-X entstand wie die TerraSAR-X-Mission als Projekt in öffentlich-privater Partnerschaft (Public Private Partnership, PPP) zwischen dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der Astrium GmbH Friedrichshafen.



Die Genauigkeit von Höhenmodellen im Vergleich – von links nach rechts: 1 km – 90 m – 30 m – 12 m (= TanDEM-X).

Deutsches Schlüsselprojekt

Nach den erfolgreichen Space-Shuttle-Missionen SIR-C/X-SAR und SRTM, den europäischen Radarsatelliten ERS 1/2 und Envisat sowie dem seit 2007 erfolgreich arbeitenden TerraSAR-X stärkt nun TanDEM-X die wissenschaftlichen und kommerziellen Anwendungen der radar-gestützten Erdbeobachtung. Die Mission demonstriert die deutsche Kompetenz in der satellitengestützten Radartechnik und ist das Ergebnis einer konsequenten Schwerpunktsetzung im nationalen Raumfahrtprogramm. TanDEM-X wird im Auftrag des DLR mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie als PPP-Projekt mit der Astrium GmbH unter dem Kennzeichen 50 EP 0603 durchgeführt.

Die Mission TanDEM-X

Die Mission TanDEM-X (TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement) vermisst die komplette Landoberfläche der Erde, das sind 150 Millionen Quadratkilometer, innerhalb von drei Jahren mehrfach vollständig. Neben der hohen Messpunktdichte (alle zwölf Meter) und der hohen vertikalen Genauigkeit (besser als zwei Meter) hat das mit TanDEM-X und TerraSAR-X erstellte Höhenmodell noch einen anderen überragenden Vorteil: Es ist durchgehend homogen und damit die Basis für ein weltweit einheitliches Kartenmaterial. Bisherige Karten besitzen häufig Brüche, z. B. an Ländergrenzen, oder sie sind schwer vergleichbar, weil sie mit unterschiedlichen Messverfahren und zeitlich gestaffelten Messkampagnen entstanden sind.

TanDEM-X und TerraSAR-X bilden das erste konfigurierbare SAR-Interferometer (SAR = Synthetic Aperture Radar) im Weltall.

Über die Erstellung des globalen Höhenmodells hinaus werden damit neue Techniken der so genannten SAR-Interferometrie getestet sowie weitere Anwendungsmöglichkeiten erschlossen. Der Satellit TanDEM-X ist ein Nachbau von TerraSAR-X mit geringfügigen Erweiterungen. Er besitzt ein zusätzliches Kaltgas-Antriebssystem. So kann die Umlaufbahn des Satelliten für den

Formationsflug mit TerraSAR-X sehr fein justiert werden. Außerdem empfängt TanDEM-X Lage- und Positionsdaten seines Zwillingssatelliten. TanDEM-X ist für eine Lebenszeit von fünf Jahren konzipiert und soll drei Jahre mit TerraSAR-X in Formation fliegen. Da beide Satelliten weitere Reserven für bis zu sieben Jahre Betrieb besitzen, kann die gemeinsame Mission bei Bedarf verlängert werden.

Dank der eigenen Beleuchtungsquelle können Messungen mit SAR-Systemen rund um die Uhr durchgeführt werden. Zudem sind SAR-Systeme weitgehend unabhängig von den Wetterverhältnissen. Dies trägt erheblich zur Verlässlichkeit des gesamten Systems bei; eine Eigenschaft, die von vielen Nutzern zunehmend verlangt wird.

TanDEM-X und TerraSAR-X fliegen in Formation im Weltall und erstellen ein hochgenaues globales Höhenmodell.



Öffentlich-private Partnerschaft

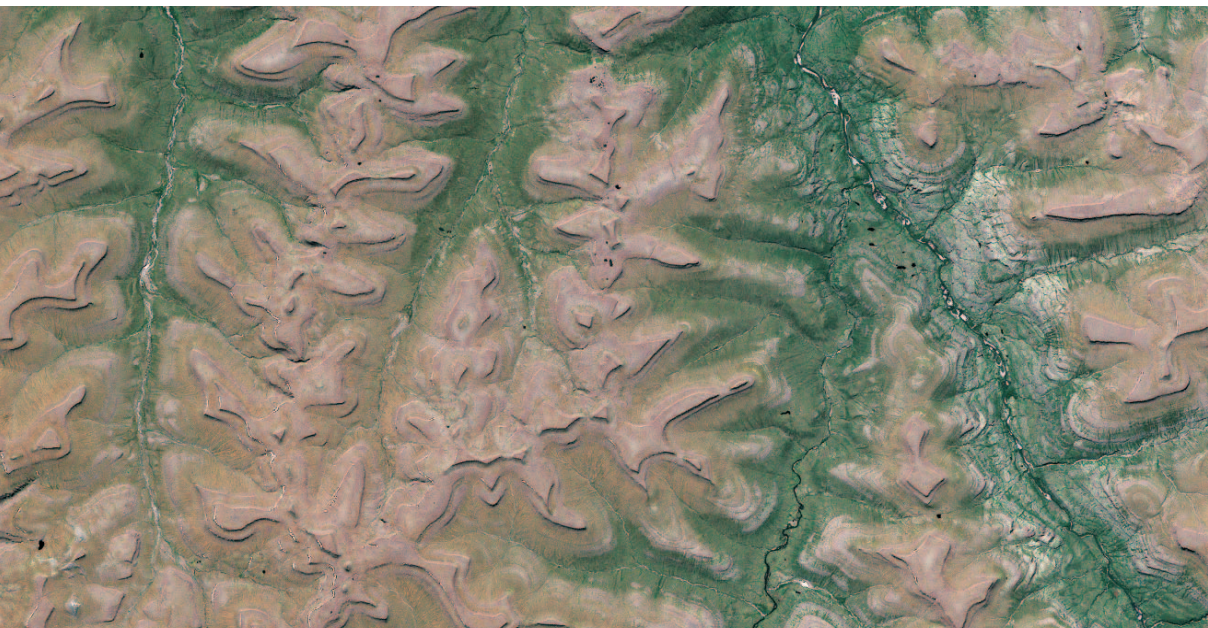


Die Mission TanDEM-X wird als PPP-Projekt zwischen dem DLR und der Astrium GmbH realisiert und gemeinsam finanziert.

Das DLR ist verantwortlich für die wissenschaftliche Nutzung der TanDEM-X-Daten, die Planung und Durchführung der Mission, die Steuerung der beiden Satelliten und die Erzeugung des digitalen Höhenmodells. Dazu entwickelt es auch die notwendigen Anlagen am Boden, das so genannte Bodensegment. Die wissenschaftliche Leitung obliegt dem DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme in Oberpfaffenhofen mit Professor Alberto Moreira an der Spitze.

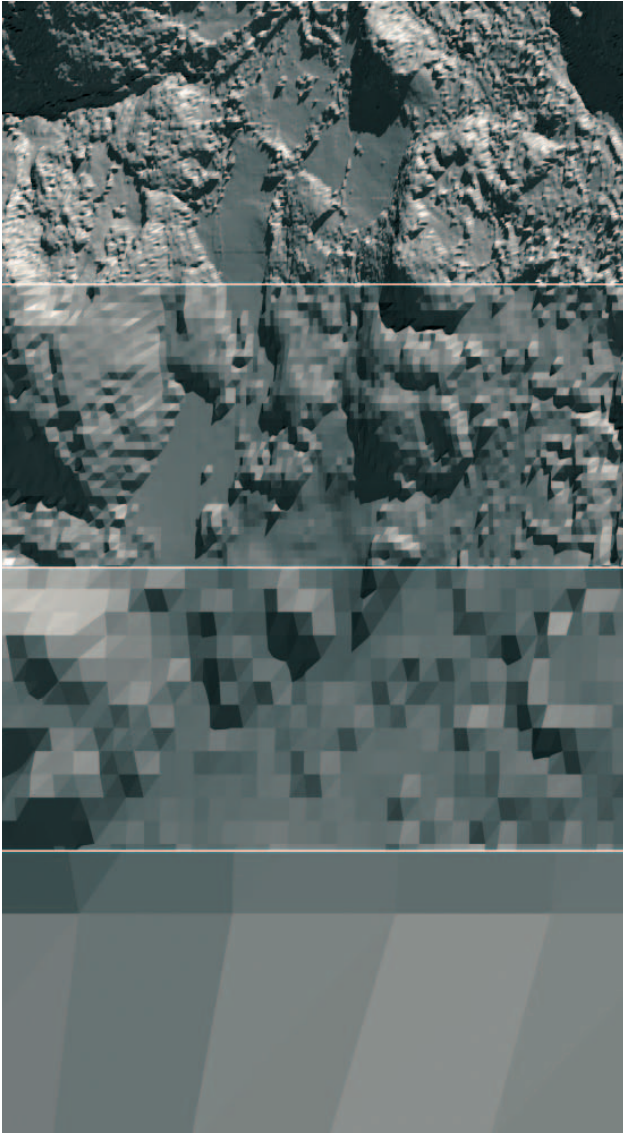
Die Astrium GmbH hat den Satelliten gebaut und ist an den Kosten für Entwicklung und Nutzung beteiligt. Wie bei TerraSAR-X ist die Infoterra GmbH, ein Tochterunternehmen der Astrium GmbH, verantwortlich für die kommerzielle Vermarktung der TanDEM-X-Daten.

Die Beteiligung der Industrie im Rahmen des PPP ermöglicht einen hohen wissenschaftlichen und kommerziellen Nutzen bei geringen Kosten. Amortisiert sich der von Astrium geleistete Beitrag, können die Gewinne in die Weiterentwicklung dieser Erdbeobachtungstechnologie und ihrer Anwendung fließen.



Eng verzahnt arbeiten Wissenschaft und Industrie an der Mission TanDEM-X – die hochgenaue und homogene Vermessung unserer Landoberfläche.

TanDEM-X-Daten für die Wissenschaft



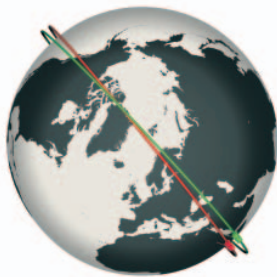
Für eine Vielzahl von kommerziellen und wissenschaftlichen Anwendungen sind digitale Geländemodelle die Grundlage.

Die Genauigkeit von Höhenmodellen im Vergleich – von oben nach unten:
12 m (= TanDEM-X) – 30 m – 90 m – 1 km.

Digitale Höhenmodelle (Digital Elevation Models, DEM) haben eine grundlegende Bedeutung für ein breites Spektrum von kommerziellen und wissenschaftlichen Anwendungen. Viele geowissenschaftliche Forschungsgebiete wie die Hydrologie, die Wissenschaft vom Wasser und seiner räumlichen und zeitlichen Verteilung in der Erdatmosphäre sowie auf und unter der Erdoberfläche, die Glaziologie, die sich mit Formen, Auftreten und Eigenschaften von Eis und Schnee samt ihren Ausformungen als Gletscher, Permafrost und Schelfeis befasst, sowie die Forstwirtschaft, Geologie, Ozeanografie und Umweltforschung benötigen präzise und aktuelle Informationen über die Erdoberfläche und ihre Topografie. Außerdem müssen digitale Karten in ihrer Genauigkeit Schritt halten mit den Entwicklungen globaler Positions- und Navigationssysteme wie GPS und künftig Galileo.

Im Prinzip lassen sich digitale Höhenmodelle aus ganz unterschiedlichen Datensätzen erstellen. Allerdings gibt es bis heute keinen zuverlässigen und einheitlichen Datensatz. Die vorliegenden Daten sind ein Mosaik aus verschiedenen Quellen mit unterschiedlicher horizontaler und vertikaler Genauigkeit. Außerdem stimmen Formate und Projektionen der Karten oft nicht überein und sie wurden zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommen. Eine Befragung von Wissenschaftlern und potenziellen Nutzern digitaler Höhenmodelle hat ergeben, dass für viele Anwendungen eine bessere globale Abdeckung insbesondere bei hohen Breiten und eine höhere Genauigkeit dringend erforderlich sind.

Neben dem primären Ziel eines globalen DEMs verfolgt TanDEM-X noch mehrere sekundäre Missionsziele, bei denen neue Techniken erprobt werden. Diese Missionsziele haben in der Regel einen experimentellen Charakter und können wegen der begrenzten Satellitenressourcen nur beispielhaft demonstriert werden.



Helix-Orbit

Die Umlaufbahnen von TerraSAR-X und TanDEM-X sind wie die Stränge einer Doppelhelix gegeneinander verdreht. Sie liegen so im Raum, dass sie über dem Äquator horizontal und über den Polen vertikal versetzt sind. Dadurch kreuzen sich die Bahnen niemals und die Satelliten können beliebig in Flugrichtung gegeneinander verschoben werden. Die schrauben- oder helixförmige Bewegung der Satelliten ermöglicht so einen sicheren Betrieb ohne die Notwendigkeit einer autonomen Kontrolle.

Die Abstände der beiden Satelliten zueinander bewegen sich in Flugrichtung zwischen null und 1.000 Metern und quer zwischen 200 und 500 Metern. Je nach Anwendung lässt sich der Abstand in Flugrichtung für eine bestimmte geografische Breite optimieren.

Aus den beiden Umlaufbahnen erklären sich auch die beiden etablierten Messverfahren Across-track- und Along-track-Interferometrie. Die beiden Satelliten fliegen schräg versetzt zueinander. Wählt man als Basis des Interferometers die Verbindungslinie der beiden Instrumente senkrecht zur Flugrichtung, so arbeitet man im Across-track-Modus. Beim Along-track-Modus ist die Verbindungslinie in Flugrichtung maßgebend.

SAR-Interferometer

Herkömmliche Radarsatelliten arbeiten nach dem Prinzip des Synthetic Aperture Radar (SAR). Hierbei sendet das Radar Mikrowellenpulse aus. Diese werden von der Erdoberfläche reflektiert und von dem Radar wieder empfangen. Aus der Laufzeit der Signale ergibt sich der Abstand des Satelliten zur Erdoberfläche. Da sich der Satellit um die Erde bewegt, beleuchtet das Radar einen Streifen am Boden und zeichnet die Echo-Signale sequenziell auf. Nach einer aufwändigen Signalverarbeitung entsteht ein zweidimensionales Bild des Gebiets. Die empfangenen Echosignale enthalten auch Informationen über die Oberflächenbeschaffenheit, zum Beispiel die Rauigkeit.

Eine Weiterentwicklung dieser Technik ist die SAR-Interferometrie. Hierbei wird ein Gebiet von zwei unterschiedlichen Positionen aus abgebildet. Das Prinzip ähnelt entfernt dem räumlichen Sehen des Menschen mit zwei Augen. Die beiden „Radaraugen“ befinden sich auf den Satelliten TerraSAR-X und TanDEM-X, die in enger Formation um die Erde kreisen.

Für Punkte in gleicher Entfernung vom Satelliten, aber auf unterschiedlichen Höhen, ergeben sich unterschiedliche Weglängendifferenzen zu den beiden Satelliten. Diese Differenzen lassen sich messen. Hierbei macht man sich die Welleneigenschaften der Radarpulse zu Nutze und misst gewissermaßen die Verschiebung der Wellen zueinander. Physiker sprechen von einer Phasendifferenzmessung. Das Ergebnis ist ein Interferenzmuster, ein so genanntes Interferogramm, das für alle Messpunkte und somit also das gesamte Gebiet erstellt werden kann. Aus den gemessenen Weglängendifferenzen ergibt sich die gewünschte Höheninformation.



Anwendungsfelder

Across-track-SAR-Interferometrie

Das TanDEM-X-Missionskonzept ist flexibel. Je nach Bedarf können im Laufe der Mission für unterschiedliche Anwendungsbereiche und Versuche die zur Verfügung stehenden Aufnahmetechniken eingestellt werden. Grundsätzlich zu unterscheiden sind die Across-track- und Along-track-SAR-Interferometrie. Beide Verfahren beruhen darauf, dass man die Weglängendifferenz misst, mit der das gleiche Radarsignal von den Antennen der beiden Satelliten aufgezeichnet wird. Bewegen sich die Satelliten nebeneinander, lassen sich aus diesen Unterschieden Höheninformationen ableiten, die für folgende Anwendungen benötigt werden.

Topografische Karten

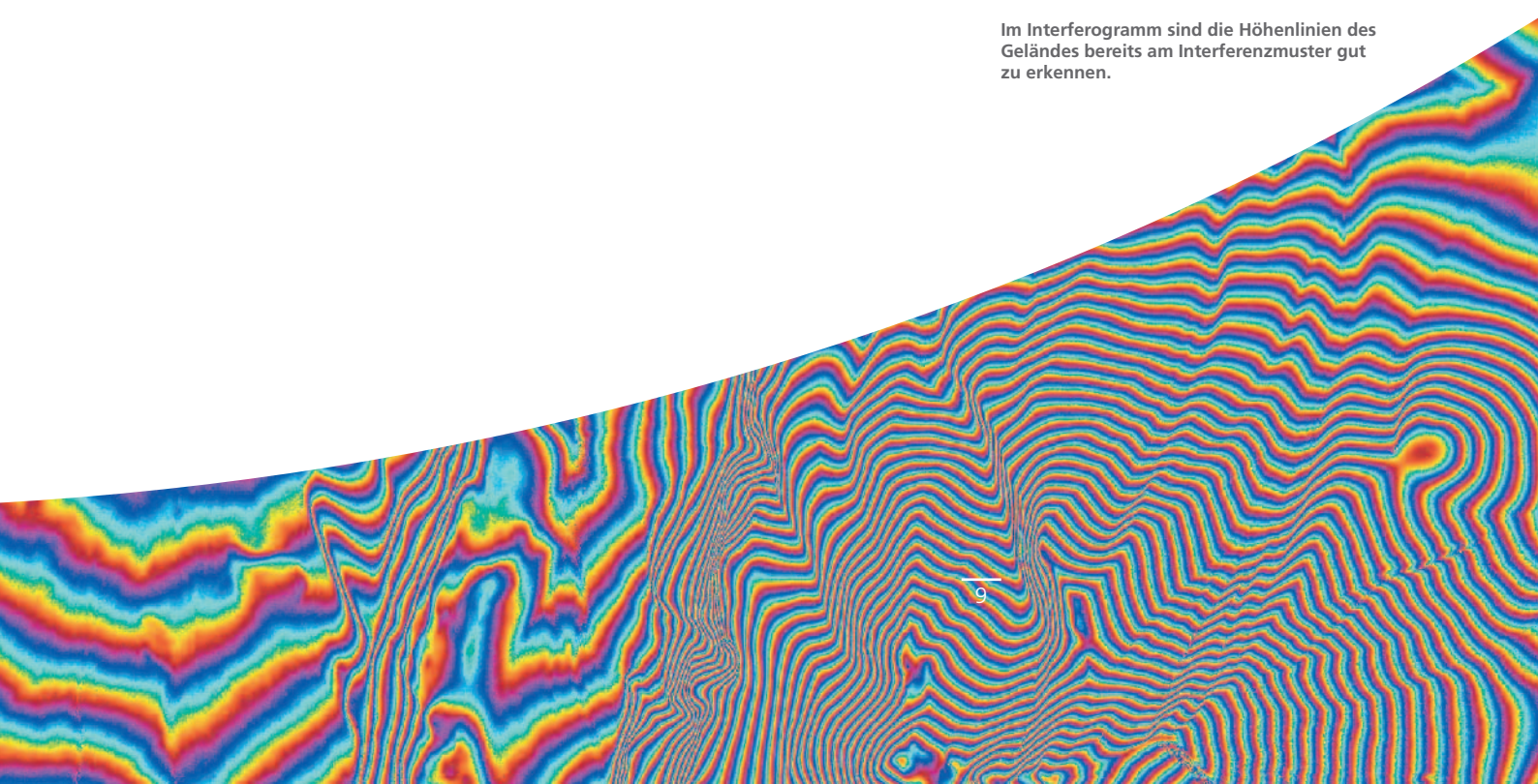
Topografische Karten sind zwar heute auf lokaler Ebene in den industrialisierten Regionen erhältlich. Global betrachtet sind diese Informationen jedoch unzureichend. Ein über SAR-Interferometrie ermitteltes digitales Höhenmodell kann diese Lücken schließen. Geforscht wird hier insbesondere an der Entwicklung von Algorithmen, mit denen sich die Höhendaten überprüfen und kalibrieren lassen. Ein wichtiger Aspekt ist auch die Entwicklung von Werkzeugen für die Visualisierung der räumlichen Höhenkarten.

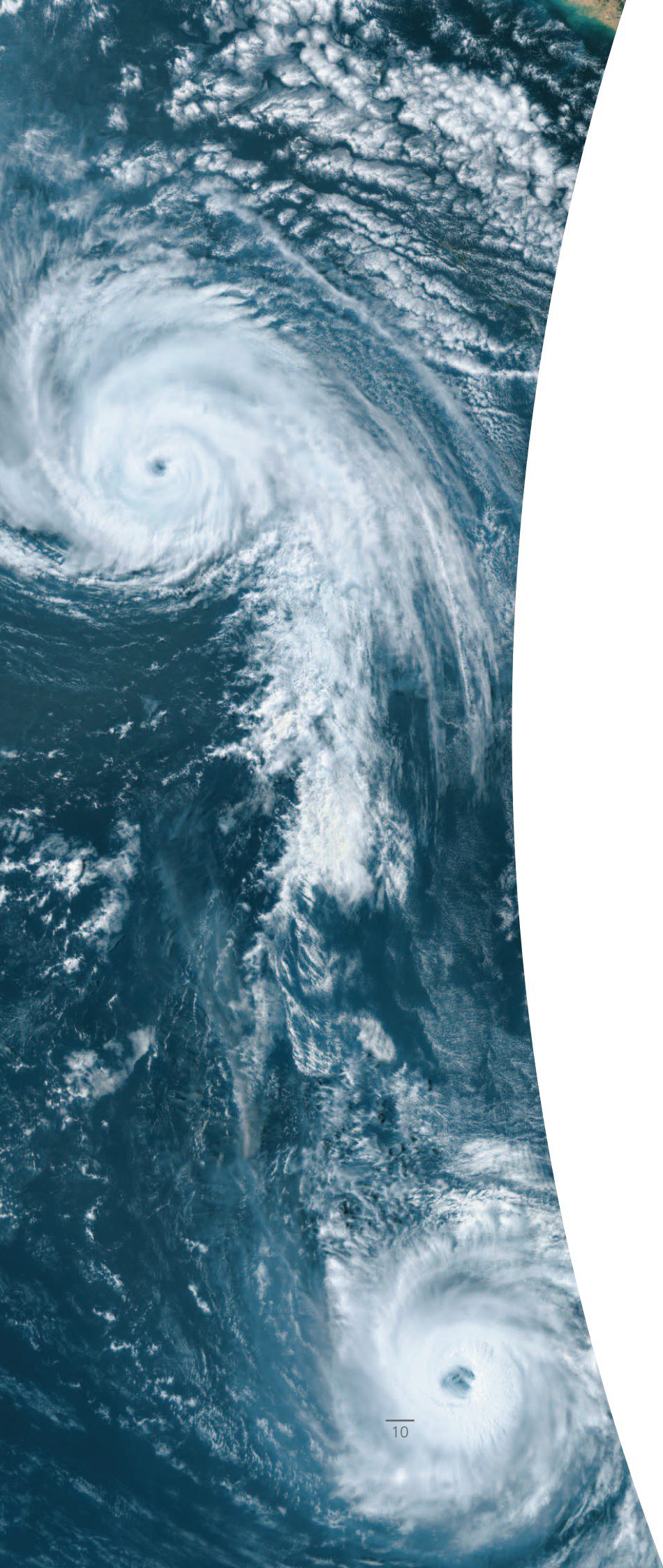
Darüber hinaus werden hochauflösende Höhenmodelle benötigt, um Verzerrungen aus Erdbeobachtungsbildern zu entfernen, die auf das Relief der Erdoberfläche zurückgehen. Durch die Orthorektifizierung können Aufnahmen geometrisch exakt übereinander gelegt und verschnitten werden. Integriert in Geoinformationssysteme (GIS) lassen sich die Geländemodelle mit weiteren physischen und sozial-ökonomischen Daten verknüpfen und auswerten. GIS kommen zum Beispiel in Städten und Gemeinden bei der Flächenplanung zum Einsatz.

Landschaftsnutzung und Vegetation

Auch Vegetationsstrukturen können durch die hochauflösende SAR-Interferometrie räumlich vermessen werden. Die Größe von Baumkronen, die vertikale Verteilung der Kronenlage und Lücken in der Bewaldung werden sichtbar. Wald-, Brand- und Naturschutz profitieren von diesen Informationen. Sie verbessern die Planung der Flächennutzung und Waldsanierung. Die Beobachtung des Walds und seiner Wachstumsphasen liefert Daten für das Verständnis des globalen Kohlenstoffkreislaufs und für die Biodiversitätsforschung. Durch die TanDEM-X-Mission werden Daten in einzigartiger Auflösung und zeitlicher Kohärenz geliefert.

Im Interferogramm sind die Höhenlinien des Geländes bereits am Interferenzmuster gut zu erkennen.





Navigation

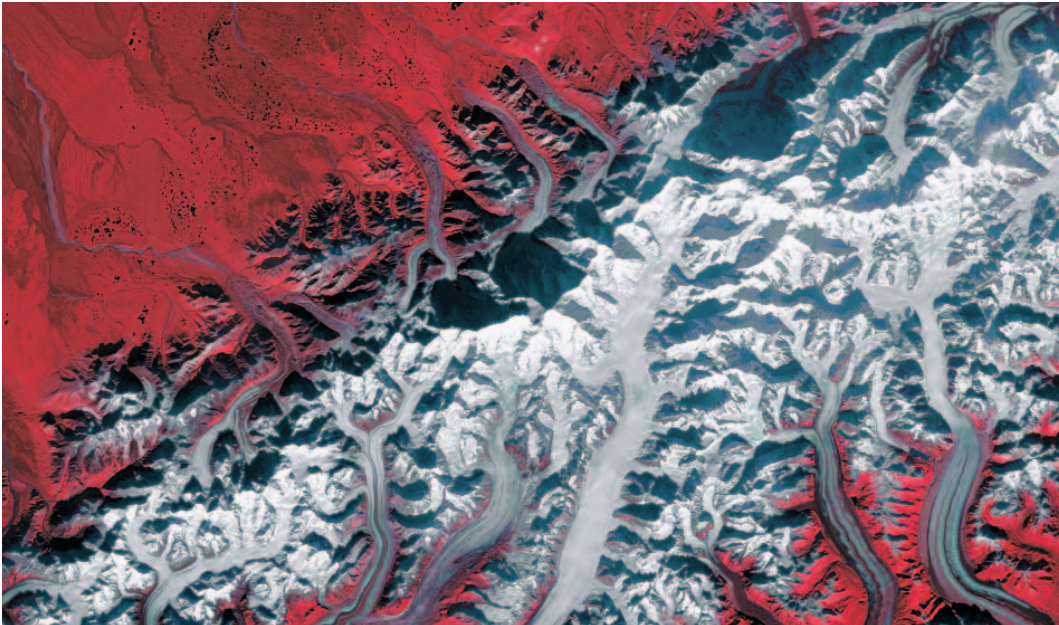
Eine homogene, weltweite Geländedatenbank hoher Qualität wird insbesondere für den Einsatz in sicherheitskritischen Anwendungen benötigt. Warnsysteme in Flugzeug-Cockpits sind hier ein Beispiel. Das Ground Proximity Warning System etwa sammelt in niedriger Flughöhe verschiedene Flugdaten und löst bei deren Unterschreitung Alarm aus. Exakte Geländemodelle verbessern die Zuverlässigkeit dieser Systeme. Das Gleiche gilt für Synthetic Vision Systems, die den Piloten selbst bei eingeschränkter Sicht einen räumlichen Eindruck ihrer aktuellen Umgebung vermitteln. Die Datenbanken für diese Systeme stammen heute aus verschiedenen Quellen unterschiedlicher Spezifikationen und Normen. Zukünftige Geländedatenbanken müssen zuverlässige, überprüfte und standardisierte Qualitätsparameter beinhalten. Die TanDEM-X-Daten stellen hier einen sehr wichtigen Beitrag dar.

Krisenmanagement

Auch im Katastrophenmanagement werden Geländemodelle dringend benötigt. Bei großen Überschwemmungs- oder Erdbebenkatastrophen vermitteln Satellitenbilder zusammen mit der dreidimensionalen Geländebeschreibung den Hilfskräften bereits vor der Anreise ein genaues Bild der Lage vor Ort.

TerraSAR-X ist fester Bestandteil des satellitengestützten Krisenmanagements geworden. Die Radaraufnahmen liefern selbst bei dichter Wolkenbedeckung wichtige Informationen, z. B. über die Ausdehnung von Überschwemmungen und ergänzen so die optischen Aufnahmen. Durch TanDEM-X werden die Einsatzmöglichkeiten noch erweitert.

Taifune gehören neben Erdbeben und Vulkanausbrüchen zu den schlimmsten Naturkatastrophen des pazifischen Raums. Neben den hohen Windgeschwindigkeiten sind es vor allem die Starkniederschläge und in der Folge Überflutungen und Hangrutsche, die die Menschen bedrohen. TerraSAR-X und TanDEM-X liefern im Katastrophenfall wichtige Daten für das Krisenmanagement.



Der Denali ist der höchste Gipfel des nordamerikanischen Kontinents (6.194 m). Mit TerraSAR-X und TanDEM-X ist die kontinuierliche globale Beobachtung unzugänglicher Gletscherregionen möglich.

Hydrologie

Hochaufgelöste digitale Höhenmodelle werden auch verwendet, um Karten von potenziellen Überschwemmungsgebieten zu erstellen. So können Risiken bewertet und hydrologisch-topografische Merkmale abgeleitet werden. Informationen über Entwässerungswege und den Nässegehalt des Bodens dienen auch als Inputparameter für Wetter- und Klimamodelle, die auf unterschiedlich großen räumlichen Skalen aufgestellt werden. TanDEM-X-Daten können Lücken in den hydrologischen Modellen schließen.

Ein anderes Beispiel sind grenzüberschreitende Simulationen zur Ergiebigkeit von Wasserscheiden. Auch sie benötigen verlässliche und konsistente topografische Daten sowie Angaben über den Bewuchs. Die Möglichkeit, kleine Änderungen der Topografie oder der Bepflanzung räumlich und zeitlich zu überwachen, ist Neuland für die Fernerkundung. TanDEM-X ermöglicht dies selbst für die entlegenen Regionen.

Geologie

Geländemodelle bilden eine wesentliche Grundlage der geologischen Forschung. Von hohem Interesse sind geologische Karten insbesondere in Vulkanregionen und Erdbebengebieten. Mit Auflösungen von etwa einem Meter können Veränderungen nach Eruptionen und Erdbeben genau aufgezeigt werden. Im Gegensatz zu Vulkangebieten mit einer meist guten regionalen Kartengrundlage fehlt in vielen durch Erdbeben und -senkungen bedrohten Regionen vergleichbares Material. Auch für die Tsunami-Risikobewertung von Küsten werden Höheninformationen benötigt, die derzeit oft nicht flächendeckend verfügbar sind. Die TanDEM-X-Mission kann diese Lücken schließen.

Glaziologie

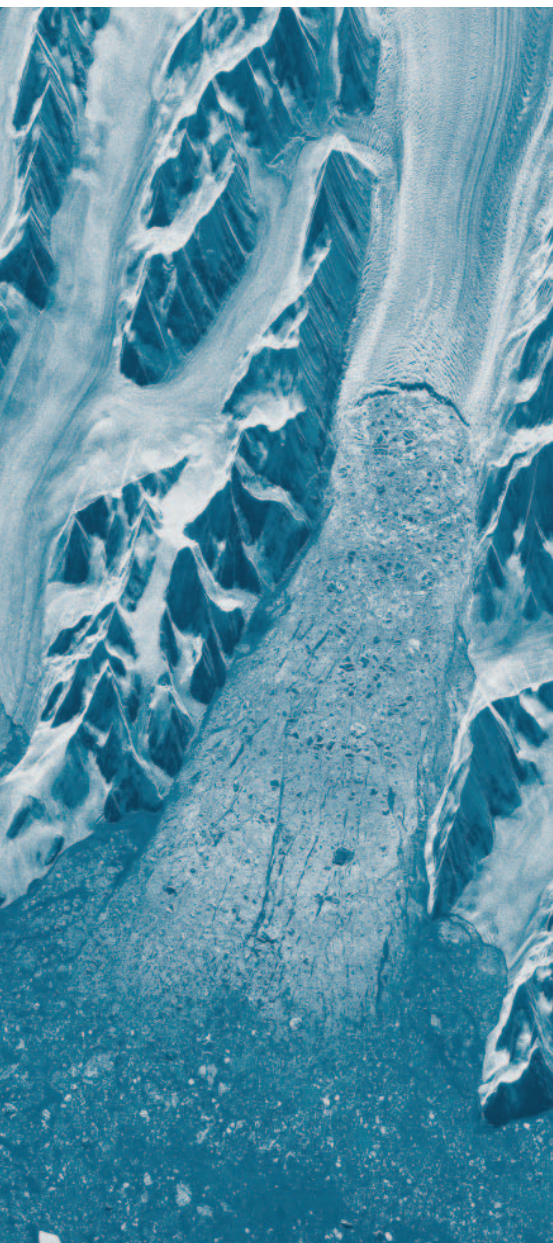
Die Veränderung der Eismassen der polaren Eiskappen und Gletscher ist ein Indiz für den Klimawandel. TanDEM-X erfasst die Oberflächentopografie und Ausdehnung der Eiskörper. Wiederholte Messungen erlauben so, Eisverlust und -zugewinn zu bilanzieren – wichtige Eingangsp Parameter für Klimamodelle und Klimaprognosen. Denn Massenbilanzen mit globaler Abdeckung gibt es bislang nicht.

TanDEM-X gibt auch Aufschluss über die Dynamik der antarktischen Eiskappe. Ihr Verhalten wird beeinflusst durch die Linie, an der die Eismassen den Kontakt zum felsigen Untergrund verlieren und oben auf dem Ozean schwimmen.

Obwohl diese Aufsetzlinie (Grounding Line) mehrere hundert Meter tief unter dem Eis verborgen liegt, kann sie mit Hilfe der SAR-Interferometrie bestimmt werden. Die durch Gezeiten hervorgerufenen Höhenunterschiede des aufschwimmenden Eises können durch die differenzielle SAR-Interferometrie gemessen und so die Land/Wasser-Grenze unter dem Eis bestimmt werden. Bislang ließ sich die Technik nur an einigen Stellen anwenden. Mit TanDEM-X ist eine systematischere Kartierung dieser Grenzzone möglich.

Along-track-SAR-Interferometrie

Ganz andere Möglichkeiten bietet die Along-track-SAR-Interferometrie, bei der die Radarantennen in Flugrichtung voneinander getrennt sind. Mit dieser Technik lassen sich Geschwindigkeiten von bewegten Objekten messen. Denn beide Satelliten nehmen dasselbe Gebiet mit einer kurzen Zeitverzögerung hintereinander auf. Angewendet wird diese Technik insbesondere in der Ozeanografie, Glaziologie und Verkehrsforschung.



Ozeanografie

TanDEM-X kann Wasserströmungen erfassen und erlaubt so Rückschlüsse auf das Relief (Bathymetrie) des Meeresgrunds oder Flussbetts sowie beispielsweise die Verlandung von Fahrtrinnen. Aber auch für die Planung von Gezeitenkraftwerken sind Strömungskarten hochinteressant.

Nur mit TanDEM-X und Along-track-SAR-Messungen ist es möglich, aus dem All Strömungsgeschwindigkeiten, z. B. von unzugänglichen Flüssen, zu messen, um ihr Transportvolumen zu berechnen. Wasserpegel lassen sich dahingegen bereits jetzt mit Radar-Altimetern ermitteln.

Verkehr

Bewegte Objekte erkennen und deren Geschwindigkeiten messen zu können, ist von hohem Interesse für die Verkehrsbeobachtung. Im Prinzip ist dies bereits mit TerraSAR-X allein möglich, jedoch nur in einer Bewegungsrichtung. Mit beiden Satelliten gemeinsam kann die Geschwindigkeit des bewegten Objekts in alle Richtungen ermittelt werden. TanDEM-X könnte somit als Vorreiter für ein mögliches weltraumgestütztes System zur Leitung von Verkehrsströmen dienen.

Glaziologie

Neben der Topografie von Eiskappen und Gletschern und der Position der Grounding Line ist auch die Fließgeschwindigkeit ein wichtiger Parameter für die Eis- und Klimaforscher. Die Überwachung der Strömungsgeschwindigkeit schneller Gletscher erfordert zeitliche Abstände zwischen beiden Aufnahmen von etwa einem Tag oder weniger. Mit dem hochauflösenden Abbildungsmodus von TanDEM-X wird es möglich sein, die Gletschergeschwindigkeit erheblich genauer zu bestimmen als bislang.

Das TerraSAR-X-Radarbild zeigt eine Region, die vor fünf Jahren noch völlig vom Eisschelf bedeckt war, unter neuen Bedingungen: Heute kalben die Eisströme direkt in das Meer, das weitgehend mit Meereis bedeckt ist. Der Larsen-Eisschelf hat sich in den letzten 60 Jahren um etwa einen Kilometer pro Jahr zurückgezogen.

Innovative neue Radartechniken und Anwendungen

Mit TanDEM-X wird eine weitere Radartechnik getestet: das POL-InSAR. Das Verfahren beruht darauf, dass die Radarwellen polarisiert abgestrahlt werden können. Die Polarisation bezeichnet die Ausrichtung der Schwingungsebene der Wellen relativ zu ihrer Ausbreitungsrichtung. Im Allgemeinen unterscheidet man dabei zwischen horizontaler und vertikaler Polarisation der Wellen. Bei der Reflexion am Boden ändert sich diese Schwingungsrichtung je nach Eigenschaften des reflektierenden Objekts oder der Bodenbeschaffenheit. Treffen polarisierte Wellen beispielsweise auf die unterschiedlich orientierten Blätter eines Baums, so sind die reflektierten Wellen nicht mehr polarisiert. Die von den Stämmen reflektierten Wellen sind aber sehr wohl noch polarisiert. Dieser Unterschied im empfangenen Signal lässt sich dazu nutzen, um die Höhe von Bäumen abzuschätzen. Mit den kurzwelligen Radarpulsen des X-Bands ist dies auch bei Getreidefeldern möglich. Diese neuen Kartierungsmöglichkeiten sind insbesondere für große Waldflächen in abgelegenen Gebieten entscheidend, die sich fast nur mit Satelliten inventarisieren und überwachen lassen. Zusätzlich werden weitere bistatische Techniken und Technologien wie die digitale Strahlformung (Digital Beamforming) mit TanDEM-X erprobt.

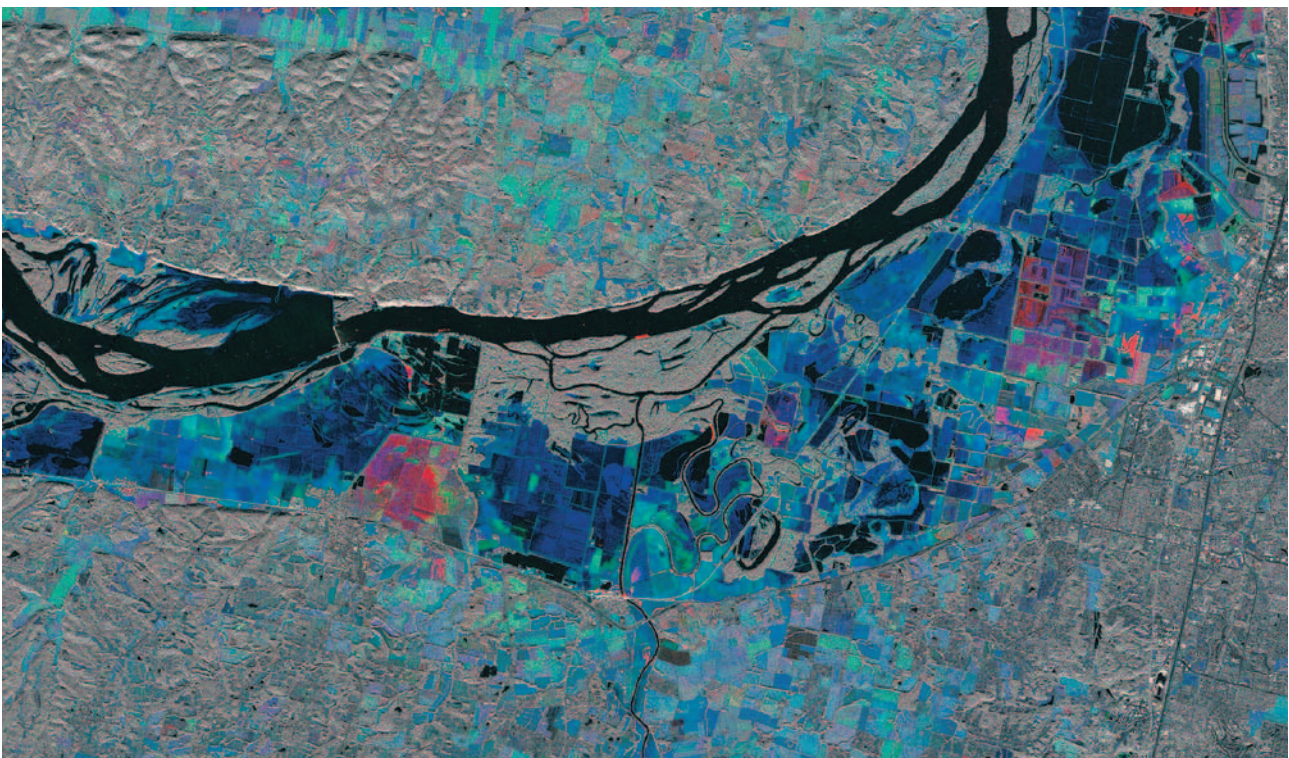
Kommerzielle Nutzung

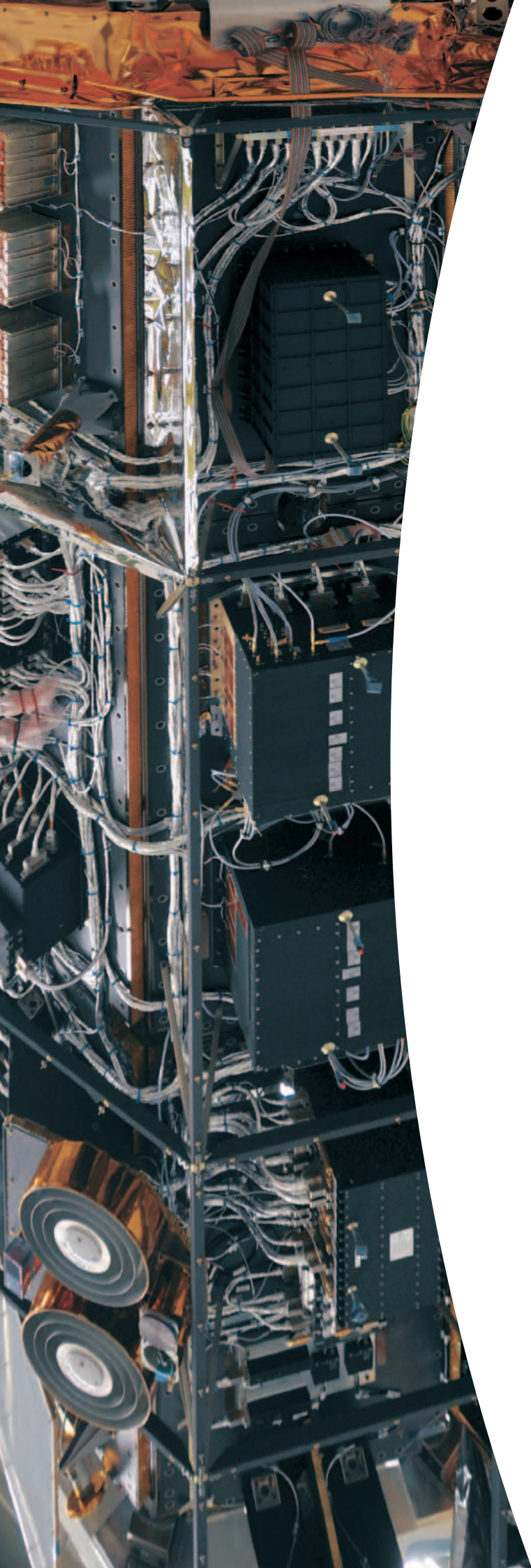
Die kommerzielle Vermarktung der Daten und Karten ist Teil des PPP-Vertrags zwischen dem DLR und der Astrium GmbH. Die Astrium-Tochtergesellschaft Infoterra GmbH, die 2001 zum Zweck der kommerziellen Vermarktung von TerraSAR-X gegründet wurde, ist dafür verantwortlich, Kunden weltweit mit den neuen Höhenmodellen der TanDEM-X-Mission zu versorgen.

Seit Beginn des operativen Betriebs von TerraSAR-X Anfang 2008 hat Infoterra ein Vertriebsnetzwerk mit mehr als 50 Partnern in 33 Ländern aufgebaut. Diese breite Geschäftsbasis dient dazu, die Daten und Produkte von TanDEM-X möglichst nutzerorientiert zu vermarkten.

Kunden aus Privatwirtschaft und öffentlicher Hand warten auf das TanDEM-X-Höhenmodell, das in Qualität, Genauigkeit und Abdeckung einzigartig sein wird. Die Anwendungsbereiche sind vielseitig und reichen von einer höheren Effizienz bei der Förderung von Öl, Gas oder Mineralien über eine bessere Kriseneinsatzplanung und Vorhersage der Folgen von Katastrophen bis hin zu einer genaueren Vorbereitung von Verteidigungs- und Sicherheitseinsätzen. In allererster Linie sehen allerdings die Kartografie-Verantwortlichen in vielen Ländern der Welt einer exakteren Höheninformation in den Standard-Kartenwerken entgegen.

Radaraufnahmen sind schon heute eine wichtige Informationsquelle für das Krisenmanagement. Zukünftig können auf der Basis von hochgenauen TanDEM-X-Höhenmodellen Karten von potenziellen Überschwemmungsgebieten erstellt werden. Die Aufnahme zeigt die TerraSAR-X-Kartierung vom Hochwasser bei St. Louis (USA) im Juli 2008.





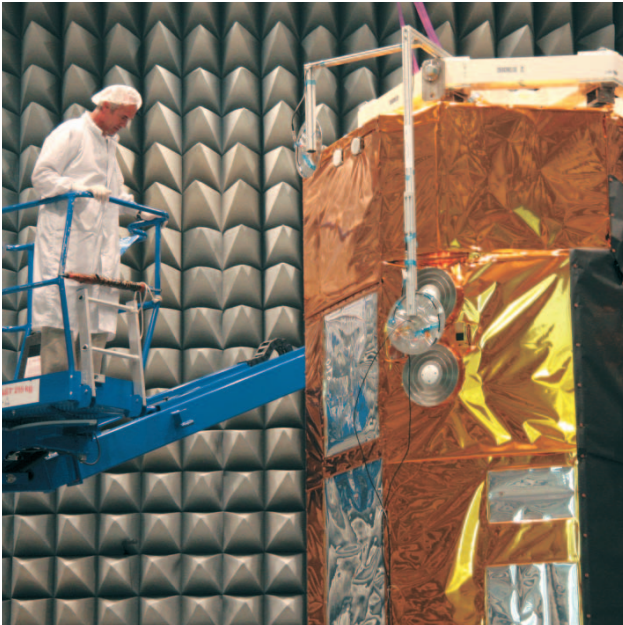
Technik

Sicherheit und Präzision in der Erdumlaufbahn

Der präzise Formationsflug der Satelliten erweitert ihr Nutzungsspektrum weit über die bisherige Einzelnutzung von TerraSAR-X hinaus. Ändert man den Abstand zwischen den beiden Satelliten, hat dies eine andere Abbildungsgeometrie zur Folge. Diese lässt sich so den unterschiedlichen Missionszielen anpassen. Der Helix-Orbit ermöglicht die Aufnahme der kompletten Erdoberfläche mit der gewünschten Abbildungsgeometrie. Die Feinabstimmung der Satellitenformation übernimmt das Kaltgas-Antriebssystem auf TanDEM-X. Für größere Formationsänderungen wird der auf beiden Satelliten vorhandene Hydrazin-Antrieb eingesetzt.

Die passive Stabilität des Helix-Orbits verhindert grundsätzlich Kollisionen. Dennoch erfordert ein derart enger Formationsflug spezielle Maßnahmen, um das Kollisionsrisiko zu minimieren. Ein zusätzlicher Sicherheitsmodus, der ein künstliches Magnetfeld und das Magnetfeld der Erde (Magnet-Torquer) zur Lageregelung benutzt, wird auf beiden Satelliten eingeführt. Die Magnet-Torquer sind in der Lage, moderate Drehraten der Satelliten zu stabilisieren. Im Gegensatz zur Lagekontrolle über das Hydrazin-Antriebssystem führt ein Übergang in diesen Modus zu keiner Orbitänderung. Der zusätzliche Sicherheitsmodus wird durch ein angepasstes Betriebskonzept ergänzt, um eine ausreichend schnelle Reaktion auf Probleme mit dem Raumsegment zu gewährleisten.

Der Satellit TanDEM-X ohne die schützenden Folienschichten.



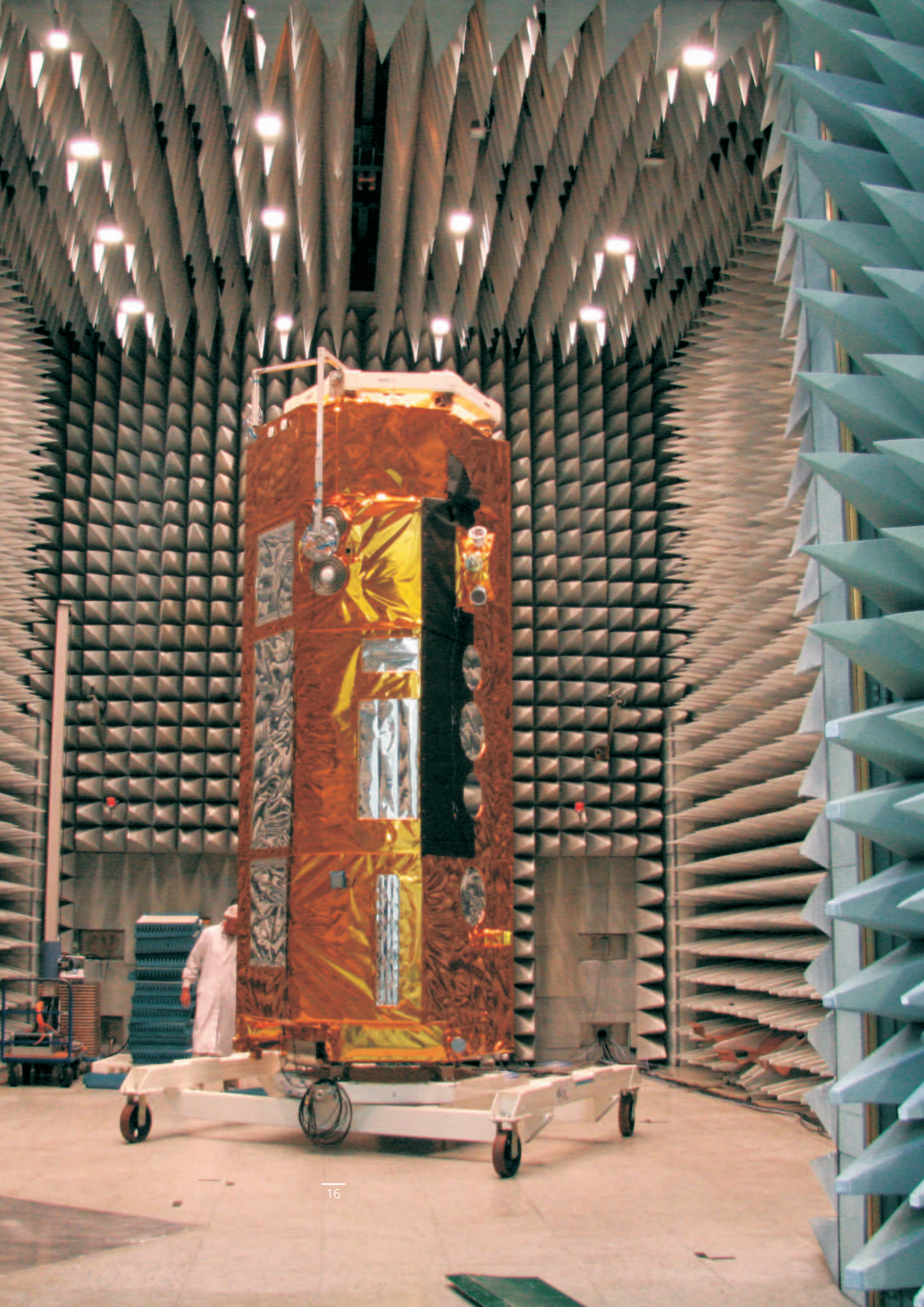
TanDEM-X im Prüfstand des Raumfahrt-Testzentrums in Ottobrunn.

TanDEM-X- Betriebsmodi

Die Radarinstrumente auf TanDEM-X und TerraSAR-X sind baugleich. Damit können beide Geräte unabhängig voneinander im so genannten mono-statischen Modus betrieben werden. In diesem Fall empfängt der Satellit die Reflexionen seiner eigenen Radarpulse. Darüber hinaus sind aber auch synchronisierte Aufnahmen im bistatischen Modus möglich. Dabei wird ein Gebiet nur von einem Radar beleuchtet, die reflektierten Signale empfangen aber beide Satelliten. Dies spart Energie, erfordert aber zusätzliche Maßnahmen. Ursächlich hierfür sind die Oszillatoren, die die Frequenz der abgestrahlten Radarsignale erzeugen. Man kann sich die beiden Oszillatoren wie zwei Uhren vorstellen. Technisch ist es nicht möglich, dass die beiden Quarzkristalle mit absolut identischen Frequenzen arbeiten. Um im Bild zu bleiben: Die beiden Uhren zeigen irgendwann unterschiedliche Zeiten an. Genauso würden die beiden Oszillatoren auf den beiden Satelliten auseinanderdriften. Würde man diesen Gangunterschied nicht bei der Datenauswertung berücksichtigen, so hätte dies erhebliche Fehler in den ermittelten Höhen zur Folge. Um diese Phasenfehler zu korrigieren und die beiden Quarzkristalle immer wieder zu synchronisieren, können die beiden Satelliten entsprechende Informationen austauschen. Dies geschieht über sechs Hornantennen. Diese sind so angeordnet, dass sie alle um sich herum befindlichen Raumwinkel abdecken.

Doch nicht nur ein Zusammenstoß der Satelliten muss vermieden werden. Die Satelliten dürfen sich auch nicht gegenseitig bestrahlen, damit die Elektronik des Partnersatelliten nicht gestört wird. Deshalb existieren Sperrzonen (exclusion zones), Abschnitte der Umlaufbahn, in denen einer der beiden Satelliten keine Radarpulse aussenden darf. Außerdem kann TanDEM-X die Telemetriedaten von TerraSAR-X empfangen und auf nicht nominale Betriebszustände reagieren. Zum anderen können beide Satelliten dazu veranlasst werden, ihren technischen Status gegenseitig zu überprüfen. Sollte der Partnersatellit Probleme haben, werden die Radarpulse sofort unterdrückt. Damit die Messdaten der beiden Satelliten im gemeinsamen Betrieb ausgewertet und analysiert werden können, muss der Abstand, auch Basislinie genannt, zwischen ihnen möglichst genau bekannt sein. Bei TanDEM-X gilt die Faustregel: Ein Fehler in der Basislinie von 1 mm führt zu einem Fehler in der Höhenbe-

stimmung von 1 Meter. Diese enorme Präzision wird über zwei Wege erreicht. Zum einen befindet sich wie schon auf TerraSAR-X ein spezieller GPS-Empfänger namens IGOR an Bord, der vom GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) bereitgestellt wird. Die Hauptverantwortung für die präzise Basislinienbestimmung liegt ebenfalls beim GFZ. Auf Grund der strengen Anforderungen sind sowohl eine zweite unabhängige Bestimmung durch das DLR vorgesehen wie auch interferometrische Messungen, um die Basislinien zu kalibrieren. Dazu werden Gebiete, deren Höhenprofile sehr genau bekannt sind, regelmäßig mit TanDEM-X aufgenommen. Nach der Analyse der gemessenen Abweichungen von den Referenzwerten kann die Basislinie dann korrigiert werden. Über die Basislinienbestimmung hinaus wird IGOR auch für experimentelle Radiookkultations-Messungen eingesetzt. Dabei werden Signale von GPS-Satelliten erfasst, die gerade am Erdhorizont auf- oder untergehen.



Der Satellit

Der TanDEM-X-Satellit ist im Wesentlichen ein Nachbau des TerraSAR-X-Satelliten.

Die Idee einer TanDEM-X-Mission entstand während der Entwicklung des TerraSAR-X-Satelliten. Um sie zu verwirklichen, musste die Konstruktion des Synthetic-Aperture-Radars auf TerraSAR-X geringfügig angepasst werden, um einen Betrieb mit zwei synchron arbeitenden Radargeräten zu ermöglichen. Im Bussystem waren die Änderungen bei TerraSAR-X auf die Software beschränkt, während bei TanDEM-X auch die Hardware in begrenztem Maß erweitert wurde, um den Formationsflug der beiden Satelliten zu ermöglichen.

Der Satellit misst fünf Meter in der Länge und 2,4 Meter im Durchmesser. Sein sechseckiger Querschnitt passt genau unter die Nutzlastverkleidung der DNEPR-Rakete. Die 80 Zentimeter breite SAR-Antenne ist rechts zur Satellitenbahn auf die Erde ausgerichtet. Auf Grund der sonnensynchronen Kreisbahn kann die Energieversorgung über ein an der linken Seite des Satelliten fest installiertes Solarpanel erfolgen. Die SAR-Messdaten werden in demselben Frequenzband an die Bodenstationen übermittelt, das auch vom Radar verwendet wird. Um gegenseitige Störungen zu vermeiden, ist die Datenübertragungsantenne an einem Mast montiert, der kurz nach dem Start im Orbit ausgeklappt wird.

TanDEM-X verfügt über ein zusätzliches Antriebssystem, das mit Hochdruck-Stickstoffgas arbeitet. Dieses Kaltgassystem liefert schwächere Impulse als der Hydrazin-Antrieb, den die beiden Satelliten für Bahnkorrekturen verwenden und unterstützt den Formationsflug durch feine Bahnkorrekturen des TanDEM-X-Satelliten. Über einen zusätzlichen Empfänger erhält TanDEM-X Informationen zur TerraSAR-X-Position und -Geschwindigkeit. Mit diesen Daten und Algorithmen des DLR werden auf TanDEM-X Versuche zum TAFF (TanDEM-X Autonomous Formation Flying) durchgeführt.

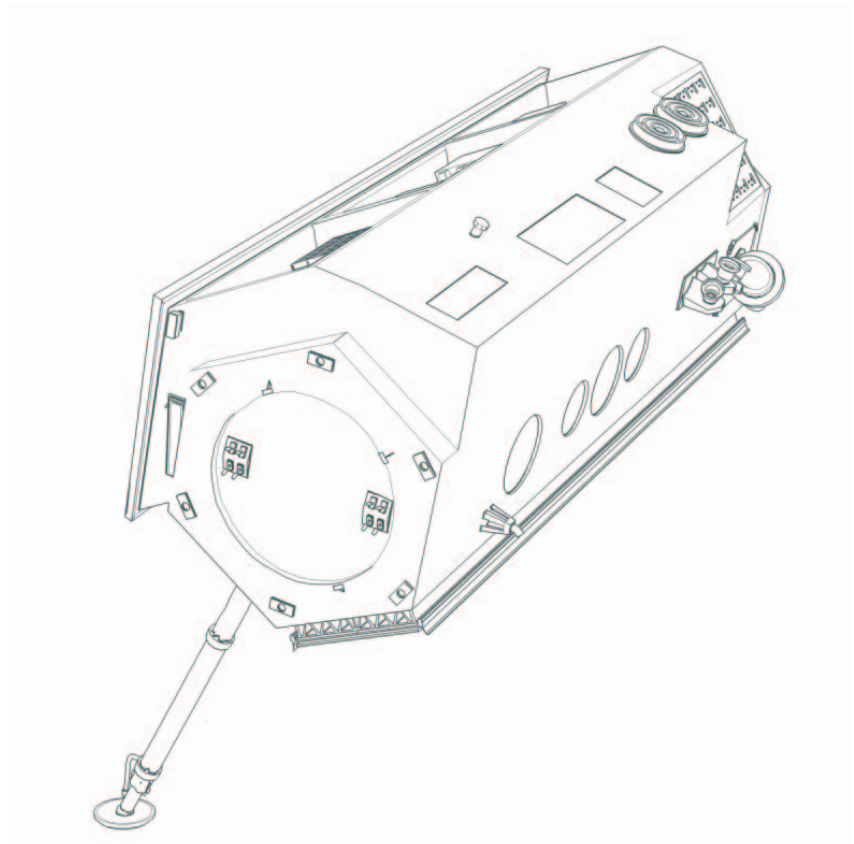
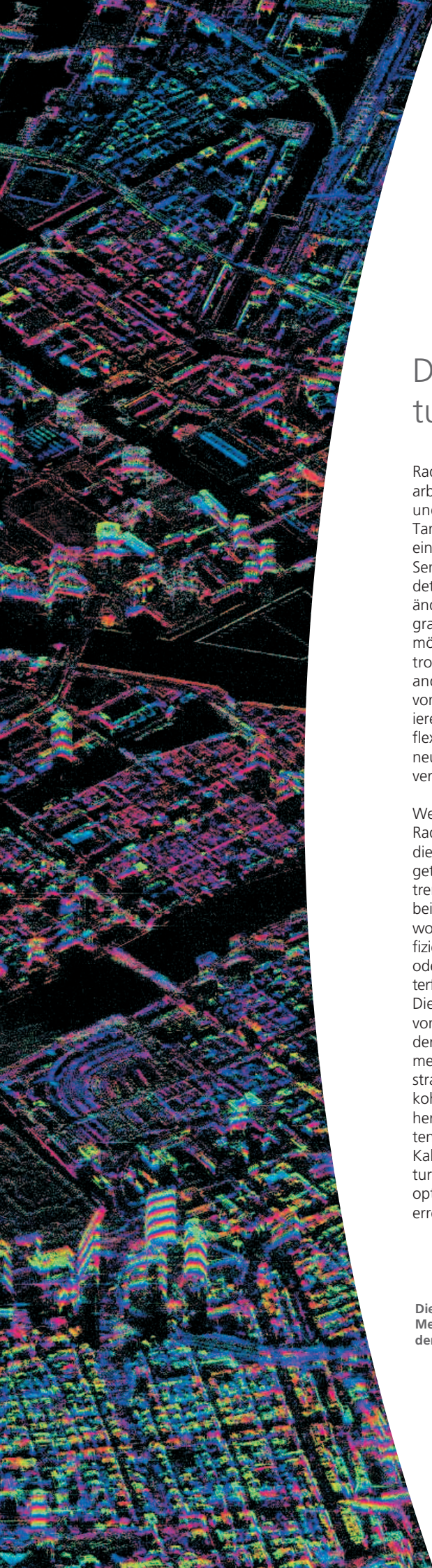


Bild links: Der Satellit TanDEM-X im Größenvergleich.

Bild rechts: Die Satellitenabbildung gilt für TerraSAR-X und TanDEM-X. Beide Satelliten sind nahezu baugleich.



Das Synthetic Aperture Radar (SAR)

Radargeräte, die im Mikrowellenbereich arbeiten, können die Erdoberfläche zeit- und wetterunabhängig abbilden. Bei TanDEM-X wie bei TerraSAR-X wird dazu eine aktive Antenne mit einer Matrix von Sende- und Empfangsmodulen verwendet, mit deren Hilfe schnelle Richtungsänderungen des Radarstrahls und programmierbare Antennencharakteristika möglich sind. Die Polarisation der elektromagnetischen Schwingungen und andere Radarparameter können sogar von einem Sendepuls zum anderen variieren. Dies macht die SAR-Technik so flexibel, dass sie auch zur Erprobung neuer, experimenteller Betriebsarten verwendet werden kann.

Wegen der speziellen Signalführung des Radarsende- und Empfangssignals kann die Antenne in Flugrichtung elektrisch geteilt werden. Dies ermöglicht den getrennten Empfang von Radarsignalen der beiden Antennenhälften. So können sowohl voll polarimetrische Daten zur Klassifizierung von Objekten, z. B. von Häusern oder Bäumen, als auch Along-track-Interferometrie-Messungen erhoben werden. Die Architektur lässt auch eine Verteilung von Kalibriersignalen für die ganze Kette der Radarhardware zu. Einzige Ausnahme bilden die Hohlleiter für die Signalabstrahlung, die aus einem metallisierten, kohlefaserverstärkten Kunststoff mit hoher Eigenfestigkeit bestehen. Bei der Datenverarbeitung am Boden werden die Kalibrierungssignale benutzt, um Korrekturfaktoren zu ermitteln und damit eine optimale Stabilität der Messdaten zu erreichen.

Die unterschiedlichen Gebäudehöhen in der Megastadt Tokio sind im Interferogramm an den Farbsprüngen gut zu erkennen.

Der Halbleiter-Massenspeicher von TanDEM-X verfügt über eine Kapazität von 768 Gigabit, um die enorme Menge der anfallenden Daten für das digitale Höhenmodell zu erfassen. Das entspricht der doppelten Kapazität von TerraSAR-X. In der letzten Entwicklungsphase von TerraSAR-X wurde der Entwurf des SAR-Instruments dahingehend erweitert, dass ein kontinuierlicher Austausch von Synchronisierungspulsen möglich ist und damit die Zusammenarbeit beider SAR-Instrumente im bistatischen Betrieb gewährleistet wird.

Technische Parameter von TanDEM-X

Start	Erstes Halbjahr 2010
Ort	Baikonur (Kasachstan)
Trägerrakete	DNEPR-1
Orbithöhe	514 Kilometer
Inklination	97,4 Grad
Satellitenmasse	1.330 Kilogramm
Satellitengröße	Höhe 5 Meter Ø 2,4 Meter
Energieverbrauch	730 Watt (gemittelt)
Missionsbetrieb	Deutsches Raumfahrt-Kontrollzentrum Oberpfaffenhofen
Kommandierung	Bodenstation Weilheim
Datenempfang	Bodenstationen - Inuvik / Kanada - O'Higgins / Antarktis - Kiruna / Schweden
Lebensdauer	5,5 Jahre (6,5 Jahre für Betriebsstoffe)
Mittelfrequenz	9,65 GHz (X-Band)

Das Bodensegment

Die über TerraSAR-X und TanDEM-X gewonnenen Messdaten müssen aus der Umlaufbahn zum Boden übermittelt, dort empfangen, an ein Datenzentrum weitergeleitet und zu fertigen Produkten wie den Höhenmodellen verarbeitet werden. Dann stehen sie den Kunden weltweit zur Verfügung. Dieser Datentransfer und die aufwändige Verarbeitung geschieht im Bodensegment, für das vier DLR-Einrichtungen verantwortlich sind: Das Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme (HR), das Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF), das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) und das Deutsche Raumfahrt-Kontrollzentrum (GSOC).

Das DLR hat bereits für TerraSAR-X ein Bodensegment aufgebaut, das für die TanDEM-Mission auf den Betrieb mit zwei Satelliten und um umfangreiche Neuerungen wie z. B. den „Sicheren Formationsflug“, die „Hochgenaue Be-

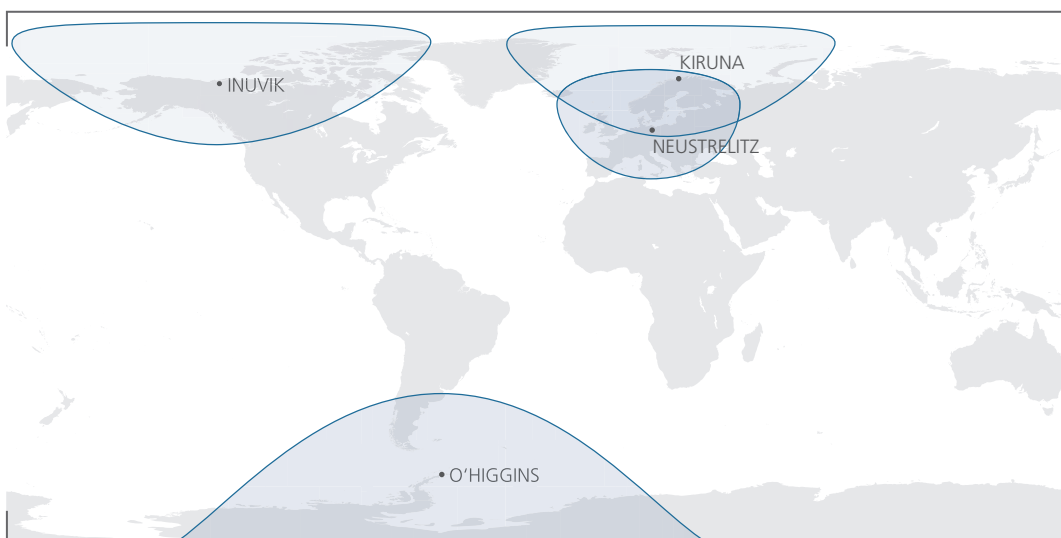
stimmung der Basislinien“ und die „hochperformante Datenempfangs- und Verarbeitungskette“ erweitert worden ist. Darüber hinaus gibt es weitere Besonderheiten für den TanDEM-X-Betrieb.

Während bei TerraSAR-X überwiegend Einzelszenen für individuelle wissenschaftliche oder kommerzielle Anwendungen angefragt werden, bedarf die Aufnahme eines globalen Geländemodells einer globalen Datenaufnahmestrategie. Diese muss sich vor allem an der jeweiligen Formation der beiden Satelliten orientieren, die wiederum durch die Wahl des Helix-Orbits definiert ist. So lässt sich für eine feste Helix das digitale Höhenmodell nur in einem bestimmten Breitengradbereich erstellen.

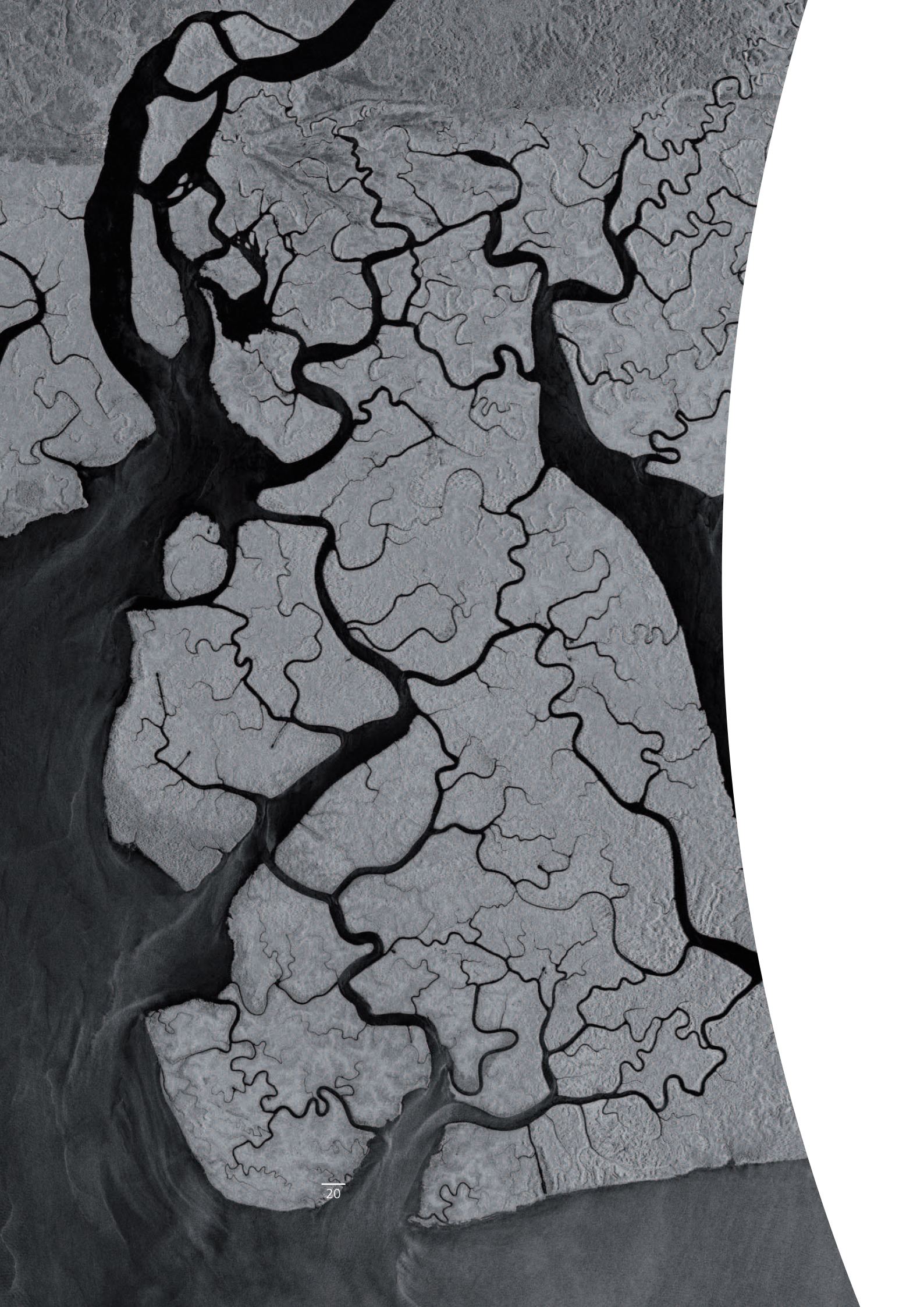
Außerdem sollen in der dreijährigen TanDEM-Phase die Satelliten auch wie bisher als Einzelinstrumente verfügbar sein. Hierfür existiert ein Referenz-Missi-

onsszenario, in dem zunächst die Aufnahmen zur Erstellung des DEM Priorität haben. Dieser Plan lässt genug Spielraum für Terra-SAR-X-Aufnahmen, die um die TanDEM-X-Aufnahmen herum geplant werden können.

Die Daten der beiden Satelliten werden über ein Netz von drei Bodenstationen empfangen: Kiruna in Schweden, Inuvik in Kanada und O'Higgins in der Antarktis. Allein das digitale Höhenmodell erfordert eine Datenmenge von mehr als 350 Terabyte. Das entspricht dem Speichervermögen von rund 45.000 DVDs. Nach einer kurzen Qualitätsprüfung werden die Daten auf Magnetbändern aufgezeichnet und zur Verarbeitung und Archivierung an das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum beim DLR verschickt.



Das Netzwerk der Bodenstationen mit ihren Regionen. Hier ist ein Datenempfang möglich.



Die Prozessierungskette

Die gesamte Prozessierungskette wurde speziell für TanDEM-X entwickelt, wobei einzelne Module stark von den Erfahrungen mit TerraSAR-X und der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) aus dem Jahr 2000 profitieren. Wesentliche Erweiterungen waren vor allem nötig, weil die verschiedenen globalen Abdeckungen und die Vielzahl der unterschiedlich großen Basislinien andere Prozessierungstechniken erfordern. Eine weitere wichtige Bedingung für die Missionsplanung ist die schnelle Rückmeldung und Beurteilung der Datenqualität, besonders bei langen, zusammenhängenden Aufnahmen, die wegen der großen Datenmenge über unterschiedlichen Stationen heruntergeladen werden.

Der Versand der Daten an das zentrale Prozessierungszentrum in Oberpfaffenhofen erfolgt auf dem Postweg und kann bei der Antarktisstation mehrere Wochen dauern.

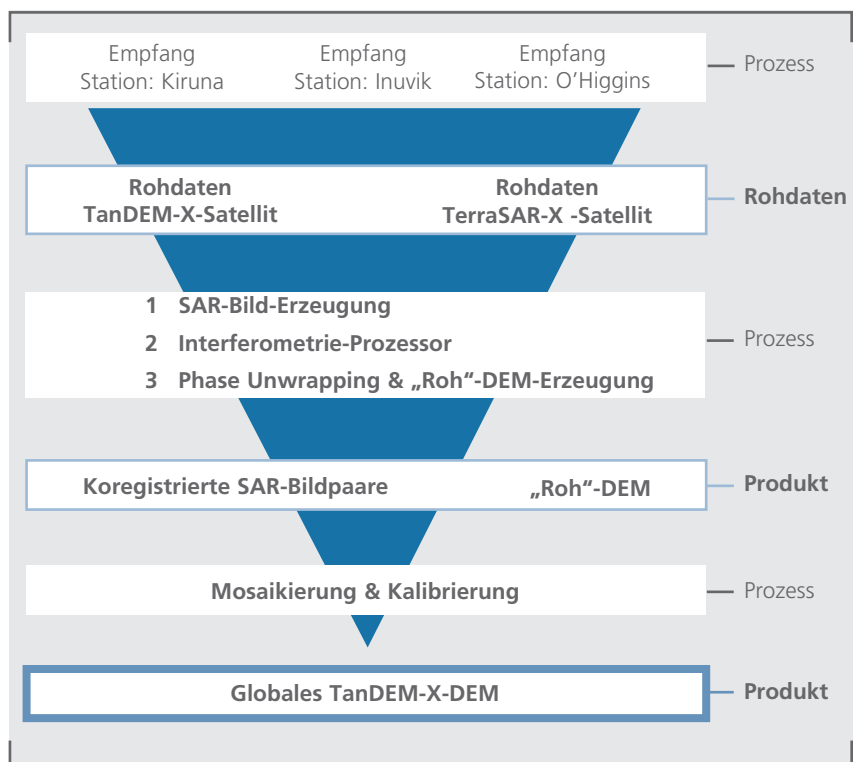
Der gesamte Verarbeitungsablauf erfolgt in drei Hauptschritten:

1. Überprüfen der von den Satelliten übertragenen Datensegmente an den Empfangsstationen
2. Bewerten der gesammelten Überprüfungsergebnisse für eine komplette TanDEM-X-Aufnahme im Prozessierungszentrum in Oberpfaffenhofen
3. Verarbeiten der Aufnahme zu digitalen Höhenkarten im Rohzustand (Roh-DEMs), nachdem alle notwendigen Eingangsdaten verfügbar sind

Anschließend wird aus den Roh-DEMs das globale digitale Höhenmodell erstellt. Hierfür muss die absolute Orientierung von Tausenden von Roh-DEMs ermittelt und kontinenteweise korrigiert werden. Für die absolute Höhenkalibrierung werden global verteilte Referenzhöhendaten benötigt. Diese liefert das Laser-Altimeter des amerikanischen Satelliten ICESat mit einer absoluten Höhengenaugigkeit von besser als einem Meter. Das Ziel der fertigen globalen Höhenkarte ist erreicht, wenn abschließend alle Roh-DEMs in ein qualitätskontrolliertes DEM zusammengeführt wurden.

Insgesamt wird die TanDEM-X-Mission 1,5 Petabyte an Daten im DFD-Archiv füllen, der globale DEM-Datensatz wird 15 Terabyte umfassen und vier Jahre nach dem Start zur Verfügung stehen.

Schematische Übersicht zur TanDEM-X-Prozessierungskette



Links: Das Bild des deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X zeigt die mangrovenbedeckten Inseln der Bakassi-Halbinsel (Kamerun), die am äußersten östlichen Rand des Golfs von Guinea liegen. TanDEM-X ermöglicht eine genaue Kartierung von Küstenregionen, die z. B. für die Tsunami-Risikobewertung essenziell ist.

Ausblick

Im nationalen deutschen Raumfahrtprogramm konzentriert sich die Radar-Entwicklung auf die Fortführung der X-Band-Linie und deren Kommerzialisierung hin zu einem tragfähigen Geschäftsmodell. Radarwellen in diesem Bereich haben Wellenlängen um drei Zentimeter (Frequenz von 9,65 Gigahertz) und sind damit kürzer als in den C- oder L-Bändern. Im Rahmen des PPP-Abkommens hat sich die Industrie dazu verpflichtet, einen weiteren TerraSAR-X-Satelliten aus Eigenmitteln zu finanzieren und zu betreiben. Die Infoterra GmbH forciert derzeit die Definition des TerraSAR-X2, der die aktuelle TerraSAR-X-Mission im Zeitraum zwischen 2012 und 2013 ablösen soll.

Die Förderung des nationalen Erdbeobachtungsprogramms legt aber bereits heute die Grundsteine für die künftigen X-Band-Radarsatelliten. So soll in der nächsten Generation die experimentelle Fähigkeit zu höchstauflösenden Messun-

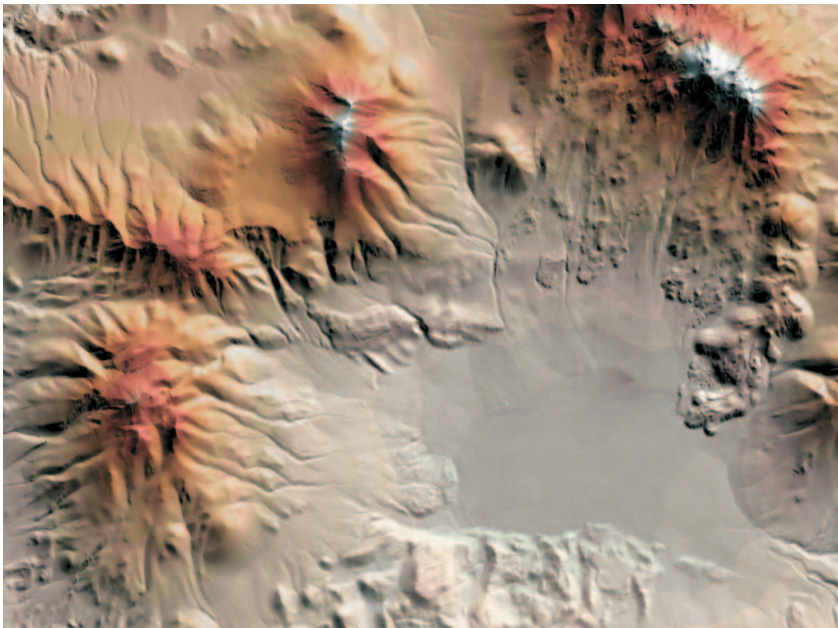
gen weiter verbessert und auf deutlich breitere Beobachtungstreifen erweitert werden. Fachleute sprechen von High Resolution Wide Swath (HRWS). Hierfür sollen Techniken wie das so genannte digitale Beamforming zum Einsatz kommen. Die Astrium GmbH entwickelt zurzeit im Auftrag des DLR für diesen Zweck einen Antennendemonstrator. Das DLR beteiligt sich mit der Entwicklung von Verfahren und Algorithmen, die mit dieser zukunftsweisenden Technik eine sehr hohe Auflösung bei großer Streifenbreite erlauben.

Fernziel derartiger Entwicklungen ist das Software Defined Radar. Diese neue Generation von digitalen Radarsystemen wird die aktive Mikrowellenfernerkundung revolutionieren und die Anwendungsmöglichkeiten in der Erd-, Umwelt- und Klima-beobachtung um ein Vielfaches erweitern. Beispielsweise können zukünftige Radarsatelliten flexibel an veränderte Aufgaben und Umgebungsbedingungen angepasst und die Datengewinnung adaptiv

optimiert werden. Um Konflikte im Betrieb zu vermeiden, wird es möglich sein, mehrere Abbildungsmodi gleichzeitig einzusetzen. Hierdurch lassen sich die steigenden Nutzeranforderungen bezüglich Produktqualität, operationeller Verfügbarkeit und Datenaktualität optimal erfüllen.

Eine mögliche auf TanDEM-X folgende HRWS-Mission könnte das erfolgreiche Konzept von öffentlicher und privater Partnerschaft in Finanzierung und Nutzung fortsetzen. Da die HRWS-Technologie aber auch die Anforderungen erfüllen könnte, wie sie sich für künftige Sentinel-1-Missionen der Europäischen Weltraumorganisation ESA abzeichnen, erscheint sie auch als viel versprechender Kandidat eines solchen Missionstyps. Das Sentinel-Programm besteht aus einer Familie unterschiedlicher Satelliten, die zukünftig alle wichtigen Aufgaben der Erdbeobachtung operationell (also im Routinebetrieb) abdecken sollen.

Gleichzeitig sucht das DLR nach Möglichkeiten, die bereits etablierte X-Band-Linie in weiteren Frequenzen zu ergänzen. So wurden gemeinsam mit dem amerikanischen Jet Propulsion Laboratory (JPL) der NASA erste Untersuchungen von entsprechenden Missionskonzepten im L-Band (Tandem-L) begonnen. Darüber hinaus engagieren sich die Industrie und das DLR bei zwei aktuellen Earth-Explorer-Missionskandidaten der ESA im P-Band (BIOMASS) und im X-/Ku-Band (CoReH₂O). SIGNAL, ein aktueller Vorschlag für eine SAR-Mission im Ka-Band, wird ebenfalls auf sein Potenzial hin untersucht.



Hochauflöstes, aus TerraSAR-X-Daten erstelltes Höhenmodell.

Impressum

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

Anschrift
Bonn-Oberkassel
Königswinterer Straße 522-524
53227 Bonn

Redaktion
Elisabeth Mittelbach, DLR-Kommunikation

Autoren
Michael Bartusch, Irena Hajsek, Jürgen Janoth,
Christian Marschner, David Miller, Prof. Dr. Alberto
Moreira, Nils Sparwasser, Dr. Manfred Zink

Gestaltung
CD Werbeagentur GmbH,
Troisdorf

Druck
Druckerei Thierbach KG, Mülheim/Ruhr

Drucklegung
Köln, November 2009

Abdruck (auch von Teilen) oder sonstige
Verwendung nur nach vorheriger
Absprache mit dem DLR gestattet.

www.DLR.de



Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten sowie für die internationale Interessenswahrnehmung zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 13 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

Die Mission des DLR umfasst die Erforschung von Erde und Sonnensystem, Forschung für den Erhalt der Umwelt und umweltverträgliche Technologien, zur Steigerung der Mobilität sowie für Kommunikation und Sicherheit. Das Forschungsportfolio des DLR reicht von der Grundlagenforschung zu innovativen Anwendungen und Produkten von morgen. So trägt das im DLR gewonnene wissenschaftliche und technische Know-how zur Stärkung des Industrie- und Technologiestandorts Deutschland bei. Das DLR betreibt Großforschungsanlagen für eigene Projekte sowie als Dienstleistung für Kunden und Partner. Darüber hinaus fördert das DLR den wissenschaftlichen Nachwuchs, betreibt kompetente Politikberatung und ist eine treibende Kraft in den Regionen seiner Standorte.



DLR

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

Kommunikation

Linder Höhe
51147 Köln

www.DLR.de