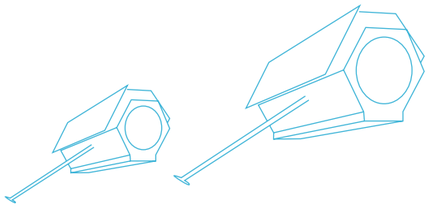
SATELLITEN-TANDEM AUF ERFOLGSKURS



3D-Karte der Erde steht kurz vor der Fertigstellung

Von Dr.-Ing. Manfred Zink und Prof. Dr. Alberto Moreira

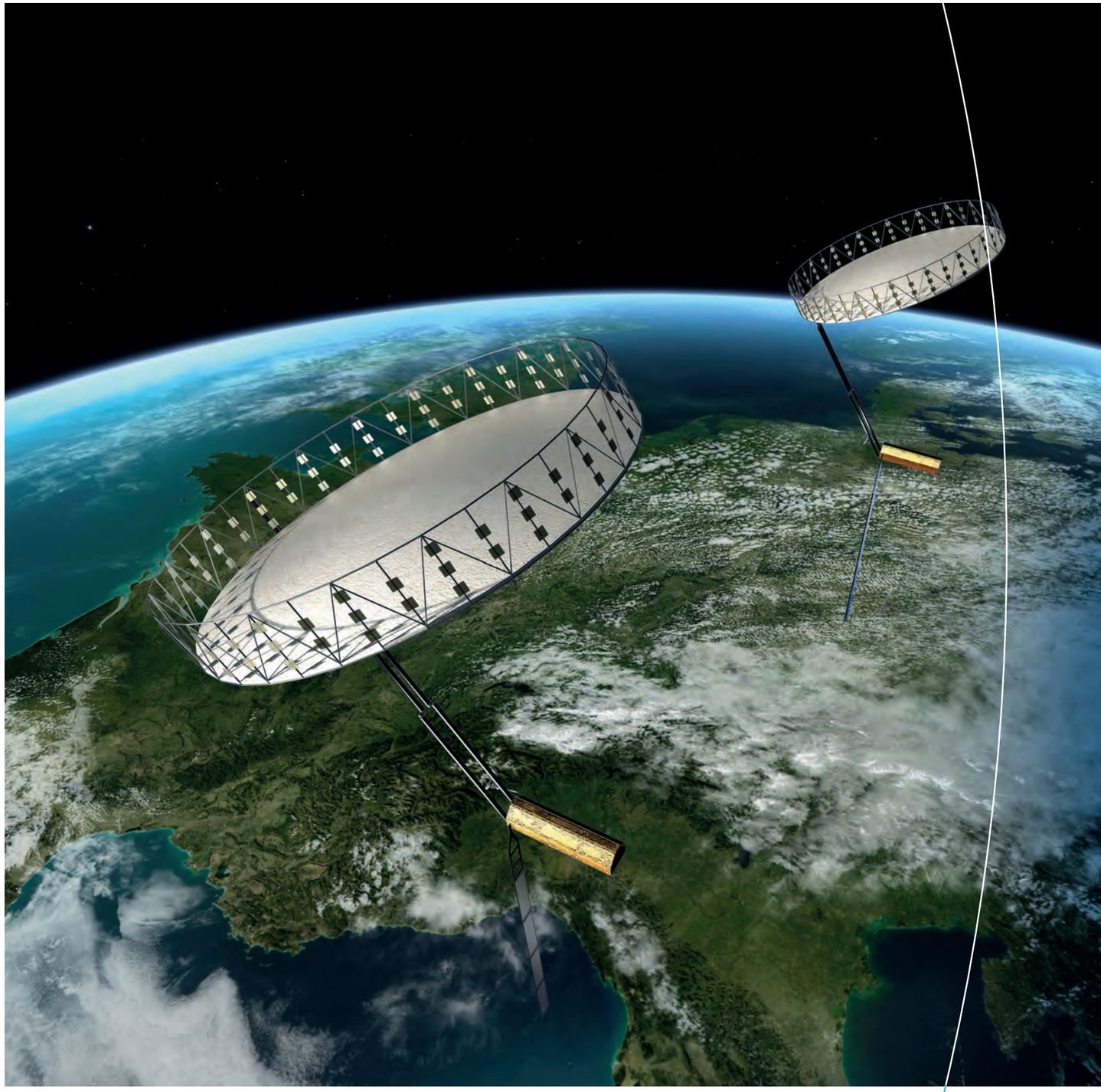
Fünf Jahre nach dem Start steht die Radarsatellitenmission TanDEM-X kurz davor, ihr primäres Missionsziel zu erreichen. Ein Höhenmodell der Erde in bislang unerreichter Genauigkeit ist zu mehr als drei Vierteln fertiggestellt und wird nun der internationalen Wissenschaftsgemeinschaft zur Nutzung bereitgestellt.

Mit dieser Mission wurde in vielen Bereichen Neuland betreten. Der enge Formationsflug der beiden Satelliten bei einem Minimalabstand von 120 Metern ist ebenso zur Routine geworden wie die vielfältigen Manöver, die notwendig sind, um die Formation laufend den Anforderungen an die Aufnahmegeometrie anzupassen. Ähnliches gilt für den Radarbetrieb mit zwei Satelliten, anfangs eine große Herausforderung, doch unumgänglich, um die hohe Genauigkeit der Höhenmodelle sicherzustellen. Das DLR ist weltweit Vorreiter für diese zukunftsweisende Technik, sowohl was den Betrieb der Radarsysteme betrifft als auch im Hinblick auf die notwendige präzise Kalibrierung des Systems. Hier wurden mit TanDEM-X herausragende Benchmarks gesetzt.

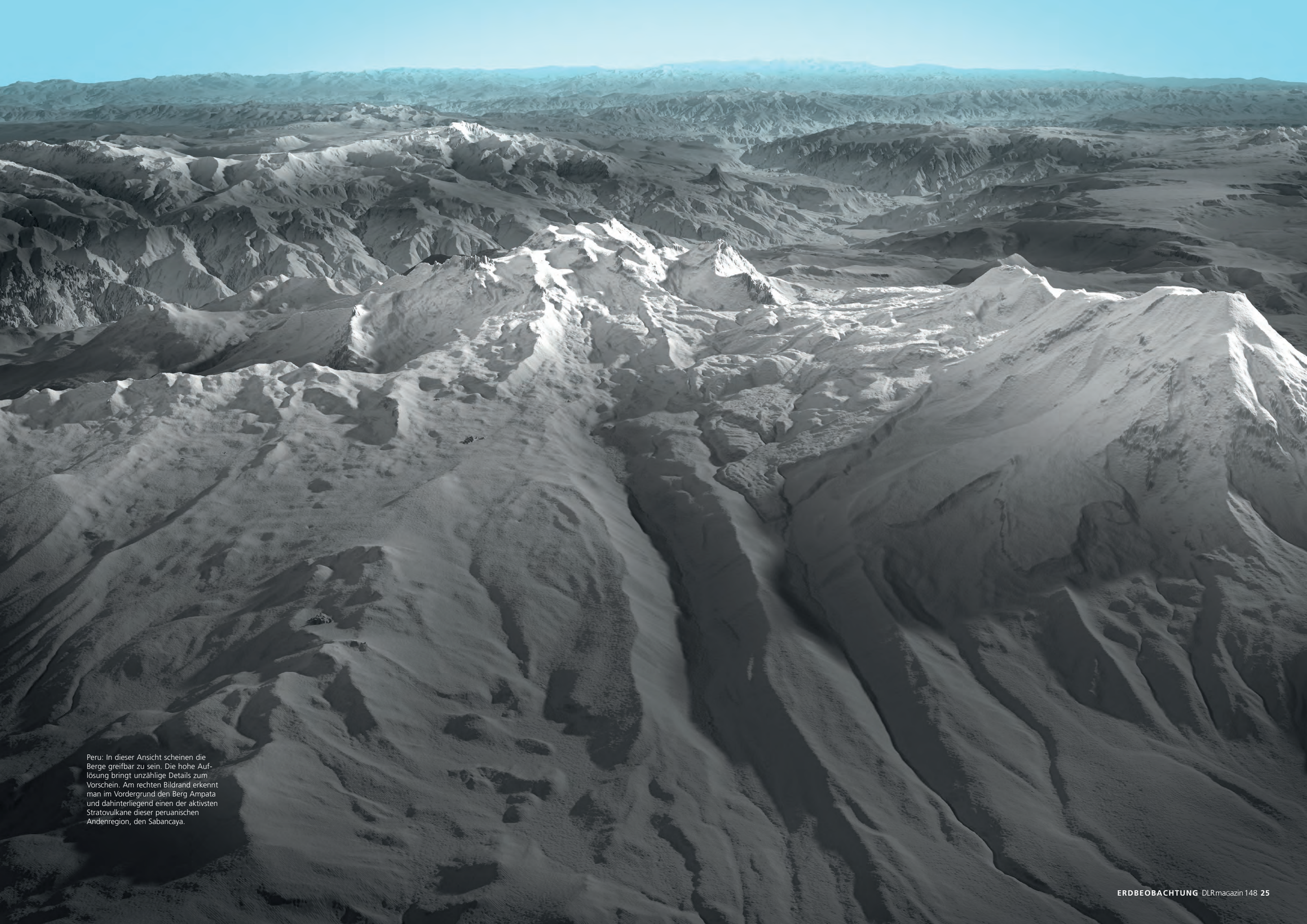
Ein Beispiel ist die millimetergenaue Bestimmung des Abstands zwischen den beiden Satelliten. Sie haben sämtliche Landflächen mindestens zweimal – gebirgiges Gelände sogar bis zu viermal – aufgenommen und so bis Anfang 2015 mehr als 400 Terabyte an Daten für das globale Höhenmodell gesammelt und über ein Netz von Empfangsstationen zur Erde übertragen. Ausgeklügelte Prozessierungsketten verarbeiten die Daten seit 2014 mittels hochgenauer und effizienter Algorithmen zu den finalen Höhenmodellen. Dabei wächst das Datenvolumen auf mehr als 2,5 Petabyte an und treibt die beteiligten Rechnersysteme bis an die Grenzen ihrer Kapazität.

Für gut drei Viertel der globalen Landmassen liegen mittlerweile finale Höhenmodelle vor und die Qualität dieser Daten übertrifft alle Erwartungen. Während die Höhengenauigkeit durchweg innerhalb der Spezifikation von zwei Metern für flaches, beziehungsweise vier Metern für steileres Gelände liegt, unterbietet der absolute Höhenfehler die Anforderung um eine ganze Größenordnung. Statt der geforderten zehn Meter haben die bisher verfügbaren Daten einen absoluten Fehler von lediglich etwas mehr als einem Meter – ein Resultat der hervorragenden Kalibrierung des Systems.

Neben der Höhengenauigkeit ist die Vollständigkeit der Abdeckung ein weiteres wichtiges Qualitätsmerkmal. Denn durch Abschattung im Gebirge oder durch zu geringe Rückstreuung der Radarsignale in Wüstengebieten ergeben sich Lücken. Speziell in sandigen Wüsten dringen die Radarpulse in den Boden ein, werden quasi verschluckt und kaum reflektiert.



Grafische Darstellung des Missionsvorschlags Tandem-L: zwei Satelliten im Formationsflug, jeweils mit einem 15 Meter durchmessenden entfaltbaren Reflektor



Peru: In dieser Ansicht scheinen die Berge greifbar zu sein. Die hohe Auflösung bringt unzählige Details zum Vorschein. Am rechten Bildrand erkennt man im Vordergrund den Berg Ampata und dahinterliegend einen der aktivsten Stratovulkane dieser peruanischen Andenregion, den Sabancaya.

Um der geringen Rückstreuung der Radarsignale entgegenzuwirken, wurden die betroffenen Gebiete wiederholt unter steilerem Blickwinkel abgebildet, eine Maßnahme, die in der Sahara und auf der arabischen Halbinsel zur deutlichen Reduktion der Lücken in den Höhenmodellen geführt hat. In Gebirgen konnte durch die dritte beziehungsweise vierte Aufnahme aus der entgegengesetzten Blickrichtung ebenfalls ein Großteil der Lücken geschlossen werden. Insgesamt wird erwartet, dass auch die Anforderung an die Vollständigkeit von 97 Prozent sehr gut erfüllt werden kann.

800 Wissenschaftler weltweit wollen die Daten nutzen

Dieser Datensatz wird jetzt über einen etablierten Prozess der internationalen Wissenschaftsgemeinde zur Verfügung gestellt. Renommierte Wissenschaftler, sogenannte Principle Investigators, können Projektvorschläge einbringen. Wenn diese als gut bewertet und genehmigt werden, erhalten die Wissenschaftlergruppen Zugang zu den Daten.

Beispiele für die Datennutzung reichen von der genauen Georeferenzierung (Kartenprojektion in ein geodätisches Referenzsystem), Infrastrukturplanung (Städte- und Straßenbau), Glaziologie (beispielsweise Beobachtung der Reduktion der Eismassen bei der Gletscherschmelze), Hydrologie (Wasserabflussmodelle und Überflutungsvorhersage), Vulkanologie (Lavavolumenabschätzung bei Eruptionen), Landwirtschaft (Biomasseabschätzung aus der Vegetationshöhe) und Forstwirtschaft (Bestimmung der Waldhöhe) bis hin zur Ozeanografie (Bestimmung von Meeresströmungen).

Mehr als 800 Wissenschaftler weltweit haben sich bereits im DLR-Portal für die wissenschaftliche Nutzung von TanDEM-X-Daten angemeldet und erhalten nach und nach hochaufgelöste Daten für die wissenschaftliche Auswertung und Demonstration neuer Anwendungsfelder.

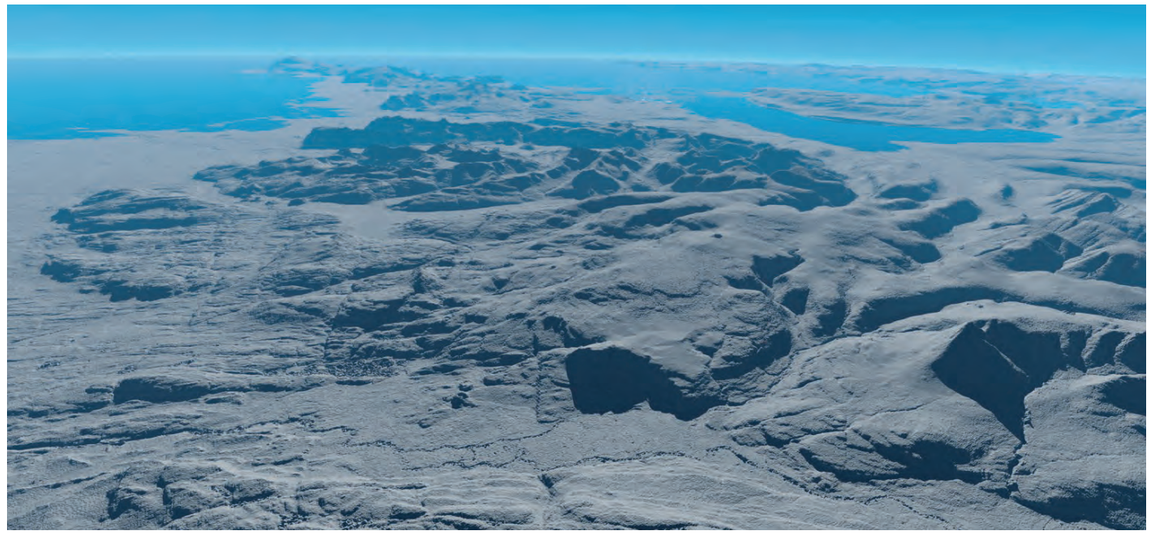
Bis Ende 2014 konzentrierte sich die Aufnahmeplanung auf das globale Höhenmodell, wissenschaftliche Experimente konnten nur unter diesen Randbedingungen berücksichtigt werden. In der anschließenden wissenschaftlichen Missionsphase wurden die Prioritäten gewechselt und die Abstände zwischen den beiden Satelliten wurden an die wissenschaftliche Nutzung angepasst. Mit Abständen von bis zu vier Kilometern wurden beispielsweise über die gesamte Vegetationsperiode hinweg Agrarflächen beobachtet. Davor wurde ein ganzes Spektrum von Abständen – sogenannten Basislinien – durchfahren, um zum Beispiel in polaren Regionen tomografische Untersuchungen von Schnee und Eis zu ermöglichen. In all diesen Phasen kann auch der experimentell verfügbare vollpolarimetrische Modus der Radarinstrumente genutzt werden.

Mit Abschluss der wissenschaftlichen Phase Ende 2015 ist aber noch lange nicht das Ende der Mission erreicht. Beide Satelliten funktionieren einwandfrei und haben genug Treibstoff für bis zu fünf weitere Jahre. Einzig beim Kaltgas-Antriebssystem geht der Treibstoff in einigen Monaten zur Neige. Mit einem solchen System wurde bisher die enge Formation gehalten. Es gibt aber schon alternative Lösungen, die ohne Kaltgas auskommen. Der Fokus der Mission liegt dann auf der Erzeugung von noch genaueren Höhenmodellen, mit nur sechs Meter räumlicher Abtastung für begrenzte Regionen. Darüber hinaus sind weiterhin wissenschaftliche Experimente geplant.

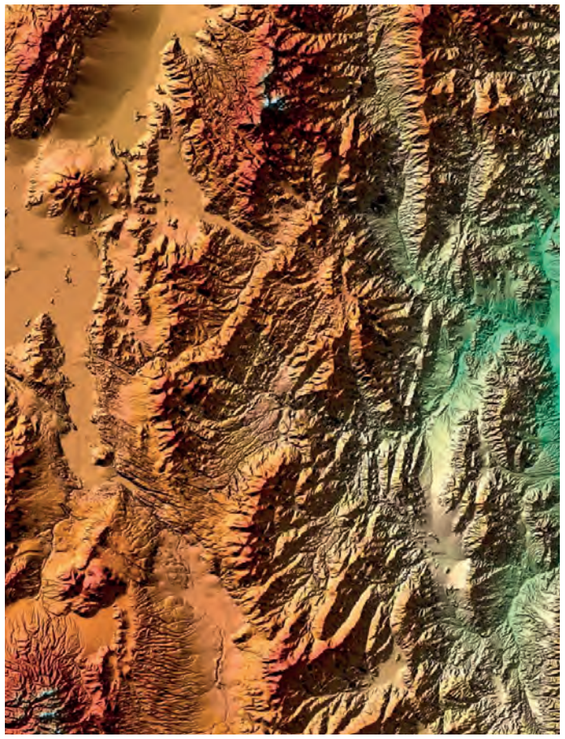
TanDEM-X bereitet den Weg für die zukünftige Radar-Mission Tandem-L

Die Mission TanDEM-X ist ein Meilenstein in der Radarfernerkundung: Zwei Radarsatelliten im Formationsflug als bistatisches SAR-Interferometer sind eine Premiere im Weltraum. TanDEM-X ist aber auch ein Vorreiter für zukünftige Radarmissionen. Seit 2012 arbeiten im Rahmen der Helmholtz-Allianz „Remote Sensing and Earth System Dynamics" 132 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus acht Helmholtz-Zentren sowie aus 18 Partner- und assoziierten Forschungseinrichtungen intensiv an der Entwicklung neuer Anwendungen und Geoinformationsprodukte für die nächste Generation von Radarsatelliten. Im Fokus der Forschung steht Tandem-L, ein Vorschlag für eine Satellitenmission zur globalen Erfassung dynamischer Prozesse auf der Erdoberfläche in einer bisher nicht erreichten Qualität und Auflösung. Eine Entscheidung zur Realisierung von Tandem-L wird für Anfang 2017 erwartet.

Aufgrund neuartiger Technologien, innovativer Abbildungstechniken und der daraus resultierenden enormen Aufnahmekapazität wird Tandem-L dringend benötigte Informationen zur Lösung hochaktueller wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Fragestellungen aus den Bereichen der Bio-, Geo-, Kryo- und Hydrosphäre liefern. Erstmals wird es mit Tandem-L möglich sein, sieben essenzielle Klimavariablen im Rahmen einer Satellitenmission gleichzeitig zu erfassen. Tandem-L trägt damit entscheidend zu einem besseren Verständnis des Systems Erde und seiner Dynamik bei. Das macht Deutschland international führend auf dem Gebiet der Fernerkundung mittels Radar.



Diese Aufnahme von TanDEM-X zeigt mittig die isländische Halbinsel Snæfellsnes und im rechten Bildteil den Breidhafjord mit der Halbinsel Vestfirðir im Nordwesten Islands



Die vielschichtige Ausprägung der Anden in der argentinischen Provinz Catamarca im digitalen Höhenmodell

DIE ZUKUNFTSMISSION TANDEM-L AUF EINEN BLICK

Alle acht Tage ist eine aktuelle Abbildung der gesamten Landmasse der Erde verfügbar.

Die Abbildungsleistung aller bisher existierenden SAR-Satelliten wird um mehr als das Zehnfache übertroffen.

Mit Tandem-L kann durch den Einsatz der in Deutschland entwickelten polarimetrischen SAR-Interferometrie und -Tomografie erstmals die vertikale Struktur von Vegetation und Eis global vermessen werden.

Acht Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren und 18 Partner- und assoziierte Einrichtungen beteiligen sich an einer Helmholtz-Allianz zur Vorbereitung einer umfassenden und systematischen Datennutzung von Tandem-L.

Erstmals wird es mit Tandem-L möglich sein, sieben essenzielle Klimavariablen im Rahmen einer Satellitenmission gleichzeitig zu messen.

Tandem-L ist die weltweit erste Mission zur systematischen und hochaufgelösten Beobachtung von dynamischen Prozessen in der Bio-, Geo-, Kryo- sowie Hydrosphäre.

Mehr als 80 Forschungsinstitute haben ihr großes Interesse an der Nutzung der Tandem-L-Daten bereits jetzt bekundet und sind Mitglied im Wissenschaftsteam von Tandem-L.

Wichtige Missionsziele von Tandem-L sind die globale Messung der Waldbiomasse und deren zeitlicher Veränderung zum besseren Verständnis des Kohlenstoffkreislaufs, die systematische Erfassung von Deformationen der Erdoberfläche im Millimeterbereich für Erdbebenforschung und Risikoanalyse, die Quantifizierung von Gletscherbewegungen und Schmelzprozessen in den Polarregionen, die Überwachung der Dynamik in den Permafrostgebieten, die großflächige Beobachtung von Meeresströmungen sowie die feinskalige Messung von Variationen in der oberflächennahen Bodenfeuchte.

In Zeiten intensiver wissenschaftlicher und öffentlicher Diskussionen über Ausmaß und Auswirkungen von Klimaänderungen wird Tandem-L wichtige und bis heute fehlende Informationen für verbesserte wissenschaftliche Prognosen und darauf aufbauend gesellschaftspolitische Handlungsempfehlungen liefern. Der mit Tandem-L aufgenommene Datensatz eröffnet über die primären Missionsziele hinaus ein immenses Potenzial für die Entwicklung neuer wissenschaftlicher, kommerzieller und hoheitlicher Anwendungen. Ein Beispiel ist die Vorbereitung und Kontrolle internationaler Klima- und Umweltabkommen wie REDD+ (Reduktion von Emissionen aus Entwaldung und Schädigung von Wäldern). Mittels Radartomografie können die benötigten Informationen wie Waldhöhe, Waldbiomasse und deren Veränderungen (beispielsweise durch Abholzung, Waldbrand oder Degradation, aber auch durch Aufforstung) und das vertikale Waldprofil ermittelt werden.

Das Tandem-L-Missionskonzept nutzt zwei Radarsatelliten im L-Band (23,6 Zentimeter Wellenlänge). Der Einsatz der speziellen Technik des Radars mit synthetischer Apertur (SAR) macht es möglich, die Erdoberfläche hochaufgelöst abzubilden, und das unabhängig von Wetter und Tageslicht. Das ist die optimale Voraussetzung, um dynamische Prozesse auf der Erdoberfläche kontinuierlich zu beobachten. Eine besondere Herausforderung für die Tandem-L-Mission ist es, die Anforderungen der Nutzer zu erfüllen: eine große Streifenbreite, kurze Wiederholraten, hohe Auflösung und vollpolarimetrischer Betrieb. Hierfür wurde von DLR-Wissenschaftlern eine innovative Technologie der digitalen Antenne in Kombination mit einem großen, entfaltbaren Reflektor entwickelt. Die Vorteile der digitalen Strahlformung (Digital Beam Forming) mit der hohen Empfindlichkeit der riesigen Aperturfläche des entfaltbaren Reflektors zu kombinieren, kommt einer technologischen Revolution gleich. Damit übertrifft Tandem-L die Leistungsfähigkeit herkömmlicher Radarsatelliten um mehr als das Zehnfache. Entsprechend den derzeitigen Planungen könnte ein Start der Tandem-L-Satelliten im Jahr 2021 erfolgen. Die revolutionären Techniken und Technologien, die bei Tandem-L zum Einsatz kommen, bilden die Grundlage für zukünftige Generationen von Satelliten-SAR-Systemen. Die Tandem-L-Mission öffnet somit die Tür für ein globales Fernerkundungssystem zur kontinuierlichen Beobachtung der Erdoberfläche, wie es für die Wettervorhersage bereits heute mit einem Netz aus geostationären Satelliten existiert.

Dr.-Ing. Manfred Zink arbeitet im DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme. **Prof. Dr. Alberto Moreira** leitet das Institut.