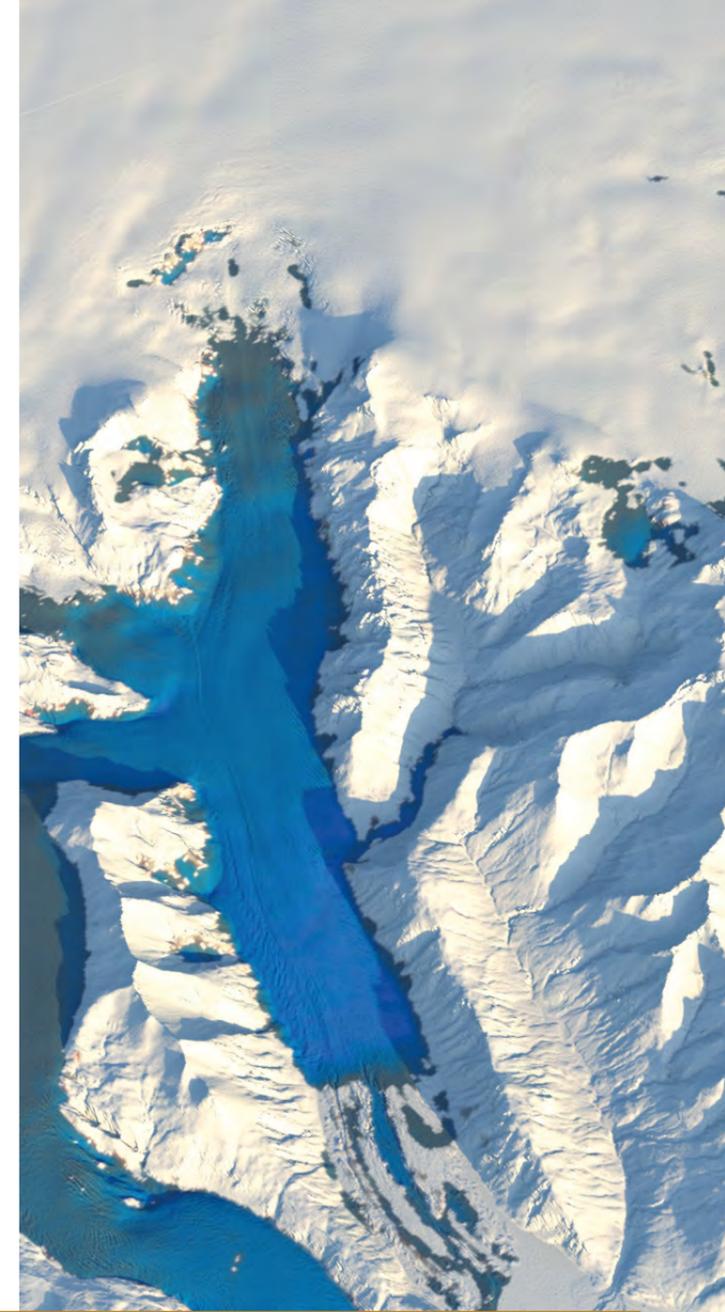


Seitdem das globale Höhenmodell DEM 2016 fertiggestellt wurde, nutzten mehr als 4.000 Forschende aus 97 Ländern seine Höhen­daten. Der Schwerpunkt liegt naturgemäß bei den Geowissenschaften wie der Geologie, Glaziologie, Ozeanografie oder Hydrologie. Aber auch Anwenderinnen und Anwender, die sich mit der Beobachtung von Vegetation, Umweltschutz, Landnutzung, Städte- und Infrastrukturplanung, Kartografie oder mit Krisenmanagement befassen, greifen auf die umfangreichen Datensätze zu und werten sie nach ihren Bedürfnissen aus. Das Besondere an TanDEM-X ist, dass es als sogenanntes Interferometer im All unterwegs ist. Durch den Formationsflug – der Abstand zwischen den Zwillingssatelliten variiert je nach Missionsphase zwischen mehreren Kilometern und zeitweise nur 120 Metern – haben die Sensoren eine dreidimensionale Sicht auf die Erde. So kann die Struktur des Geländes mit nur einem Überflug erfasst werden. Dies ist bislang weltweit einzigartig.

Menschliches Wirken und globale Veränderungen

Während das DLR-Team an dem ersten Modell arbeitete, wurde deutlich, dass die Höhengenaugigkeit von TanDEM-X so gut ist, dass sogar Veränderungen innerhalb eines Jahres gemessen werden können. Die Analysen zeigten, dass die Erdoberfläche sehr dynamisch ist. Nicht nur Höhenveränderungen in Gletschern, Permafrostgebieten und Wäldern, sondern auch landwirtschaftliche Aktivitäten und Veränderungen in der Infrastruktur hinterlassen deutliche Spuren. Diese Prozesse zu beobachten und quantitativ zu bestimmen, ist nicht nur für die Wissenschaft hoch interessant, sondern im Hinblick auf den Klimawandel auch von gesellschaftspolitischer Relevanz. So wurde 2017 entschieden, die Mission mit Fokus auf topografische Veränderungen fortzuführen.

Bis 2020 kartierten die beiden TanDEM-Satelliten die vollständige Landmasse der Erde ein weiteres Mal als Grundlage für ein aktualisiertes Höhenmodell, das TanDEM-X DEM 2020. Diesen zweiten Datensatz vergleichen die DLR-Forscherinnen und -Forscher mit der ersten DEM-



AUF DEN SPUREN DER ZEIT

Ein neues Höhenmodell des Satellitenduos TanDEM-X zeigt auf, wie sich unsere Erdoberfläche verändert

von Dr. Manfred Zink

Mit dem Start des Radarsatelliten TanDEM-X begann im Jahr 2010 eine neue Ära in der Radarfernerkundung. Seitdem umkreist er im engen Formationsflug mit seinem drei Jahre älteren „Zwilling“ TerraSAR-X die Erde. Zusammen liefern die beiden Satelliten Daten für Höhenmodelle der ganzen Welt. Diese stellen eine unentbehrliche Grundlage für kommerzielle Anwendungen und wissenschaftliche Fragestellungen dar, denn bis dahin existierten für weite Teile der Erde nur grobe, uneinheitliche oder lückenhafte Höhenmodelle unterschiedlicher Datenquellen und Erhebungsmethoden. Die Mission TanDEM-X änderte dies mit ihrem Digital Elevation Model (DEM), einem digitalen Höhenmodell der gesamten Landoberfläche der Erde in einheitlicher Qualität und bislang unerreichter Genauigkeit. Das ist den DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftlern aber noch nicht genug.

Version und bewerten die zeitlichen Änderungen. Die ersten Ergebnisse zeigen neben menschengemachten Änderungen in Tagebaumrinen oder größeren Infrastrukturprojekten vor allem dramatische Entwicklungen wie beispielsweise das Abschmelzen der Gletscher und Eisschilde oder die ungehemmte Abholzung der tropischen Wälder.

Gletscherzungen am südöstlichen Rand des Vatnajökull, des größten Gletschers in Island. Über den blau gefärbten Flächen wurden zwischen 2012 und 2017 bis zu 40 Meter Höhenänderung durch Abschmelzen gemessen.



Von Schnappschüssen und Zeitreihen

Indem bestimmte Gebiete von den Satelliten wiederholt beobachtet werden, entsteht eine zeitliche Abfolge von Daten. Nach und nach wächst ein Datensatz heran, der neben den drei räumlichen Dimensionen eine vierte Dimension – die Zeit – als neue Informationskomponente enthält und damit neue, bislang verborgene Erkenntnisse hervorbringt. Während das TanDEM-X DEM 2020 einen einmaligen Vergleich zweier Zeiträume zulässt, gewissermaßen einen Schnappschuss der Ereignisse auf globaler Ebene, geben Aufnahmen über solchen Fokusgebieten ein detailliertes Bild. So lässt sich zum Beispiel das Wachstum und die Degradation von Wäldern messen. Wiederholte Höhenmessungen erlauben auch die Beobachtung und Quantifizierung des durch die globale Erderwärmung verursachten Abschmelzens von Gletschern und Eisschilden. Nie zuvor wurden Grönland und die Antarktis so umfassend und mit solcher Genauigkeit in 3D vermessen.

Mittlerweile haben beide Satelliten ihre Lebensdauer von fünfeneinhalb Jahren deutlich überschritten. Dennoch sind ihre Radarsysteme noch in ausgezeichnetem Zustand und arbeiten auch nach elf, beziehungsweise vierzehn Betriebsjahren noch absolut stabil. Immer noch liefern sie zuverlässig hochqualitative Radarbildprodukte. Auch ihre Treibstoffvorräte und ihre Batteriekapazitäten erlauben aus heutiger Sicht einen Satellitenbetrieb ohne drastische Einschränkungen für mehrere zusätzliche Jahre.

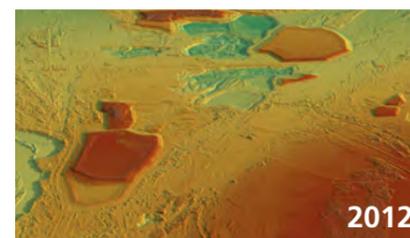
Aus zwei mach vier

Ursprünglich hatte das TanDEM-X-Team nicht geplant, diese dynamischen Prozesse zu erfassen. Mit zunehmender Dauer steigert es jedoch den Wert der Mission. Insbesondere durch die interferometrischen Aufnahmen im Formationsflug entsteht ein Informationsgewinn, der die Mission TanDEM-X von anderen Erdbeobachtungsmissionen abhebt. Die zeitliche Komponente der Fokusgebiete erzeugt weltweit einmalige Datensätze und wertvolle Beiträge zu gesellschaftspolitisch relevanten Themen und Fragen des Klimawandels, die immer aussagekräftiger werden, je länger das Projekt andauert.

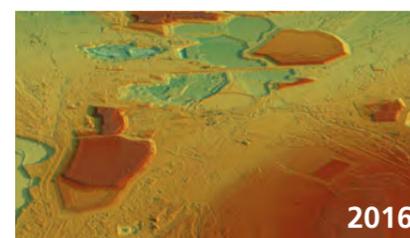
DIE TECHNIK HINTER TanDEM-X

Im Gegensatz zu optischen Verfahren bieten Radare mit synthetischer Apertur (engl. Synthetic Aperture Radar, SAR) den Vorteil, dass sie unabhängig von der Wolkenbedeckung und Sonneneinstrahlung großflächige und hochaufgelöste Aufnahmen erzeugen können. Zusätzlich steigert die bistatische Interferometrie, bei der zwei Satelliten im Formationsflug unterwegs sind, im Vergleich zu konventionellen Stereo-Verfahren die Höhengenaugkeit. Dazu sendet während einer Aufnahme immer nur einer der beiden Satelliten, wohingegen beide die von der Erdoberfläche reflektierten Echosignale empfangen. Aufgrund leicht abweichender Orbitpositionen ergeben sich bei den Satelliten Entfernungsunterschiede zu einem Punkt auf der Erdoberfläche, die mittels Interferometrie – also die Auswertung der Radarwellen-Phase – millimetergenau bestimmt werden können. Aus diesen ermitteln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR-Bodensegments mit einem aufwändigen Rechenverfahren die Höhe der Erdoberfläche. Hierbei ist äußerste Präzision gefragt: Der Abstand der Satelliten muss mit GPS-Empfängern millimetergenau erfasst und die Radarsysteme auf Bruchteile von Picosekunden (das entspricht bei zwei Uhren einem Gangunterschied von etwa einer Sekunde in 100.000 Jahren) synchronisiert werden. Sie müssen sogar relativistische Effekte berücksichtigen. Das Ergebnis ist ein digitales Höhenmodell (engl. Digital Elevation Model, DEM). Es beinhaltet die Höheninformation der Geländepunkte in einem regelmäßigen Raster von 12 Metern x 12 Metern. In Bezug auf die erreichte Genauigkeit hat die Mission TanDEM-X alle Erwartungen deutlich übertroffen: Der absolute Höhenfehler beträgt etwa einen Meter und liegt damit um eine Größenordnung unterhalb der ursprünglichen Spezifikation von zehn Metern. Die Zahl der Lücken im Datensatz liegt auch weit unter der Spezifikation und der Abdeckungsgrad beträgt mehr als 99,89 Prozent.

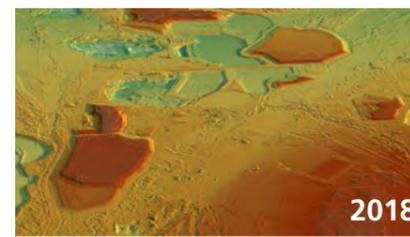
Diese Szene östlich vom Lake Taupo auf der Nordinsel Neuseelands zeigt die Höhenänderung zum globalen TanDEM-X DEM für 2019. In dem intensiv bewirtschafteten Waldgebiet hat die Höhe durch Abholzung in den blau markierten Flächen um bis zu 35 Meter abgenommen, man erkennt aber auch deutlichen Zuwachs in der Größenordnung von mehreren Metern in Rot. Aus solchen Höhenänderungen können mit Kenntnis der Baumart Biomasseänderungen bestimmt und damit Informationen über die CO₂-Bilanz geliefert werden.



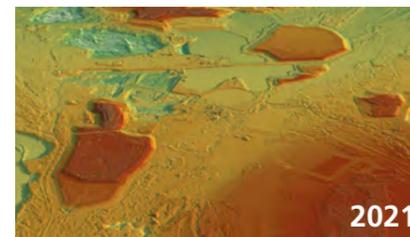
2012



2016



2018



2021

Zeitreihe von Höhenmodellen im Bereich der Athabasca-Ölsande im Nordosten der Provinz Alberta in Kanada. Die Aufnahmen aus 2012, 2016, 2018 und 2021 zeigen das dramatische Fortschreiten der Ölgewinnung aus einer der größten Ölsandlagerstätten weltweit.

DIE DATEN IM WEB

Die Höhenmodelle von TanDEM-X gibt es neben dem vollaufgelösten 12-Meter-Raster auch im reduzierten Rastermaß von 30 und 90 Metern. Für Forschende sind die 12- und 30-Meter-Varianten im Rahmen eines Antragsverfahrens über das DLR zugänglich (im Web unter: tandemx-science.DLR.de). Die 90-Meter-Variante ist für wissenschaftliche Zwecke nach einfacher Registrierung ohne aufwändiges Antragsverfahren frei verfügbar.

[geoservice.DLR.de](https://www.geoservice.dlr.de)

Zusätzlich möchte das Team mit dem Missionsvorschlag „High Resolution Wide Swath“, kurz HRWS, auf dem Erfolg von TanDEM-X aufbauen. HRWS soll auf vier Satelliten basieren – einem Hauptsatelliten, der Radarsignale im X-Band sendet, sowie drei kleinen Begleitsatelliten, den sogenannten MirrorSAR-Satelliten, die nur die von der Erde reflektierten Signale empfangen. Die Kombination dieser drei Messungen ermöglicht die Erzeugung von deutlich genaueren oder feiner abgetasteten Höhenmodellen. Außerdem können digitale Geländemodelle von jeder Region der Erde auf Anforderung nach kurzer Wartezeit geliefert werden. Parallel erweitert das Team beständig das Bild, das uns TanDEM-X von der Erde liefert. Dabei entsteht nach und nach das TanDEM-X DEM 2020 und eine globale Änderungskarte. In den kommenden Jahren möchten sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf die globale 3D-Beobachtung der Kryosphäre, der Wälder sowie von Großstädten fokussieren und so den stetigen Wandel dokumentieren.

Dr. Manfred Zink leitet die Abteilung Satelliten-SAR-Systeme im DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme in Oberpfaffenhofen. Die Mission TanDEM-X begleitet er schon seit 2005.



Höhenänderungskarte (Zeitraum 2011/12 und 2018/19) für ein Gebiet im sogenannten Deforestation Arch im brasilianischen Bundesstaat Rondônia. Die blau markierten Flächen zeigen die fortschreitende Rodung des Regenwaldes.