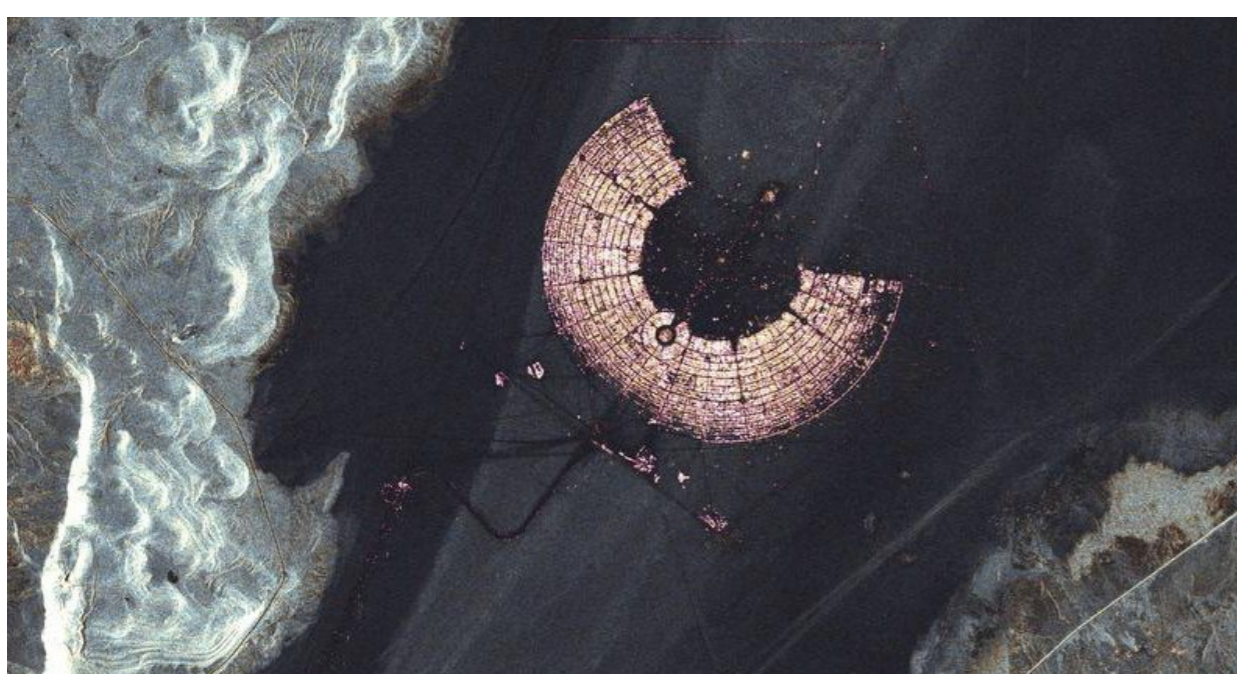


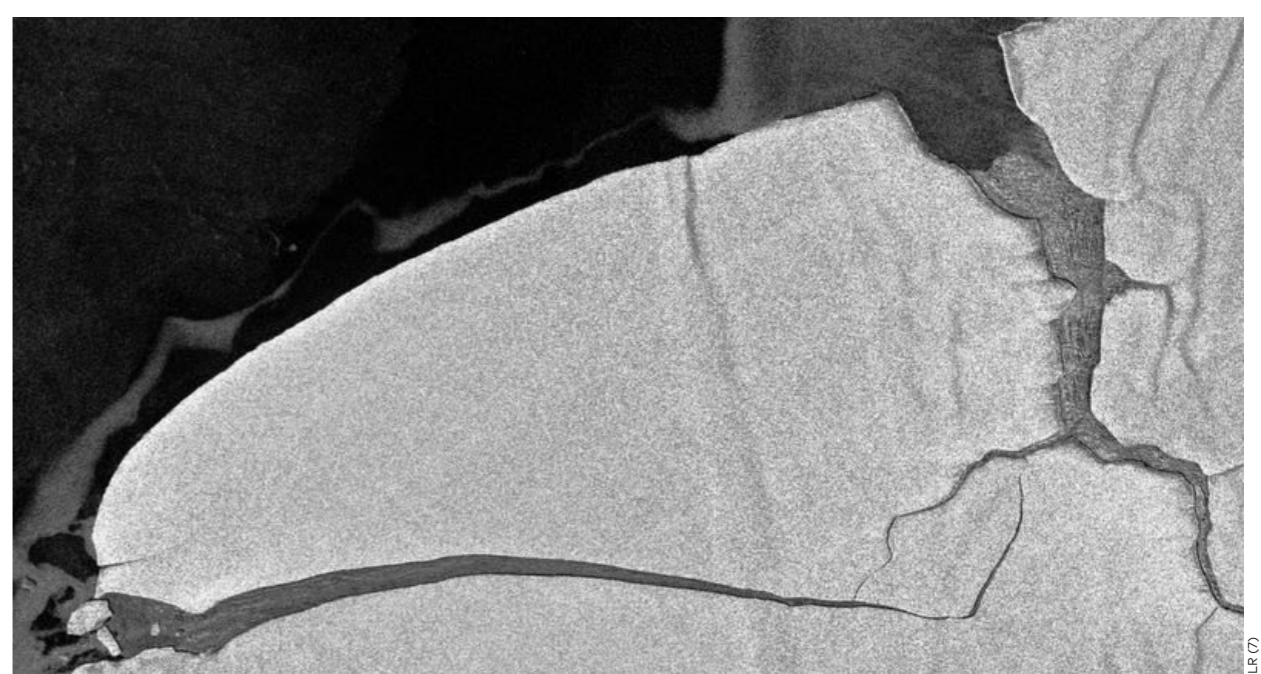
# HERRSCHER

über 150 Millionen  
Quadratkilometer



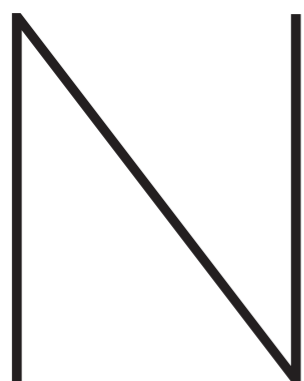
Oben: Bonneville Salt Flats – eine Salzpflanze in der Wüste im US-Bundesstaat Utah. Wasserflächen erscheinen schwarz, weil sie die Radarpulse wegreflektieren.  
Unten links: Burning Man Festival – in der Wüste von Nevada in den USA findet in jedem Sommer ein Festival statt.

Unten rechts: Der Eisberg A 62 – von einer großen Eisplatte im Königin-Maud-Land in der Antarktis löst sich ein Eisberg, der 120 Quadratkilometer misst.





Seit sechs Jahren vermessen zwei Satelliten die Oberfläche der Erde neu. Ihre Daten liefern einem Team in Oberbayern das Material für die erste komplette Weltkarte in drei Dimensionen – und auch den Anlass für politischen Streit



Nachts, sagt Alberto Moreira, da träume er oft von der Mission. Von den beiden Satelliten, die über seinem Schlaf ihre Bahnen ziehen, 514 Kilometer von der Erde entfernt, mit 28.000 km/h, jeder etwa so groß und schwer wie ein Wohnwagen. Ihre Flugbahnen winden sich umeinander wie die Seitenstränge der menschlichen DNA. Sie fliegen in einer Helixformation, die Moreira sich ausgedacht hat. Die Nasa war skeptisch, als der zweite Satellit vor sechs Jahren zum ersten stieß, sich ihm näherte und wieder ein Stück von diesem entfernte; das mit der Helix werde schiefgehen, glaubten die Amerikaner. So etwas hatte noch niemand versucht. Aber es ist nicht schiefgegangen.

VON WIEBKE HOLLERSEN

TerraSAR-X und TanDEM-X fliegen etwa 15 Runden jeden Tag, und mit ihrer Hilfe kann Alberto Moreira die Erde präziser sehen, als sie je ein Mensch gesehen hat. Die Oberfläche des Planeten in 3-D. Das neue Bild der Erde ist nun beinahe komplett. „90 Prozent der Landmasse haben wir bereits verarbeitet“, sagt Moreira. Die Gebirgsketten des Himalaja fehlen, einige Flächen der Antarktis und kleinere Inseln im Pazifik. Spätestens im Herbst sollen auch sie zu betrachten sein, jeder Faltenwurf der Berge, jedes Eisfeld, jede Palme.

Eine komplette Weltkarte in drei Dimensionen. Das gab es noch nie. Die Topografie von 150 Millionen Quadratkilometern haben die Satelliten neu vermessen, auf zwei Höhenmeter genau. Sie haben eine neue Insel wachsen sehen und verborgene Waldabholungen entdeckt. Keine Tunnelbaustelle bleibt für das System unbemerkt, weil es auch feinste Bewegungen im Erdboden registriert, die Satelliten spüren auf, wenn sich Erdgasspeicher füllen oder leeren, sich Reisfelder ausdehnen. Nichts entgeht ihrem Radarblick. Die Daten, die sie zur Erde zurücksenden, sind kostbar – und um ihre Nutzung gibt es auch Streit. Wer in den Besitz der Daten gelangt, kann den Klimawandel genauer verfolgen und Straßen besser planen. Aber auch Landnahmen oder Militäraktionen. Hinzu kommt, dass in der Mission nicht nur öffentliches Geld steckt, sondern auch ein Konzern beteiligt ist.

Tagsüber sieht Alberto Moreira den Flugkörpern bei ihrer Arbeit zu. Er betritt dafür den Kontrollraum des Instituts für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme in Oberpfaffenhofen. Moreira ist Direktor des Instituts, das zum Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) gehört. Der Professor ist der Chefwissenschaftler der Mission.

Im Kontrollraum hängt eine große Leinwand, auf der Moreira den Flug der Satelliten verfolgt. Stimmt der Abstand zwischen den Flugkörpern noch? Ein Fehler von einem Millimeter im All ergibt eine Abweichung von einem Meter auf der Erde. Moreira schaltet nach Kiruna, Nordschweden, nach Inuvik in Kanada, zur Forschungsstation O'Higgins in der Antarktis – drei Orte nah an einem der Pole, dort kommen die Satelliten besonders häufig vorbei, dorthin senden sie die jeweils neuesten Daten.

Moreira arbeitet in seinem Kontrollraum in Oberbayern wie ein moderner Humboldt. Vor mehr als 200 Jahren brach Alexander von Humboldt nach Südamerika auf, um die Welt zu vermessen, bestieg Vulkane mit Barometer, Sextant, Thermometer, Notizblöcken für seine Datenmassen. Moreira hat sich vor dreißig Jahren in die entgegengesetzte Richtung aufgemacht, er zog von Brasilien nach Deutschland, von hier aus konnte er die Erde von oben in den Blick nehmen. Die Datenmassen seiner Mission umfassen 2500 Terabyte. Wie Humboldt verfeinerte Moreira die Messsysteme seiner Zeit auf der Suche nach mehr Präzision. Er hält 15 Patente zu Radar- und Antennensystemen. Moreira hat auch eine Professur für Mikrowellenfernerkundung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Wenn er Probleme lösen muss, fallen ihm die guten Ideen oft beim Joggen oder Schwimmen ein.

Am meisten fasziniert ihn und seine vielen Kollegen auf der Satelliten-Mission, dass die neue, dreidimensionale Weltkarte so genau sei, sagt er. Vor allem, wenn man berücksichtigt, dass die Radarmessung aus so großer Höhe gemacht werde. „Vor 15 Jahren gab es noch Gebiete auf der Venus, die waren besser kartiert als die Erde.“ Ob man sich das vorstellen könne? Die Venus.

Die Mission, mit der Moreira diesen ärgerlichen Rückstand mehr als aufholen will, heißt TanDEM-X. So wie der zweite Satellit, den er ins All entsandt hat wie einen verspäteten Zwillingbruder. Das DEM im Namen steht für „Digital Elevation Measurement“, digitale Höhenmessung. Nur zu zweit ist das zu schaffen. Man braucht zwei Augen, um die Welt um

sich herum in drei Dimensionen zu sehen, und man braucht zwei Satelliten, um die Welt vom All aus in drei Dimensionen zu vermessen. Die Satelliten müssen, wie die Augen, im exakt selben Moment den selben Punkt treffen können. Im Fall der Satelliten mit Radarwellen. Die Flugkörper nähern sich dabei einander bis auf 120 Meter. Sie fliegen nicht parallel, sondern in einer Formation, die an die DNA-Helix erinnert (siehe Infografik). Ein Satellit sendet jeweils, beide empfangen die Signale, die von der Erdoberfläche zurückreflektiert werden. Die Bilder entstehen nicht auf der Netzhaut, sondern im Erdbeobachtungszentrum in Oberpfaffenhofen.

Die Forscher haben die Erdoberfläche in Vermessungsraster aufgeteilt, zwölf mal zwölf Meter groß. Drei bis fünf Minuten arbeiten die Satelliten jeweils im All. Dann müssen sie eine Pause machen. Die Satelliten senden elektromagnetische Wellen mit hoher Leistung, sie laufen schnell warm dabei, auf etwa 50 Grad, die verbrauchte Leistung entspreche dem eines Elektroherds in der Küche, wenn alle Herdplatten eingeschaltet sind, sagt Moreira.

Anders als ein Elektroherd, den man auf der Erde abschaltet, kühlen Objekte im All aber nicht so schnell wieder ab. Es gibt keine Luft, an die sie Wärme abgeben können. In ihrer Kühlpause fliegen die Satelliten um die Erde, für eine Umrundung benötigen sie gut anderthalb Stunden. Dann sind sie wieder an derselben Stelle. Aber die Erde hat sich gedreht. Also nehmen sie ein anderes Gebiet drei bis fünf Minuten lang mit den Radarsensoren ins Visier. Sie fliegen weitere Runden, bis sie wieder dort sind, wo sie die Pause machen mussten. Elf Tage sind vergangen.

Es dauert auf diese Weise ein ganzes Jahr, bis die Erde einmal aufgenommen ist. Es dauert zwei Jahre, wenn man eine Höhengenaugigkeit von zwei Metern

erreichen will. Zwei Meter, das ist gerade mal ein halbes Stockwerk in einem Altbau, so genau ist die Messmethode. Hochgebirge sind das schwierigste. Sie mit der Präzision von zwei Höhenmetern zu messen, dauert drei bis vier Jahre.

Ende 2014 waren die Daten für die 3-D-Weltkarte im Prinzip erfasst, seitdem rechnen die Computer in Oberpfaffenhofen, und Alberto Moreira und seine Kollegen haben auf den Bildern, die dabei entstehen, in der Nähe Japans eine Vulkaninsel wachsen sehen, die nicht auf Karten verzeichnet war. In Chile entdeckten sie einen Gletscher, der an Masse gewinnt, statt abzuschmelzen, in den Regenwäldern Südamerikas spürten sie Abholzungen auf, von denen Behörden nichts ahnten.

Im Jahr 2015 erfüllten Moreira und seine Kollegen Wünsche anderer Wissenschaftler. Das hatten sie auch vorher schon getan, nun konzentrierten sie sich darauf. Sie vermaßen die Strömungen der Weltmeere, die Ausdehnung der Reisfelder in der Türkei, die Geschwindigkeit, mit der Gletscher ihre Eismassen verlieren. Sie ließen die Satelliten noch genauer auf einige Vulkane schauen, den Colima in Mexiko, den Merapi in Indonesien, alle elf Tage, wenn das Duo nach 167 Runden um die sich drehende Erde wieder über demselben Krater angelangt war, maßen sie den Lavafluss. Mehr als 1000 Forscher weltweit arbeiten mit den Daten der Mission.

Seit Beginn dieses Jahres verfeinert Moreira das 3-D-Bild, einige Gebiete der Erde werden nun bis auf einen Meter höhengengau vermessen. Es handelt sich vor allem um Gebiete, an deren Daten besonderes kommerzielles Interesse besteht, sagt Moreira.

Nicht nur Forscher wollen die Höhendaten nutzen. Seit zwei Jahren werden 70 Prozent der Daten vermarktet, der Konzern Airbus verkauft sie an Flughafenplaner, Straßenbauer, Vermessungsämter. In Brasilien wollen Kunden die Abholzung der Wälder überwachen, sagt Moreira. Man kann auf den Aufnahmen aus dem All nicht nur erkennen, ob eine Fläche mit Bäumen bewachsen ist, sondern auch, wie hoch und damit wie alt die Bäume sind, wie dicht sie noch stehen.

Es gibt Dinge, zu denen Alberto Moreira keine Auskunft gibt. Etwa zu dem politischen Streit, der seit Monaten läuft, um die militärische Nutzung und Vermarktung der Daten. Das Bundesverteidigungsministerium will die Höhendaten erwerben und 35 weiteren Staaten anbieten. Eine komplette 3-D-Weltkarte, das klingt nach einem Traum für Militärstrategen. Zudem hat Airbus die Mission zwar zu etwa einem Viertel finanziert, der Großteil des Geldes aber, mehr als 300 Millionen Euro, stammt aus Steuermitteln.

Auch wo der Boden in Deutschland am stärksten schwankt, erfährt man von Moreira nicht. Nehmen die Satelliten dasselbe Gebiet mehrfach auf, lassen sich feinste Schwankungen der Bodenoberfläche vermessen. Mithilfe dieses zweiten Messverfahrens, der differentiellen Interferometrie, bei der auch mit der Überlagerung von Wellen gearbeitet wird, können die Wissenschaftler des DLR vom All aus Verschiebungen des Erdbodens im Millimeterbereich aufspüren; auch das Anschwellen oder Absinken des Bodens. In ehemaligen Bergbaugebieten liegen diese Verschiebungen nicht im Millimeterbereich, sondern weit darüber, es kann passieren, dass sich der Boden in einem Jahr um dreißig Zentimeter bewegt. Wo diese Orte liegen? Keine Auskunft.

Alberto Moreira erzählt aber von Staufen im Breisgau. Bekannt ist, dass Arbeiter, die dort vor einigen Jahren auf der Suche nach Erdwärme bohrten, auf Anhydrit stießen. Das Mineral verband sich mit Wasser zu Gips, bald fand man Risse in den Häusern der historischen Altstadt, manche mussten abgerissen werden. Der Boden unter Staufen schwillt wie ein magischer Pizzateig – die Satelliten registrieren jeden Millimeter. In Harsefeld, Niedersachsen, hebt und senkt er sich, je nachdem, wie voll der Erdgasspeicher in der Nähe des Ortes gerade ist.

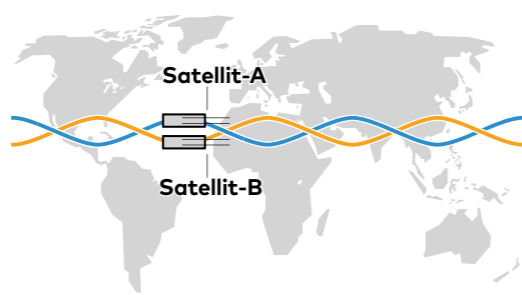
In Zukunft sollen Bewegungen des Bodens global beobachtet werden, am besten wöchentlich. Moreiras neue Vision sind zwei noch modernere Radarsatelliten, die das Klima erforschen und die Umwelt beobachten sollen. Das DLR hat einen Antrag für diese neue Mission beim Bundesforschungsministerium eingereicht – „Tandem-L“. L steht für L-Band, eine Radarwellenlänge von 24 Zentimetern, die tiefer in Wälder und Eisflächen eindringen kann. Kostenschätzung: 660 Millionen Euro.

Die Satelliten der TanDEM-X-Mission sollten fünf Jahre funktionieren, einer ist schon fast doppelt so lange unterwegs. Die Weltraumbedingungen setzen der Elektronik zu, die Leistung der Solarpaneele lässt nach. Der Treibstoff schwindet. Aber noch sind die Batterien bei 70 Prozent Leistung. Wenn diese auf 40 Prozent herabgesunken ist, muss Moreira beginnen, die Satelliten zurückzuholen. Sie sollen nicht im All kaputtgehen und zu Weltraumschrott werden. Ihr letzter Treibstoff ist für den Wiedereintritt in die Erdatmosphäre verplant. „Vielleicht schaffen sie noch eine komplette Aufnahme der Erde in 3-D“, sagt Alberto Moreira. Es gebe doch so vieles, was über die Erde und ihre Dynamik noch zu erforschen wäre, sagt der Mann, der jeden Tag in ihre unbekanntesten Winkel schaut.



Alberto Moreira leitet die TanDEM-X-Mission

So fliegt das Satelliten-TanDEM-X

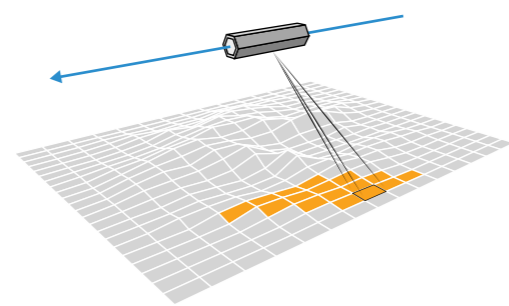


Die Umlaufbahnen der Satelliten sind wie die Stränge einer Doppelhelix gegeneinander verdreht. Die Bahnen sind über dem Äquator horizontal und über den Polen vertikal versetzt. Dadurch kreuzen sie sich nie.

Messverfahren

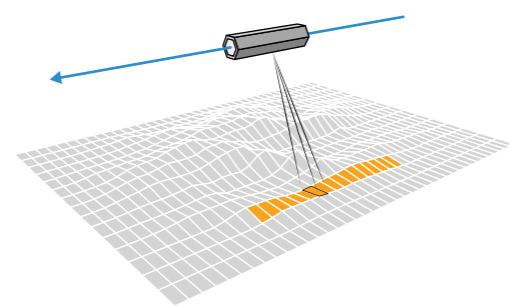
Scan Mode

ein 100 Kilometer breiter Streifen, unterteilt in Spots, mit einer Auflösung von 16 Metern



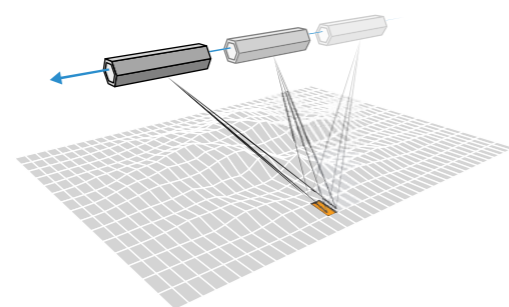
Stripmap Mode

ein 30 Kilometer breiter Streifen mit einer Auflösung zwischen 3 und 6 Metern

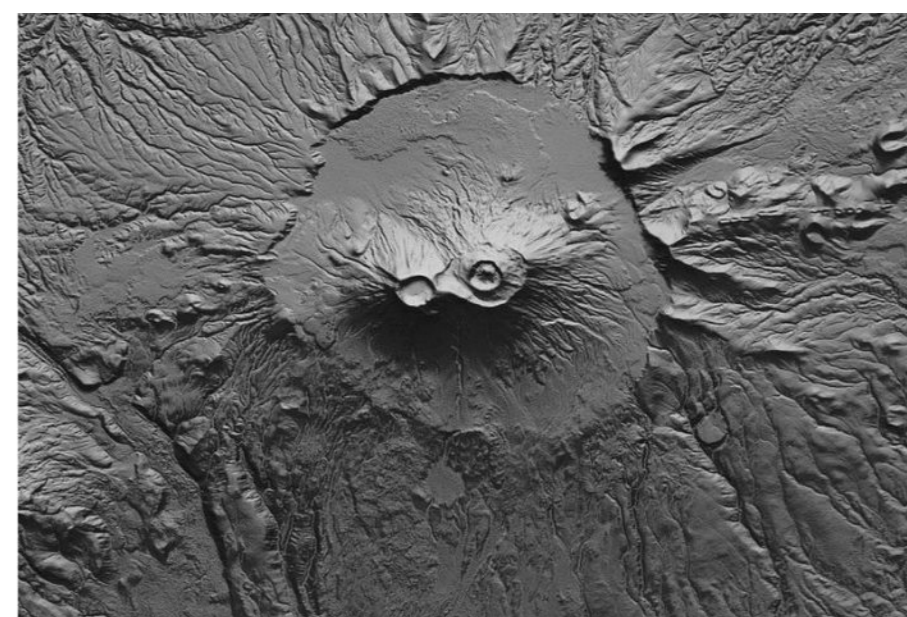


Spotlight

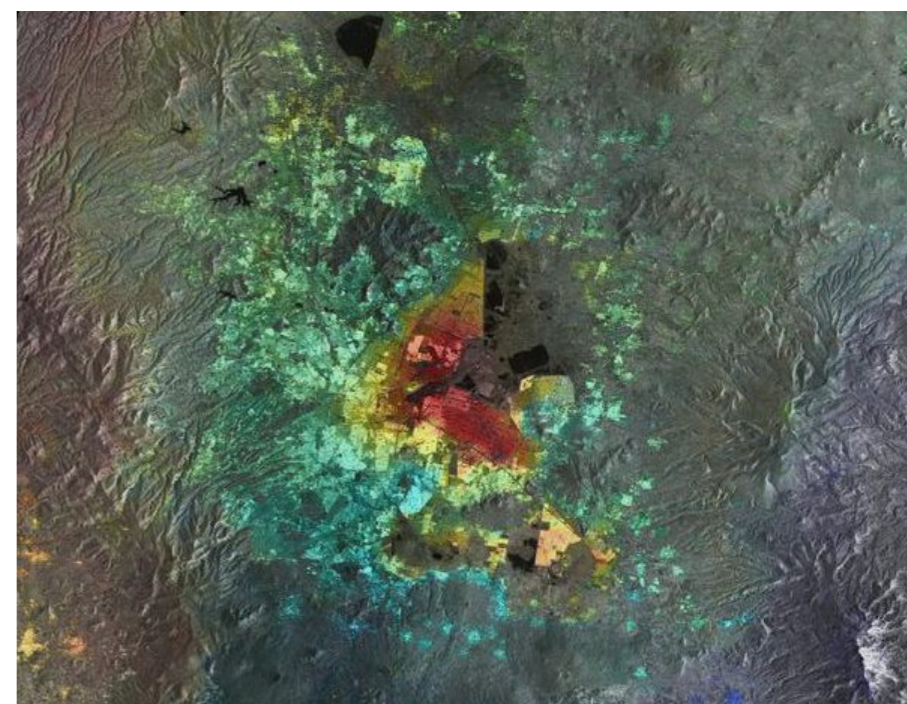
ein 10 x 10 Kilometer großes Gebiet mit einer Auflösung von 1 bis 2 Metern



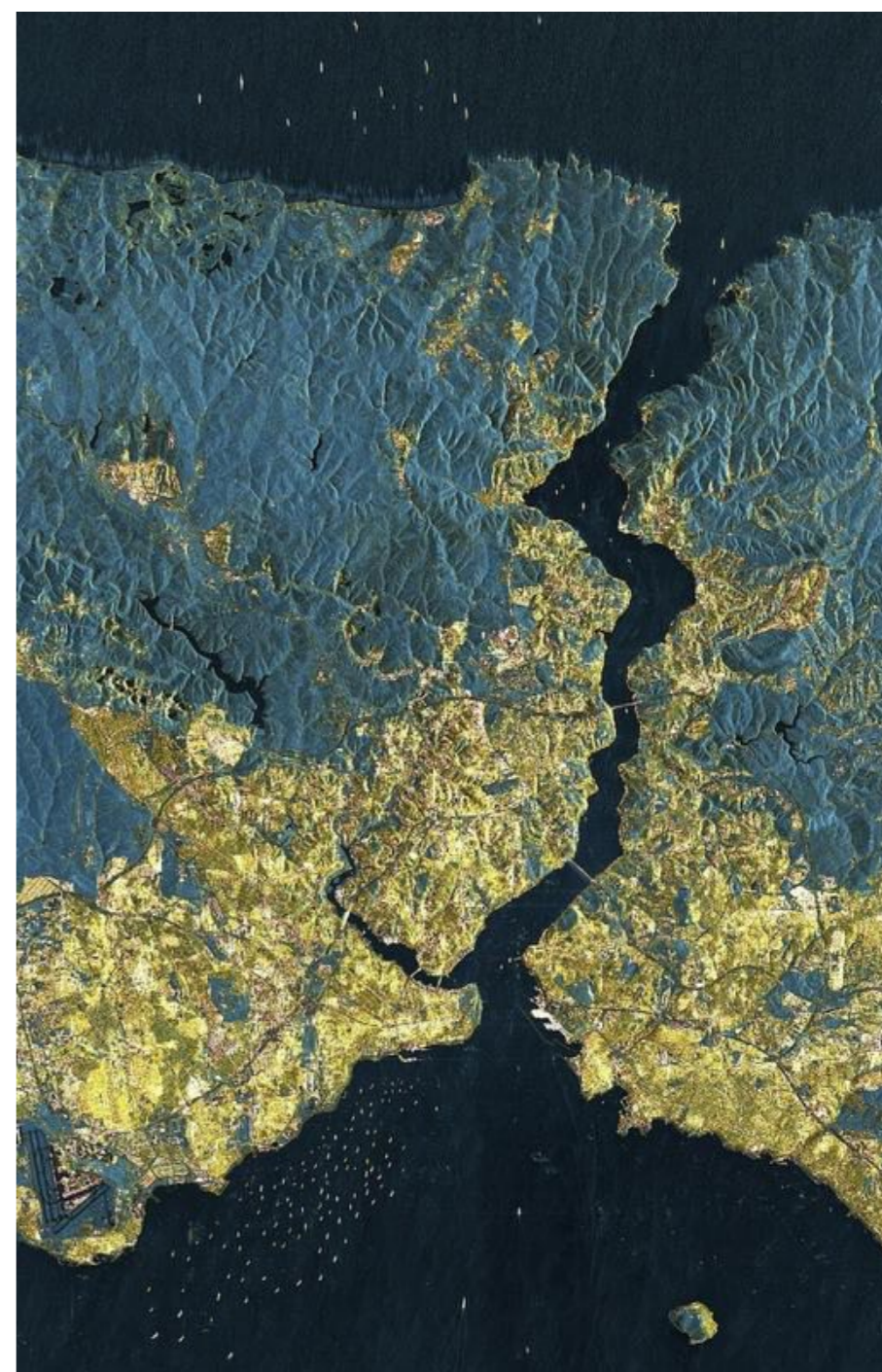
Quelle: DLR



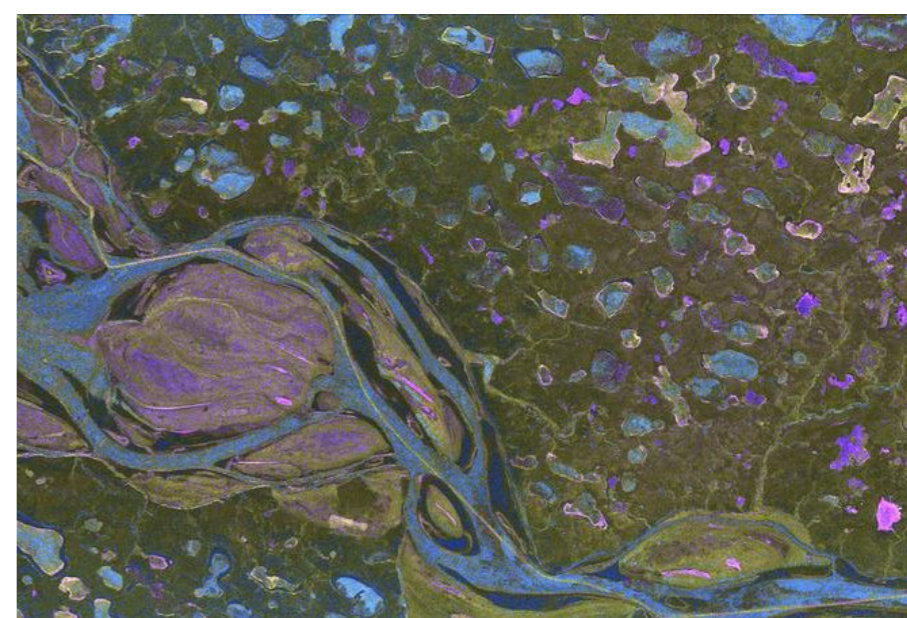
Kamtschatka: Die Reliefkarte zeigt einen Vulkan auf der russischen Halbinsel



Mexiko-Stadt: In nur vier Monaten senkte sich der Erdboden unter der Metropole um bis zu zehn Zentimeter. In den rot gefärbten Gebieten wurden die stärksten Absenkungen gemessen. Ursache sind unter anderem Grundwasserentnahmen



Istanbul: Ein Blick auf die 15-Millionen-Metropole. Selbst die Boote auf dem Bosphorus sind zu erkennen



Mackenzie River unter Schnee: Die Farbnuancen im Verlauf des Flusses im Nordwesten Kanadas lassen Rückschlüsse auf Eisbildung und Untergründe zu