



DLR

German
Space Agency
at DLR

ERDBEOBACHTUNG EARTH OBSERVATION

Unseren Planeten erkunden, vermessen und verstehen
Discovering, Surveying, and Understanding Our Planet

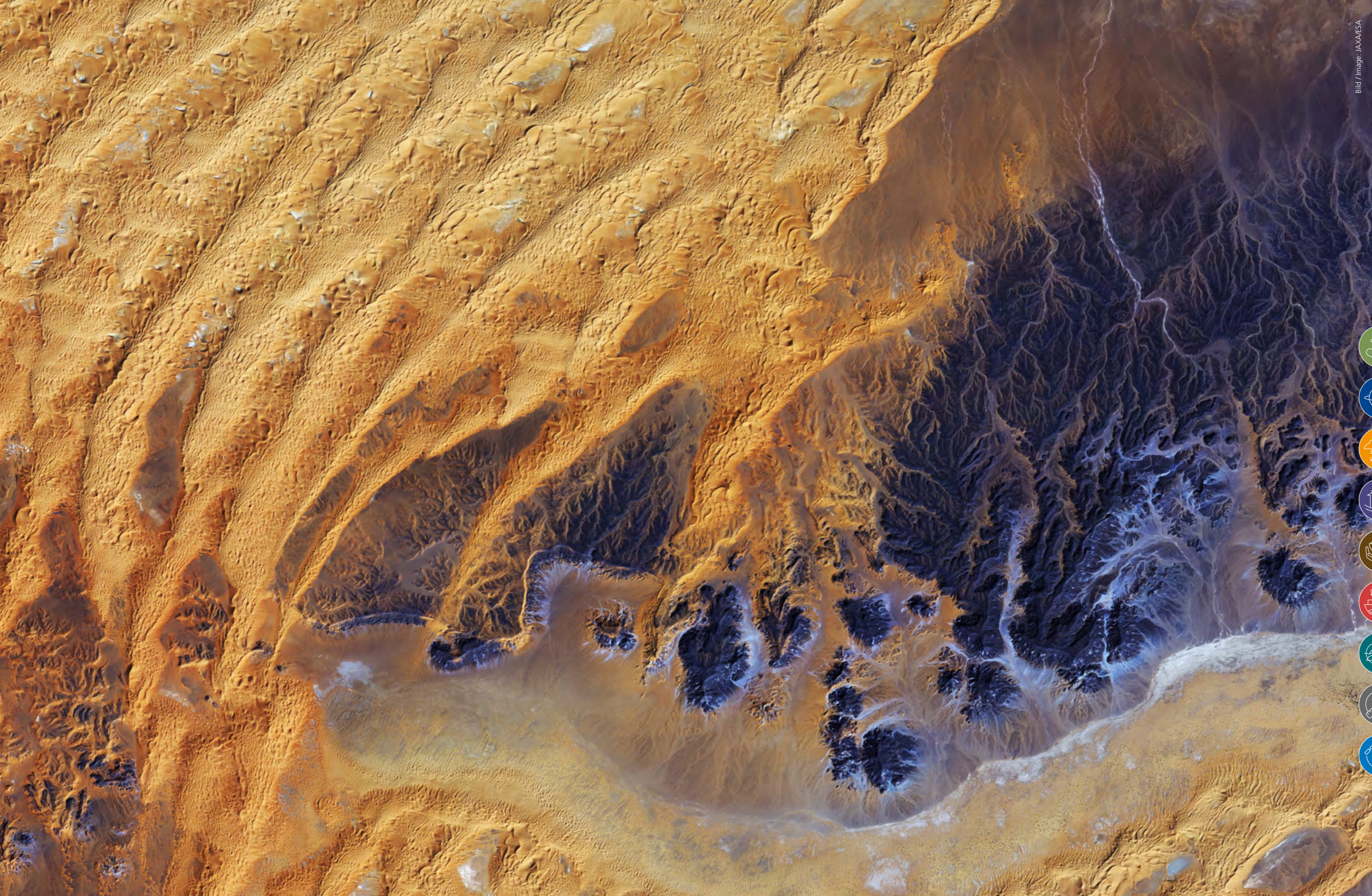


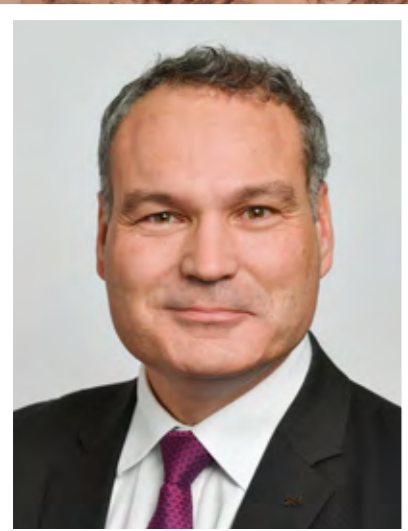
Bild / Image: JAXA/ESA

Inhaltsverzeichnis

Table of contents

Editorial von Dr. Walther Pelzer, Vorstandsmitglied des DLR und Leiter der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR	04
Editorial from Dr Walther Pelzer, Member of the DLR Executive Board and Director General of the German Space Agency at DLR	
Grußwort von Dr. Anna Christmann, Koordinatorin der Bundesregierung für die Luft- und Raumfahrt im Bundes- ministerium für Wirtschaft und Klimaschutz	06
Welcoming address from Dr Anna Christmann, Federal Government Coordinator of German Aerospace Policy at Federal Ministry of Economic Affairs and Climate Action	
Umwelt- und Naturschutz Environmental protection and nature conservation	08
Klimawandel Climate change	16
Wetter vorhersagen Weather forecasting	26
Katastrophen bewältigen Dealing with disasters	34
Landwirtschaft präzisieren – Welternährung sichern helfen Precision agriculture for securing global food supplies	44
Verkehr sichern Safeguarding transport	50
Bodenschätze finden – Bergbauschäden überwachen Finding mineral resources and monitoring the effects of mining	56
Erde vermessen – Veränderungen erfassen Observing Earth – monitoring changes	62
Die Satellitenflotte The satellite fleet	68
Impressum Imprint	82





Blaue Pracht im Roten Meer: Bilder des europäischen Satelliten Sentinel-2 machen Algenblüte und Korallenriffe aus 800 Kilometern Höhe sichtbar. Algen wandeln in etwa gleich viel CO₂ in Sauerstoff wie Bäume. Damit bilden sie neben dem tropischen Regenwald die zweite „grüne Lunge“ unseres Planeten. Im Vergleich zu den Urwaldriesen zeichnen sich die grünen Wasserbewohner dabei durch einen entscheidenden Vorteil aus: Sie wachsen viel schneller.

An amazing view of the Red Sea – images from the European satellite Sentinel-2 make algal blooms and coral reefs visible from an altitude of 800 kilometres. Algae convert about the same amount of CO₂ into oxygen as trees. This makes them the second "green lung" of our planet alongside the tropical rainforest. Compared to the jungle giants, the green water dwellers have a decisive advantage: They grow much faster.

Liebe Leserin, lieber Leser,

unser heutiges Leben erlaubt und verlangt ein viel umfassenderes Wissen über unseren Planeten als noch vor einer Generation: Globaler Wandel, nachhaltige Entwicklung unseres Lebensraums, dosierter Ressourcenverbrauch, Absicherung unserer Mobilität und Stellung im internationalen Wettbewerb um Spitzentechnologie, Bewältigung von Krisensituationen und Minderung der Risiken, die von natürlichen, technologischen und kriminellen Gefahren drohen, stellen uns vor große Herausforderungen. Die Satellitenbeobachtung der Erde kann uns helfen, diese Aufgaben zu meistern. Sie ist heute für Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und uns Bürger von strategischer Bedeutung.

Die derzeitige Satellitentechnik erlaubt es, Gegenstände von unter einem Meter Größe aus 800 Kilometer Entfernung zu erkennen. Verschiedenste Parameter wie etwa die Wasser- und Luftzusammensetzung, der Zustand von Feldfrüchten und Wäldern oder Bodenbewegungen im Millimeterbereich werden genau erfasst. Das deutsche Erdbeobachtungsprogramm bedient das komplette Spektrum dieser Fähigkeiten. Im Bereich der X-Band-Radartechnologie sind die Missionen TerraSAR-X und TanDEM-X weltweit führend. Lidar- und Hyperspektralfernerkundung als wichtige Zukunftstechnologien sind ebenfalls Teil unserer Portfolios. Auch bei den notwendigen Techniken am Boden, die zum Betrieb der Satelliten und für Empfang, Verwaltung und Verteilung der vielen gewonnenen Daten an die Nutzer nötig sind, hat Deutschland die Nase vorn.

Viele Aufgaben in der Erdbeobachtung bewältigt Deutschland nicht allein, sondern im Verbund mit unseren europäischen Partnern. Erd- und klimawissenschaftliche Forschungssatelliten setzen wir mit der Europäischen Weltraumorganisation ESA um. Wettersatelliten wie Meteosat werden durch EUMETSAT, die europäische Organisation für meteorologische Satelliten, betrieben. Im Copernicus-Programm gestalten wir mit unseren Partnern der Europäischen Union eine zuverlässige und nachhaltige Erdbeobachtung. Hierfür werden verschiedene Erdbeobachtungssatelliten in Serie eingesetzt, damit jeder

Punkt auf der Erde in der notwendigen Frequenz erfasst werden kann. So können Veränderungen oder Gefahren für Wälder und Ackerflächen sowie für unsere Luft und Gewässer flächendeckend für Europa und die Welt erkannt werden. Deutschland engagiert sich darüber hinaus aber auch in internationalen Netzwerken und Initiativen – zum Beispiel mit den Raumfahrtagenturen der USA (NASA) und Japans (JAXA). Hier werden weltweit koordiniert Daten zur Verfügung gestellt, beispielsweise für große Naturkatastrophen oder den Tropenwaldschutz.

Mit moderner satellitengestützter Erdbeobachtung entstehen neue Anwendungen und Geschäftsmodelle. Ein Markt, der nicht zuletzt jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Ingenieurinnen und Ingenieuren sowie Unternehmen Chancen eröffnet und zu Wirtschaftswachstum und der Schaffung attraktiver Arbeitsplätze beiträgt. Schon heute treiben die kleinen und mittleren Unternehmen die Wertschöpfungskette der Erdbeobachtung an.

Deutschland spielt aufgrund seiner großen Erfahrung, seines Know-hows, seiner internationalen Verflechtungen, aber auch seiner Infrastruktur auf dem Feld der Erdbeobachtung eine führende Rolle. Die vorliegende Broschüre gibt einen Überblick über das deutsche Engagement in der Entwicklung und Nutzung von Erdbeobachtungstechnologien.

Ihnen nun viel Spaß beim Lesen

Ihr Dr. Walther Pelzer

DLR-Vorstandsmitglied und Leiter der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR

Dear reader,

Today we know a great deal more about our planet than we did a generation ago. Global change, the sustainable development of our habitat, careful use of resources, ensuring our mobility and our position amid the international competition for cutting-edge technology, coping with crisis situations, and minimising the risks that arise from technological and criminal threats all pose major challenges. Satellite-based Earth observation can help to address these. Today, it is strategically important for governments, the economy, the science community, and citizens.

Present-day satellite technology enables objects under one metre across to be identified from an altitude of 800 kilometres. In addition, parameters such as the composition of the water and air, the condition of agricultural crops and forests, as well as ground movements in the millimetre range can be recorded with precision. Germany's Earth observation programme covers the entire spectrum of these capabilities. The TerraSAR-X and TanDEM-X satellites are world leaders in the field of X-band radar technology. Lidar and hyperspectral remote sensing are important pioneering technologies and are also part of our portfolio. Germany is also a leader in the ground technologies required on the ground to operate these satellites and to receive, manage and distribute the large volume of data obtained to the users.

Germany does not undertake all of its Earth observation tasks alone, but does so in cooperation with its European partners. We operate Earth and climate research satellites together with the European Space Agency (ESA). Weather satellites such as Meteosat are run by the European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT). In the Copernicus programme, we are working with our European Union partners to implement reliable and long-term Earth observation. Various satellites are deployed in series for this purpose, allowing every point on Earth to be surveyed repeatedly and frequently enough to detect changes or threats to forests, farmland, air and water across Europe and the rest of the world. Germany

is also involved in international networks and initiatives, e.g. with the space agencies of the USA (NASA) as well as Japan (JAXA). Coordinated data are made available worldwide to assist in the event of major natural disasters or for protecting tropical rainforests.

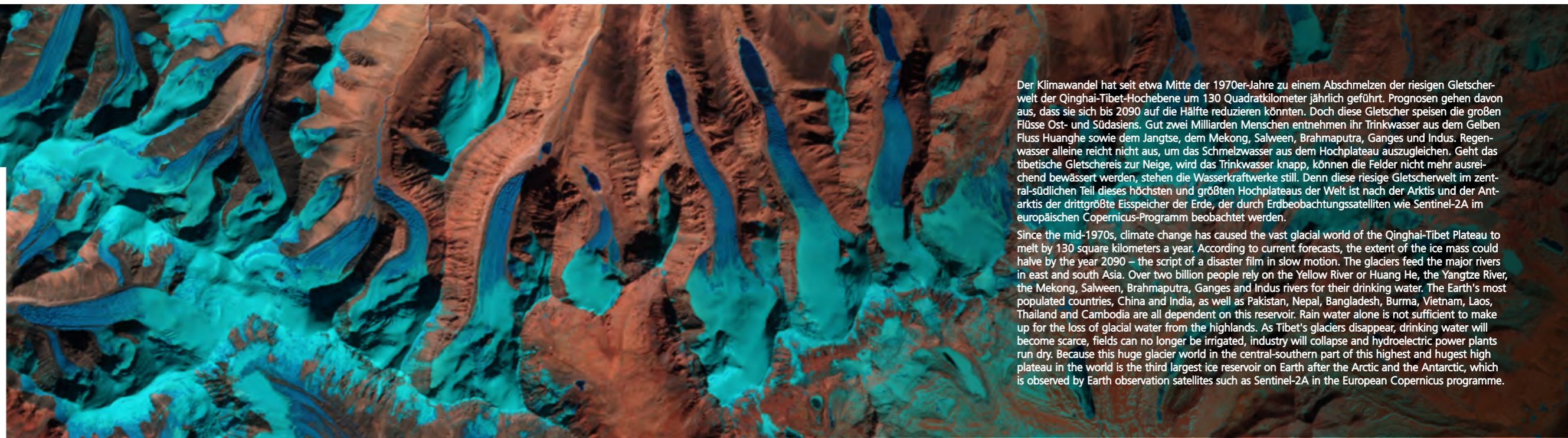
State-of-the-art satellite-based Earth observation is enabling the emergence of new applications and business models – a market that provides opportunities for young scientists, engineers, and companies, while contributing towards economic growth and the creation of attractive jobs. Small and medium-sized enterprises are now advancing the value chain for Earth observation.

Due to its extensive experience, expertise, international connections and infrastructure, Germany plays a leading role in the field of Earth observation. This brochure provides an overview of Germany's involvement in the development and use of Earth observation technology.

We hope you enjoy reading

Yours, Dr Walther Pelzer

Member of the DLR Executive Board and Director General of the German Space Agency at DLR



Der Klimawandel hat seit etwa Mitte der 1970er-Jahre zu einem Abschmelzen der riesigen Gletscherwelt der Qinghai-Tibet-Hochebene um 130 Quadratkilometer jährlich geführt. Prognosen gehen davon aus, dass sie sich bis 2090 auf die Hälfte reduzieren könnten. Doch diese Gletscher speisen die großen Flüsse Ost- und Südasiens. Gut zwei Milliarden Menschen entnehmen ihr Trinkwasser aus dem Gelben Fluss Huanghe sowie dem Jangtse, dem Mekong, Salween, Brahmaputra, Ganges und Indus. Regenwasser alleine reicht nicht aus, um das Schmelzwasser aus dem Hochplateau auszugleichen. Geht das tibetische Gletschereis zur Neige, wird das Trinkwasser knapp, können die Felder nicht mehr ausreichend bewässert werden, stehen die Wasserkraftwerke still. Denn diese riesige Gletscherwelt im zentral-südlichen Teil dieses höchsten und größten Hochplateaus der Welt ist nach der Arktis und der Antarktis der drittgrößte Eisspeicher der Erde, der durch Erdbeobachtungssatelliten wie Sentinel-2A im europäischen Copernicus-Programm beobachtet werden.

Since the mid-1970s, climate change has caused the vast glacial world of the Qinghai-Tibet Plateau to melt by 130 square kilometers a year. According to current forecasts, the extent of the ice mass could halve by the year 2090 – the script of a disaster film in slow motion. The glaciers feed the major rivers in east and south Asia. Over two billion people rely on the Yellow River or Huang He, the Yangtze River, the Mekong, Salween, Brahmaputra, Ganges and Indus rivers for their drinking water. The Earth's most populated countries, China and India, as well as Pakistan, Nepal, Bangladesh, Burma, Vietnam, Laos, Thailand and Cambodia are all dependent on this reservoir. Rain water alone is not sufficient to make up for the loss of glacial water from the highlands. As Tibet's glaciers disappear, drinking water will become scarce, fields can no longer be irrigated, industry will collapse and hydroelectric power plants run dry. Because this huge glacier world in the central-southern part of this highest and hugest high plateau in the world is the third largest ice reservoir on Earth after the Arctic and the Antarctic, which is observed by Earth observation satellites such as Sentinel-2A in the European Copernicus programme.

Liebe Leserinnen und Leser,

betrachtet man unsere Erde aus dem All, dann sieht man vor allem die Farbe Blau. Deswegen hat unser Heimatplanet auch die Spitznamen „Blauer Planet“ und „Pale Blue Dot“ bekommen. Denn sogar aus 6,4 Milliarden Kilometer Entfernung vom Rande unseres Sonnensystems leuchtet noch ein Pixel auf einem Bild von der Voyager-Sonde blau. Es ist die entfernteste Aufnahme, die jemals von unserer Erde gemacht wurde. Aber auch Grün, Weiß, Gelb und Braun gehören zum Farbspektrum der Erde. In den letzten Jahrzehnten weichen Grün und Weiß leider immer mehr Gelb und Braun. Der menschengemachte Klimawandel hat unsere Welt fest im Griff. Die „grüne Lunge“ unseres Heimatplaneten schrumpft kontinuierlich: Regenwälder werden gerodet, abgebrannt und zu Sojaplantagen und Rinderweiden umfunktioniert, Wälder in der borealen Zone zu Möbeln und Baumaterial verarbeitet. Dort im hohen Norden tauen die Permafrostböden auf und setzen viel Methan frei – ein viel stärkerer Klimakiller als Kohlenstoffdioxid. Mangrovenwälder verschwinden und geben so riesige Küstenstreifen der Erosion preis. Der Lebensraum wichtiger Meeresbewohner wird auf diese Weise vernichtet – genauso wie durch die Zerstörung von Korallenriffen. Gletscher schmelzen viel schneller als gedacht und Wüsten dehnen sich rasant aus.

Wir müssen diese Herausforderungen auf unserem Blauen Planeten mit größter Dringlichkeit lösen. Das sind wir uns und den kommenden Generationen schuldig. Weil es bei den meisten dieser Herausforderungen um riesige Flächen geht, lassen sich alle diese Vorgänge am besten aus der Satellitenperspektive beobachten. Rodungen können ebenso wie Waldschäden bequem aus dem All überwacht werden. Satelliten helfen so zum Beispiel den Förstern bei der Waldinventur. Auch der der Pflanzenstoffwechsel kann großflächig aus dem All untersucht werden, um zu erkennen, welchen Gebieten bestimmte Nährstoffe fehlen oder welche Luftschadstoffe den Pflanzen zusetzen.

Durch die Informationen aus dem All können trotz sich verändernder Klima- und Umweltbedingungen Wälder und Felder künftig ökonomischer und ökologisch nachhaltiger bewirtschaftet werden.

Wir können Binnengewässer nach Schad- und Trübstoffen absuchen. Satelliten beobachten die Eisschmelze und den Meeresspiegel ebenso genau wie die fortschreitende Desertifikation oder den Rückgang der Korallenriffpopulation. Mit Erdbeobachtungssatelliten können aber auch die Temperaturen der Land- und Meeresoberfläche erhoben und Treibhausgas-Emissionen weltweit einfach aus dem All überwacht werden. So leistet die Raumfahrt einen wichtigen Beitrag zum Pariser Klimaschutzabkommen. Satelliten liefern aber auch unverzichtbare Informationen zu nachhaltiger Entwicklung, humanitärer Hilfe, Ernährungssicherheit und zum Gesundheitszustand der Ozeane. Diese Satelliten sind effektiver Klimaschutz und damit auch ein wichtiger Bestandteil des European Green Deal. Gleichzeitig leistet die Raumfahrt wichtige Beiträge zur Hunger- und Armutsbekämpfung sowie zum Katastrophenschutz.

Denn durch den Klimawandel verändert sich auch unser Wetter. Schon jetzt häufen sich Extremwetterereignisse. Uns allen ist die Flutkatastrophe in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz im Sommer 2021 noch in prägender Erinnerung geblieben. Neue Satellitenklassen haben die Wettervorhersage in den letzten Jahren kontinuierlich verbessert und sind aus der modernen Wettervorhersage nicht mehr wegzudenken. Auch beim Katastropheneinsatz leisten sie wichtige Arbeit. Auf der Grundlage von Satellitendaten werden aktuelle Lagekarten erstellt, die den Rettungskräften den richtigen Weg in die Katastrophengebiete weisen. Welche Möglichkeiten die moderne Erdbeobachtung bietet, lesen Sie auf den kommenden Seiten.

Dr. Anna Christmann (MdB)

Koordinatorin der Bundesregierung für die Luft- und Raumfahrt im Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

Dear reader,

if you look at our Earth from space, you see the color blue in particular. That's why our home planet got the nicknames "Blue Planet" and "Pale Blue Dot". Even from a distance of 6.4 billion kilometers from the edge of our solar system, one pixel of an image taken by the Voyager probe still glows blue – the most distant picture ever made of our planet. But green, white, yellow and brown also belong to the color spectrum of the Earth. Unfortunately, in recent decades, green and white have increasingly changed to yellow and brown. Man-made climate change has our world firmly in its grip. The "green lungs" of our home planet are shrinking continuously: rain forests are cleared, burned and converted into soy plantations and cattle pastures, forests in the boreal area are processed into furniture and building materials. There in the far north, the permafrost is thawing and releasing a lot of methane – a much stronger climate killer than carbon dioxide. Mangrove forests are disappearing, leaving vast stretches of coastline exposed to erosion. The habitat of important sea habitants is devastated in this way – just like the destruction of coral reefs. Glaciers are melting much faster than expected and deserts are expanding rapidly.

We must solve these challenges on our blue planet with the highest priority. We owe it to ourselves as well as to future generations. Because most of these challenges involve vast areas, all of these processes are best observed from the satellite perspective. Deforestation can be conveniently monitored from space, as well as forest damage. Satellites help foresters, for example, with the forest inventory. The plant metabolism can also be examined over a large area from space in order to identify which areas are lacking certain nutrients or which air pollutants affect the plants.

Thanks to the information from space, forests and fields can be managed more economically, ecologically and of course more sustainably in the future, despite changing climatic and environmental conditions. We can search inland waters for pollutants and turbidity. Satellites monitor ice melt and seawater levels just as closely as

progressive desertification or the decline in coral reef populations. With Earth observation satellites, however, the temperatures of the land and sea surface can also be recorded and greenhouse gas emissions can be monitored easily from space. In this way, space travel makes an important contribution to the Paris climate protection agreement. However, satellites also provide essential information on sustainable development, humanitarian aid, food security and the health of the oceans. These satellites are effective climate protection and therefore also an important part of the European Green Deal. At the same time, space travel makes important contributions to the fight against hunger and poverty and to disaster control.

Because climate change is also changing our weather extreme weather events are already increasing. The flood disaster in North Rhine-Westphalia and Rhineland-Palatinate in the summer of 2021 is still a formative memory for all of us. New satellite classes have continuously improved weather forecasting in recent years and modern weather forecasting is unthinkable without them. They also do important work in disaster relief. Current situation maps are created on the basis of satellite data, which show the rescue services the right way to the disaster areas. On the following pages you can read about the possibilities offered by modern Earth observation.

Dr. Anna Christmann (Member of the Federal Parliament)

Federal Government Coordinator of German Aerospace Policy at Federal Ministry of Economic Affairs and Climate Action



UMWELT- UND NATURSCHUTZ

Heute messen Satelliten nicht nur eine Vielzahl von Spurenstoffen in der Atmosphäre und überwachen die polaren Eiskappen, sie liefern auch Daten aus unserer alltäglichen Umgebung, unterstützen den Schutz von Lebensräumen wie etwa Flüsse und Seen und tragen zur besseren Information über die Luftqualität bei.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AND NATURE CONSERVATION

Earth observation satellites are used for many purposes. They measure numerous trace substances in the atmosphere and monitor the polar ice caps, provide us with data from our everyday environment, support the protection of habitats such as rivers and lakes, and contribute to better information on air quality.



Umwelt- und Naturschutz

Environmental protection and nature conservation

Vor mehr als 30 Jahren – am 16. September 1987 – wurde das Montreal-Protokoll unterzeichnet. In diesem Abkommen zum Schutz der Ozonschicht haben sich 191 Staaten dazu verpflichtet, die Ozon zerstörenden Fluorchlorkohlenwasserstoffe – besser bekannt als FCKW – nicht länger zu produzieren. Da diese aber eine Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten besitzen, wird sich das Ozonloch über dem Südpol voraussichtlich erst um das Jahr 2060 schließen. Eine ständige Kontrolle ist deshalb unerlässlich.

So beispielgebend der Schutz der Ozonhülle war, so wesentlich ist jedoch auch der Schutz des Lebens auf der Erde vor den tiefgreifenden Veränderungen des Klimas, die im Wesentlichen durch den Menschen hervorgerufen wurden. Das Pariser UN-Klimaschutzabkommen von 2015 war dazu ein Meilenstein in der konkreten Vereinbarung von Zielen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen, um einen weiteren rasanten Anstieg der mittleren Temperatur auf der Erdoberfläche zu vermeiden. Dazu haben schon früh die folgenden Messinstrumente auf Satelliten beigetragen:

Dank der Instrumente GOME an Bord des europäischen Radarsatelliten ERS-2 und SCIAMACHY auf dem bisher größten europäischen Umweltsatelliten Envisat konnten Wissenschaftler die Entwicklung der globalen Ozonschicht und insbesondere des Ozonlochs seit 1996 ununterbrochen verfolgen.

In eingeschränkter Form hat das Instrument GOME-2, das bereits seit 2006 auf dem Wettersatelliten MetOp-A aktiv ist, diese Aufgabe übernommen. Die baugleichen Satelliten MetOp-B und -C werden die Messungen bis ins Jahr 2023 fortsetzen. Die europäischen Copernicus-Missionen Sentinel-4 und -5 werden anschließend die reguläre Überwachung des Ozonlochs langfristig übernehmen, wobei als Vorläufer Sentinel-5 Precursor seit Oktober 2017 mit einer wesentlich höheren räumlichen Auflösung als die Vorgängermissionen die Lücke zum Emissions-Monitoring schließt. Deutschland ist der größte Partner im Copernicus-Erdbeobachtungsprogramm von EU und ESA.

Auch wie Umweltschutzmaßnahmen wirken, konnte bereits SCIAMACHY zeigen. Stickstoffdioxid (NO_2) entsteht bei Verbrennungsprozessen vor allem in Kraftwerken und im Straßenverkehr. Durch Messungen ließ sich verfolgen, dass in einigen Gebieten der USA die Umweltbelastung aufgrund emissionsmindernder Maßnahmen an Kraftwerken zwischen 1999 und 2006 punktuell um bis zu 35 Prozent zurückging. Im Mittelwert blieb die Belastung in den USA allerdings etwa konstant. In Europa dagegen sank die Belastung durch NO_2 auch im Mittelwert stetig. Aufstrebende Länder, insbesondere China, verzeichnen jedoch eine starke Zunahme von Stickstoffdioxid.

Die Abbildungen zeigen jeweils Ozonloch-Messungen mit dem Satelliteninstrument GOME-2 Anfang Oktober in den Jahren 2008, 2011, 2014 und 2017. Im Jahr 2017 war das Ozonloch so klein wie selten seit den 1980er Jahren, auch der Unterschied zum Jahr 2008 ist deutlich erkennbar.

The figures show ozone hole measurements with the GOME-2 satellite instrument in early October in each of the years 2008, 2011, 2014 and 2017. In 2017, the ozone hole was the smallest it has been since the 1980s, and the difference to 2008 is also clearly visible.

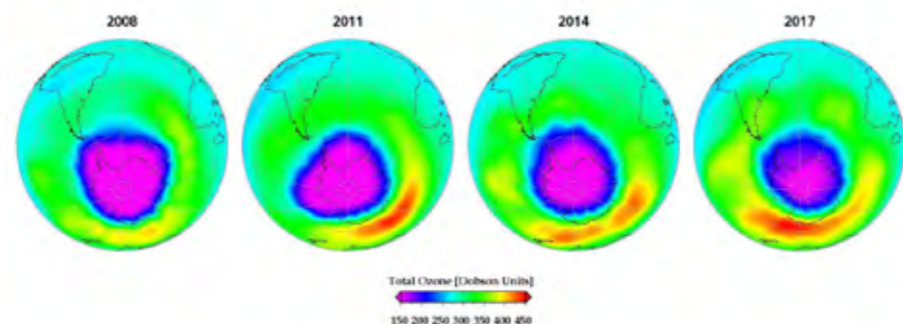


Bild / Image: DLR

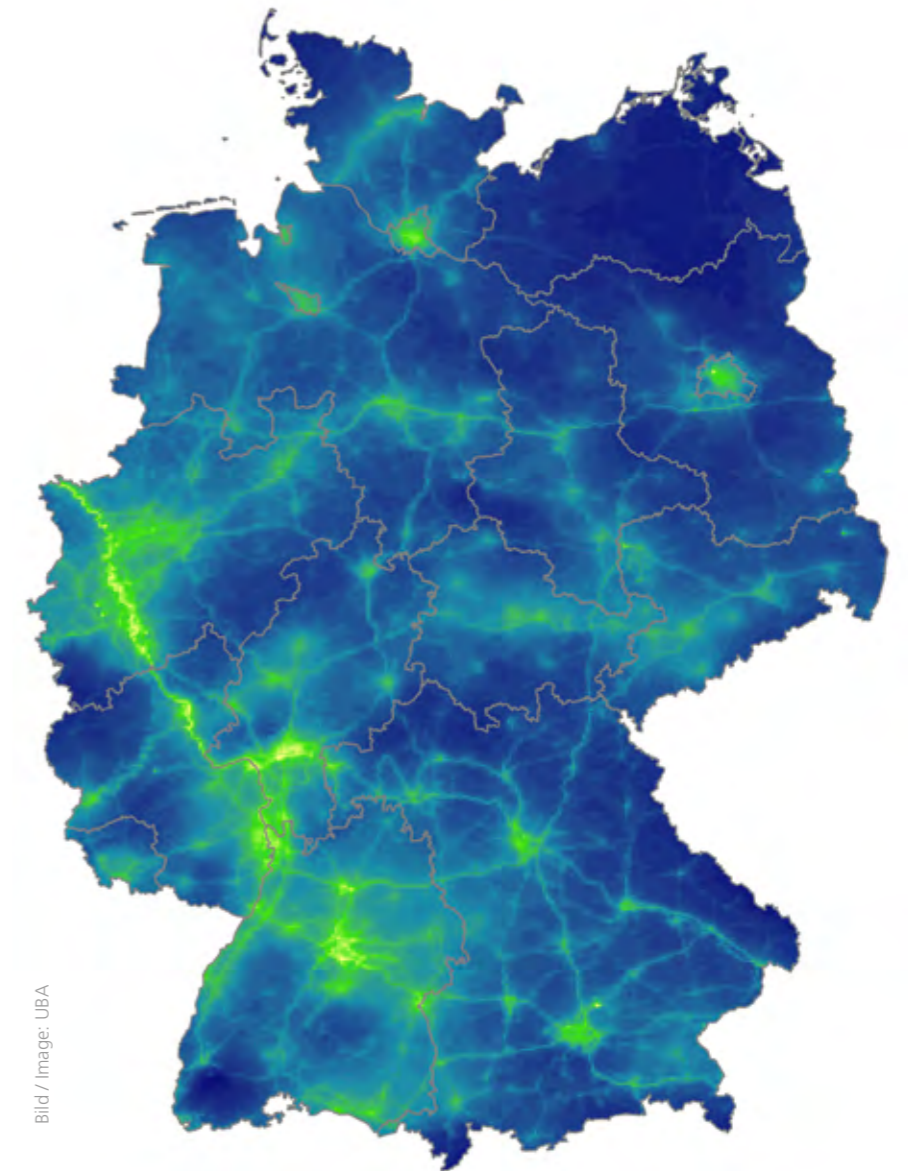


Bild / Image: UBA

Die Karte zeigt die Stickstoffdioxid-Belastung (gelb = hoch, grün = mittel, blau = niedrig) in Deutschland im Jahr 2015. Deutlich zu erkennen sind die hohen Belastungen in Großstädten wie Berlin, Hamburg oder der Metropolregion Rhein-Ruhr, die unter anderem durch den Verkehr verursacht werden.

The map shows nitrogen dioxide concentration (yellow = high, green = medium, blue = low) in Germany in 2015. The high concentration levels in large cities such as Berlin, Hamburg or the Rhine-Ruhr metropolitan region, which are caused by traffic, among other things, can be clearly seen.

The Montreal Protocol was signed more than 30 years ago, on 16 September 1987. In this agreement to protect the ozone layer, 191 countries pledged to cease production of ozone-depleting chlorofluorocarbons, better known as CFCs. However, as these substances have a lifetime of several decades, the ozone hole over the South Pole is not expected to close until around 2060. Continuous monitoring therefore remains essential.

The ozone layer has thus been protected in exemplary fashion. However, safeguarding life on Earth against climate change, which has largely been brought about by human activities, is equally vital. The Paris Agreement of 2015 was a milestone for the establishment of concrete goals for the reduction of greenhouse gas emissions, in order to prevent a further rapid increase in the average global temperature. The satellite instruments described below have contributed towards achieving the targets.

Using the GOME instrument on board the European radar satellite ERS-2 and SCIAMACHY on Europe's largest satellite to date, Envisat, scientists have been able to continuously monitor the development of the global ozone layer, and the ozone hole in particular, since 1996.

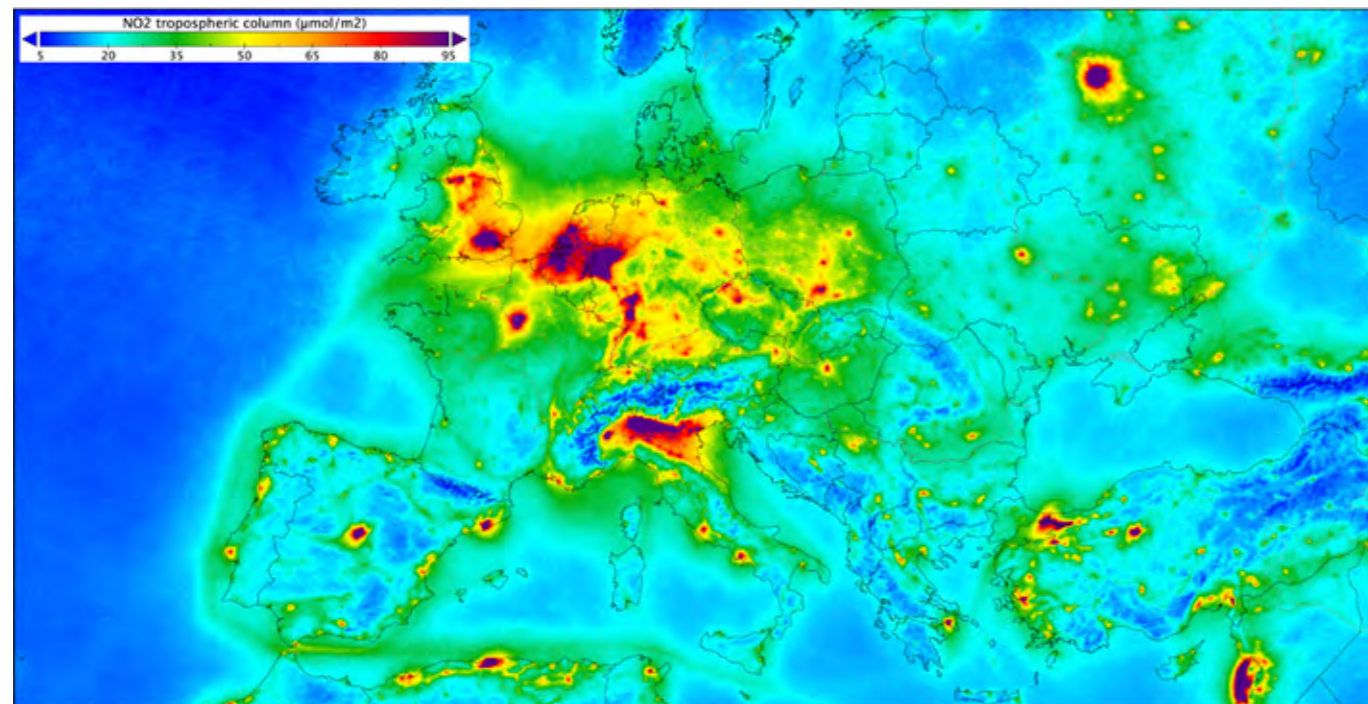
The GOME-2 instrument, which has been operating on the MetOp-A weather satellite since 2006, has taken on this task to a lesser extent. The identical satellites MetOp-B and -C will continue taking these measurements until 2023. The Copernicus Sentinel-4 and Sentinel-5 missions will then take over the regular monitoring of the ozone hole in the long term. The Sentinel-5 Precursor, Sentinel-5P, which has a much higher spatial resolution than its predecessors, has been bridging the gap in emissions monitoring since October 2017. Germany is the largest partner in the Copernicus Earth observation programme of the EU and ESA.

SCIAMACHY has already demonstrated the effectiveness of environmental protection measures. Nitrogen dioxide is produced during combustion processes, primarily in power stations and road vehicles. Studies have shown that in certain areas of the United States, environmental pollution was reduced by up to 35 percent between 1999 and 2006 as a result of emission-reducing measures implemented at power plants. On average, however, pollution in the USA remained more or less constant. In Europe, by contrast, average nitrogen dioxide levels decreased steadily. Meanwhile, emerging countries, especially China, are experiencing a sharp increase in nitrogen dioxide levels.

Der Ausfall des ESA-Umweltsatelliten Envisat im Frühjahr 2012 hinterließ eine große Lücke. Die Copernicus-Missionen der Serien Sentinel-4 und Sentinel-5, sollen in den 2020er-Jahren einen Teil der SCIAMACHY-Messungen fortführen. Ein Sentinel-5-Vorläufersatellit (Sentinel-5P) fliegt schon seit dem 13. Oktober 2017 und überbrückt so die Datenlücke. Er liefert tägliche Messungen von Ozon, Stickstoffdioxid, Kohlenstoffmonoxid, Aerosol- und Wolkeneigenschaften mit weit höherer räumlicher Auflösung als seine Vorläufer SCIAMACHY oder GOME-2. Damit können noch präzisere Aussagen zu Umweltbeeinflussungen durch Stickoxide, aber auch durch Schwefeldioxid (Vulkanaktivitäten) abgeleitet werden. Lokale Quellen lassen sich damit erstmals eingrenzen.

Mit steigender räumlicher, zeitlicher und spektraler Auflösung der Satellitenaufnahmen werden diese auch für regionale Anwendungen interessanter. Es ist beispielsweise möglich, Vegetationsarten zu unterscheiden sowie Pflanzenwachstum und Pflanzenzustand zu beurteilen. Damit lassen sich unter anderem Waldbestände oder landwirtschaftlich genutzte Flächen inventarisieren, kranke von gesunden Bäumen unterscheiden, Ernteprognosen erstellen und vieles mehr.

Für die Berichtspflichten von Landes- und Bundesbehörden für Agrar-, Umwelt-, Wasser-, Boden- und Naturschutz-Anwendungen sowie für die Raumplanung gegenüber der EU oder auch den UN-Umweltkonventionen besteht großer Informationsbedarf, der zunehmend mit Satellitenprodukten gedeckt wird. So müssen beispielsweise ausgewiesene Naturschutzflächen, versiegelte oder agrarsubventionierte Flächen in regelmäßigen Abständen neu erfasst werden. Im Copernicus-Programm wird ein europaweiter Landservice betrieben, der solche Datenprodukte in verschiedenen Maßstäben regelmäßig zur Verfügung stellt.



Die Karte zeigt die Luftverschmutzung über Europa basierend auf Messungen der Sentinel-5P-Mission zwischen April 2018 und März 2019. Die rot- bis lilafärbten Flächen haben die höchste Konzentration an Stickstoffdioxid (NO₂). Davon ist insbesondere die Po-Ebene in Norditalien betroffen, die zu den wichtigsten Industriegebieten des Landes gehört. Auch Teile der Niederlande und das Ruhrgebiet im Westen Deutschlands sind stark belastet.

The map shows air pollution over Europe based on measurements from the Sentinel-5P mission between April 2018 and March 2019. The areas coloured red to purple have the highest concentration of nitrogen dioxide (NO₂). This particularly affects the Po Valley in northern Italy, which is one of the country's most important industrial areas. Parts of the Netherlands and the Ruhr area in western Germany are also heavily contaminated.



Bild / Image: contains modified Copernicus Sentinel data (2017), processed by ESA

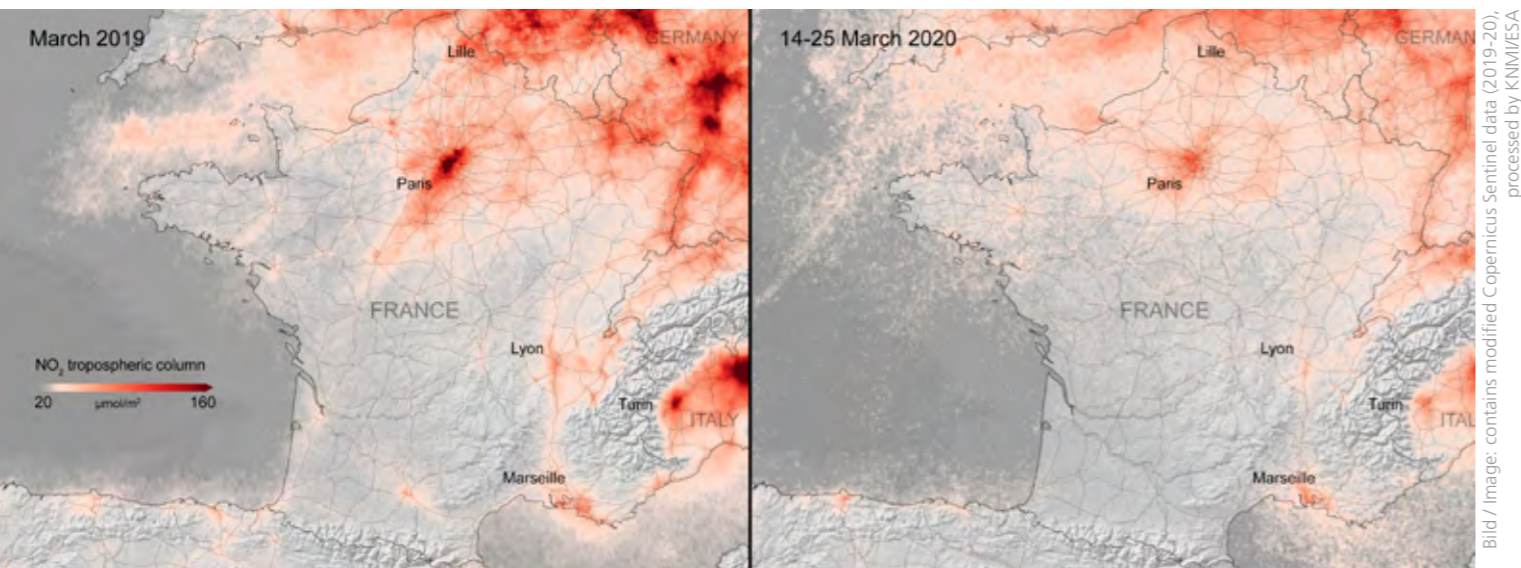
The loss of Envisat in spring 2012 left a major gap. The Sentinel-4 and Sentinel-5 missions of the Copernicus programme should continue with some of the SCIAMACHY measurements in the 2020s. However, Sentinel-5P has been orbiting Earth since 13 October 2017 to bridge the gap in data. It provides daily measurements of ozone, nitrogen dioxide, carbon monoxide, aerosols and cloud properties at a much higher spatial resolution than its predecessors, SCIAMACHY and GOME-2. This allows scientists to make even more precise statements about the environmental effects of nitrogen oxides and sulphur dioxide (which is emitted during volcanic activity). Identifying local sources in the data is possible for the first time.

As the spatial, temporal and spectral resolutions of satellite images increase, they are also becoming more and more relevant for regional applications. For instance, it is now possible to distinguish between different types of vegetation and assess plant growth and condition. Among other things, this means that forests and agricultural land can be inventoried, diseased trees distinguished from healthy ones and harvests predicted.

State and federal authorities have an obligation to report on their compliance with EU and UN environmental conventions on agricultural, environmental, water, soil and nature conservation projects, as well as the planned use of land. This results in a great need for information, which is increasingly being met with satellite data products. For example, designated nature conservation areas, sealed surfaces and subsidised farming areas must be recorded at regular intervals. The Copernicus programme operates a Europe-wide land service which regularly makes such data products available at various scales.

Diese Aufnahme des Copernicus-Satelliten Sentinel-2 vom 29. August 2017 zeigt einen Teil des Yukon-Deltas im US-Bundesstaat Alaska. Der Fluss verzweigt sich am Delta in zahlreiche Flussarme und fließt durch die tiefliegende Ebene bis ins Beringmeer. Die sandige Farbe an der Küste macht sichtbar, wie viel Sediment zu dieser Jahreszeit vom Fluss ins Meer getragen wird. Es wird angenommen, dass die Konzentration von Sedimenten in den letzten Jahrzehnten zugenommen hat. Grund dafür ist der Permafrost, der in den Yukon River taut und der Eisbruch – also dem Abbruch von Gletschern – der infolge der wärmeren Lufttemperaturen immer früher beginnt. Die erhöhten Sedimentkonzentrationen können sich negativ auf das Leben im Wasser auswirken, wenn sie beispielsweise Fischkiemen verstopfen, Laichplätze bedecken oder den Lebensraum von auf dem Grund lebenden Organismen verändern.

This image, acquired by the Copernicus satellite Sentinel-2 on 29 August 2017, shows part of the Yukon Delta in the US state of Alaska. The river branches into numerous branches at the delta and flows through the low-lying plain into the Bering Sea. The sandy colour on the shore makes visible how much sediment is carried by the river into the sea at this time of year. It is assumed that the concentration of sediment has increased in recent decades. This is due to permafrost thawing in the Yukon River and ice calving – the breaking off of glacial ice – which begins earlier and earlier as a result of warmer air temperatures. The increased sediment concentrations can have a negative impact on aquatic life when, for example, they clog fish gills, cover breeding grounds or alter the habitat of bottom-dwelling organisms.



Die Stickstoffdioxid-Messungen (NO₂) von Sentinel-5P zeigen einen Rückgang der Belastung während der COVID-19-Pandemie. Die Mittelwerte der Aufnahmen vom 14. bis 25. März 2020 (rechts) weisen wesentlich weniger NO₂ auf, als das Mittel im März des Jahres 2019.
Nitrogen dioxide (NO₂) measurements from Sentinel-5P show a decrease in concentration during the COVID-19 pandemic. The mean values of the recordings from 14 to 25 March 2020 (right) show significantly less NO₂ than the mean in March of 2019.

Auf nationaler Ebene demonstrieren zahlreiche Beispiele die Anwendungsvielfalt von Copernicus. Für das flächige Monitoring von Binnengewässern bieten die Sentinel-Satelliten einen Datenschatz und neue Möglichkeiten. Alleine aus der Unterelbe werden jährlich 300 Kilotonnen Sediment ausgebaggert, die sie aus ihrem Oberlauf mitbringt – ein voller Güterzug von Düsseldorf bis Stuttgart. Raubfische, Kröten und Krebse wiederum schätzen das trübe Dämmerlicht unter Wasser. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz untersucht die Trübung in den Fließgewässern, da mit den Schwebstoffen auch giftige Schwermetalle, Chlorverbindungen und andere Schadstoffe aus Industrieabwässern und der Landwirtschaft flussabwärts reisen. Gut hundert Messstationen von Bund und Ländern erfassen die Trübung entlang der 4.500 Kilometer deutscher Hauptwasserstraßen. Zu wenig, befanden die Experten und haben im Projekt WasMonCT nachgewiesen, dass man die Wassertrübung auch mit Copernicus-Satellitendaten erfassen kann.

Ein anderes Projekt widmet sich der Luftqualität. Das Umweltbundesamt (UBA) entwickelt einen Luftqualitätsatlas für Deutschland, der die Daten aus dem Europäischen Copernicus-Programm mit Bodenmessungen an rund 500 Standorten bundesweit kombiniert. Die Messstationen liefern die Umgebungswerte mit hoher Genauigkeit, während die Sentinels die Daten aus der Fläche beisteuern. Experten des UBA berechnen daraus die Belastung der Luft für jeden beliebigen Punkt in Deutschland – aufgeschlüsselt nach Feinstaub, Ozon, Stickstoff- und Schwefeldioxid-Konzentration.

Copernicus

Copernicus ist eine gemeinsame Initiative der Europäischen Union (EU) und der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) zur Schaffung eines unabhängigen europäischen Erdbeobachtungssystems. Copernicus trägt dazu bei, das enorme Potenzial der Fernerkundung für gesellschaftliche und politische Belange auszuschöpfen. Es besteht aus sechs Satellitenfamilien, den sogenannten Sentinels, die die Erde und Atmosphäre erfassen und somit wichtige Informationen zum Klimaschutz, nachhaltiger Entwicklung, humanitärer Hilfe, Ernährungssicherheit und zum Gesundheitszustand der Ozeane liefern. Ergänzt werden die Sentinels durch die Daten weiterer nationaler und kommerzieller Missionen sowie durch Messgeräte am Boden, in der Luft und in Gewässern. So entstehen verlässliche Dienste, die Informationsprodukte zu Landoberflächen, der Meeresumwelt, der Atmosphäre und dem Klimawandel sowie zur Unterstützung des Katastrophenmanagements und der zivilen Sicherheit zur Verfügung stellen.

Mit dem Start des ersten Satelliten Sentinel-1A am 3. April 2014 ist das Copernicus-Programm operationell. Die Sentinel-Konstellationen 1A und B, 2A und B, 3A und B sowie 5P sind bereits im Orbit und liefern operationell Daten. Auch Sentinel-6 liefert nach seinem Start Ende 2020 Daten. Sentinel-4 und -5 sollen 2023 folgen.

Inzwischen arbeiten weltweit hunderttausende Wissenschaftler und Fachleute mit Copernicus-Daten, die für jeden frei zugänglich und kostenlos verfügbar sind. Die Nutzung von Copernicus in Deutschland wird durch nationale Maßnahmen gezielt unterstützt. Deutschland ist der größte Partner im europäischen Copernicus-Programm.

At a national level, numerous examples demonstrate the wide range of Copernicus applications. The Sentinel satellites offer a wealth of data and new possibilities for the extensive monitoring of inland waters. Some 300,000 tonnes of sediment are dredged from the Lower Elbe alone every year. This sediment has been brought down from the river's upper reaches – a total mass transfer equivalent to that of a fully loaded freight train measuring the distance from Düsseldorf to Stuttgart. Predatory fish, toads and crabs, however, particularly like the cloudy gloom under water that the sediment provided. The German Federal Institute of Hydrology (Bundesanstalt für Gewässerkunde; BfG) in Koblenz studies the turbidity in running water because toxic heavy metals, chlorine compounds and other pollutants from industrial wastewater and agriculture travel downstream with the suspended solids. Approximately 100 federal and state measurement stations record turbidity along Germany's main waterways, covering some 4500 kilometres. However, the experts say that this is not sufficient and demonstrated in the WasMonCT project that water turbidity can also be measured using Copernicus satellite data.

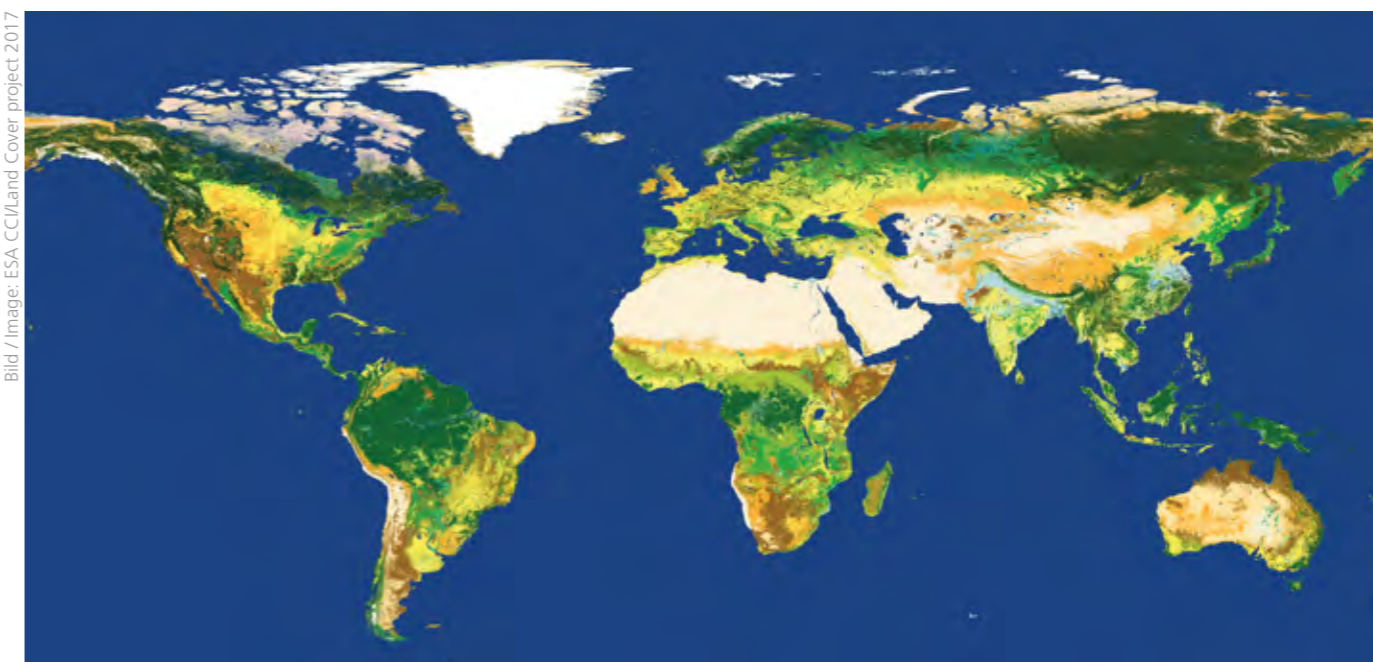
Another project is devoted to air quality. The German Federal Environment Agency (Umweltbundesamt; UBA) is developing an air quality atlas for Germany that combines the data from the European Copernicus programme with ground-based measurements performed at some 500 locations nationwide. The measurement stations deliver local environment values with a high degree of accuracy, while the Sentinels contribute data from the surrounding area. UBA experts use this to calculate the air pollution levels at any given point in Germany, broken down into concentrations of fine particulates, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide.

Copernicus

The Copernicus Programme is a joint initiative of the European Commission and the European Space Agency (ESA) to create an independent European Earth observation system. Copernicus contributes to exploiting the enormous potential of remote sensing to address societal and political issues. It consists of six families of satellites – the Sentinels – which observe Earth and its atmosphere and thus provide information for climate protection, sustainable development, humanitarian aid, food security and the health of the oceans. The Sentinels are supplemented by data from other national and commercial missions, as well as measurement systems on the ground, in the air and on water bodies. This creates reliable services that provide information products for land surfaces, the marine environment, the atmosphere, climate change, support for disaster management and civil security.

The Copernicus Programme became operational with the launch of the Sentinel-1A satellite on 3 April 2014. The Sentinel constellations 1A and B, 2A and B, 3A and B, and 5P are already in orbit and providing operational data. Sentinel-4 and Sentinel-5 are scheduled for launch in 2023. Sentinel-6 is set to launch in 2020.

Meanwhile, hundreds of thousands of scientists and experts worldwide are now working with Copernicus data, which is accessible to everyone free of charge. National measures aimed specifically at supporting the use of Copernicus data have been implemented in Germany, which is the largest contributor to the European Copernicus programme.



Vom Weltraum aus lassen sich Vegetationsunterschiede besonders gut erkennen: Nadelwald erscheint in extremem Dunkelgrün, Laubwald in Dunkelgrün, Grasland in Orange, bewirtschaftetes Ackerland in Gelb, kahler Boden in Hellbeige und verschneite Gegenden in Weiß. So lassen sich aus dem All die Nutzflächen unterscheiden und klassifizieren sowie die Flächengröße bestimmen.

From space, differences in vegetation can be seen particularly well: Coniferous forest appears in extreme dark green, deciduous forest in dark green, grassland in orange, cultivated farmland in yellow, bare ground in light beige and snow-covered regions in white. In this way, farmland can be distinguished and classified from space and the size of the area can be determined.

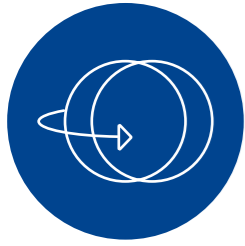


KLIMAWANDEL

Der Klimawandel ist kein Zukunftsszenario, sondern Realität. So ist die atmosphärische Konzentration des Treibhausgases Kohlendioxid seit Beginn der Industrialisierung um 42 Prozent gestiegen. Ursache ist unsere moderne Lebensweise in den Industriegesellschaften: die Verbrennung fossiler Stoffe, die Abholzung von Wäldern und die Massentierhaltung. Treibhausgase in der Atmosphäre vermindern die Abstrahlung von Wärme und führen so zur Temperaturerhöhung. Bei der 21. Klimaschutzkonferenz der Vereinten Nationen (UN) im Dezember 2015 wurde das Klimaschutzübereinkommen von Paris vereinbart, in dem sich die 195 Vertragsstaaten erstmals rechtsverbindlich auf ein Abkommen geeinigt haben. Darin ist festgelegt, dass die durchschnittliche Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C begrenzt werden soll. Damit dieses Ziel erreicht werden kann, müssen die Treibhausgas-Emissionen schnellstmöglich gesenkt werden. Satelliten ermöglichen es, den Wandel global zu erfassen. Ihre im Weltraum gewonnenen Informationen dienen als Grundlage für politische und gesellschaftliche Entscheidungen mit dem Ziel einer nachhaltigen Entwicklung hier auf der Erde.

CLIMATE CHANGE

Climate change is not a future scenario, it is the present-day reality. The concentration of carbon dioxide in the atmosphere has increased by 42 percent since pre-industrial times, and the level is continuing to rise. This is caused by the modern way of life in industrialised societies – the burning of fossil fuels, deforestation, and intensive animal farming. Greenhouse gases in the atmosphere reduce outgoing thermal radiation and thus lead to a rise in temperatures. The Paris Climate Change Agreement was adopted at the 21st United Nations Climate Change Conference of the United Nations (UN) in December 2015. The 195 signatory states accepted a legally binding agreement on this issue for the first time, which stipulated that the global temperature rise this century must be kept well below two degrees Celsius above pre-industrial levels. To achieve this, greenhouse gas emissions must be reduced as quickly as possible. Satellites enable changes to be recorded on a global scale, and the information they acquire serves as a basis for political and societal decisions directed towards ensuring sustainable development here on Earth.




Klimawandel Climate change

Ein Meilenstein in der satellitengestützten Klimaforschung war Europas Umweltsatellit Envisat. Die Instrumente an Bord haben zehn Jahre lang unter anderem Spurengase wie Ozon, Stickoxide und Schwefeldioxid sowie Aerosole in der Erdatmosphäre gemessen. Neben der deutschen Industrie, die führend im Bau des Satelliten und seiner zehn Instrumente war, war auch das DLR zusammen mit seinen niederländischen und belgischen Partnern (NSO und BelSpo) beteiligt an der Bereitstellung des Instruments SCIAMACHY auf dieser Plattform. Mit diesem Spektrometer wurde unter anderem erstmals die weltweite Verteilung der Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄) vom Weltraum aus kartiert. SCIAMACHY zeigte zum Beispiel, wie sich der Wachstumszyklus der ausgedehnten Wälder auf der irdischen Nordhalbkugel im CO₂-Gehalt widerspiegelt: In den Sommermonaten „atmen“ die Wälder CO₂ ein und entfernen es aus der Atmosphäre. Da sie in den Wintermonaten dagegen weniger aufnehmen und es auf der Südhalbkugel weniger Landmasse und daher weniger Wälder gibt, steigt der CO₂-Gehalt wieder an. Das ist ein natürlicher Zyklus.

Die vom Menschen verursachten Emissionen sorgen allerdings dafür, dass der CO₂-Gehalt von Jahr zu Jahr auf immer höhere Werte steigt. Die SCIAMACHY-Messungen, die zehn Jahre lang bis April 2012 durchgeführt wurden, bestätigten diesen Trend. Gleiches gilt für die seit 2009 mit GOSAT – einem japanischen Satelliten – durchgeführten Treibhausgasmessungen. Der globale Kohlenstoffgehalt steigt kontinuierlich an und der dazugehörige Zyklus verändert sich.

Die zentrale Frage beim Klimawandel betrifft genau diesen globalen Kohlenstoffzyklus. Von den auf der Erde freiwerdenden Mengen an CO₂ verbleibt etwa die Hälfte in der Atmosphäre, die andere Hälfte wird in den Ozeanen, im Boden und in der Biosphäre gespeichert. Wer allerdings einmal eine in der Sonne stehende Sprudelflasche geöffnet hat, weiß, dass warmes Wasser weniger CO₂ speichert als kaltes. So ist es unsicher, ob die Speicherfähigkeit in den Meeren erhalten bleibt und ausreicht, wenn immer mehr CO₂ hinzukommt, in großem Umfang Wälder gerodet werden und die mittlere Temperatur der Erde weiter steigt.


CO₂- und CH₄-
Emissionen steigen
ungebremst an
CO₂ and CH₄
emissions rise
unabated

Zeitreihe der durchschnittlichen atmosphärischen Konzentration von Kohlendioxid (CO₂): Das CO₂ stieg in den letzten Jahrzehnten nahezu linear an. Grund dafür sind vor allem fossile Brennstoffe. Die Schwankungen sind durch die jahreszeitliche Veränderung der Stärke natürlicher CO₂-Senken (zum Beispiel Wälder) oder Quellen (zum Beispiel Brände) bedingt.

Time series of the average atmospheric concentration of carbon dioxide (CO₂): CO₂ has increased almost linearly in recent decades. The main reason for this is fossil fuels. The fluctuations are due to seasonal changes in the strength of natural CO₂ sinks (such as forests) or sources (such as fires).

Atmosphärisches Kohlendioxid (CO₂) Satellitenmessung

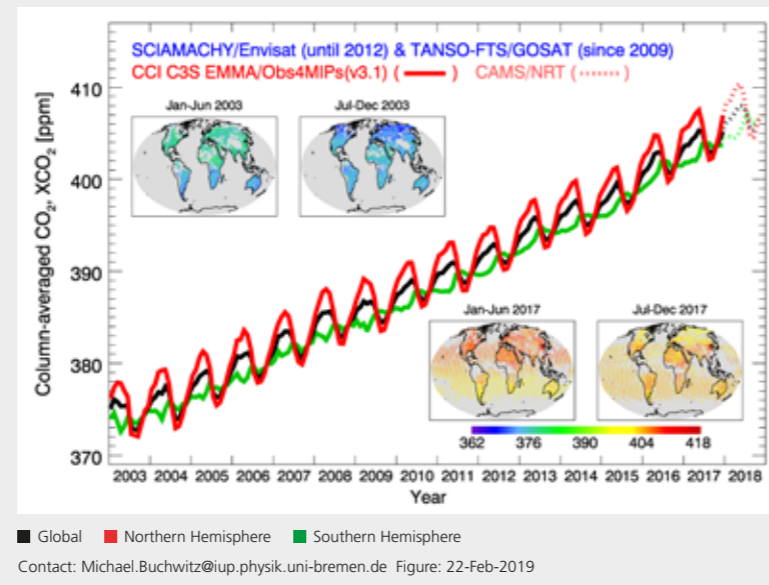


Bild / Image: contains modified Copernicus Sentinel data (2019), processed by ESA



Der Satellit Sentinel-2 hat am 15. Februar 2019 Palmölplantagen in Borneo aufgenommen. Indonesien ist der größte Palmölproduzent – gefolgt von Malaysia. Zusammen machen beide Länder 84 Prozent der weltweiten Produktion aus. Diese ist von 1980 bis 2014 von 4,5 Millionen Tonnen auf 70 Millionen angewachsen – Tendenz steigend.

The Sentinel-2 satellite imaged palm oil plantations in Borneo on 15 February 2019. Indonesia is the largest producer of palm oil, followed by Malaysia. Together, the two countries account for 84 percent of global production. This grew from 4.5 million to 70 million tonnes between 1980 and 2014 – and continues to trend upwards.

Europe's Envisat environmental satellite was a milestone in satellite-based climate research. The instruments on board measured aerosols and trace gases such as ozone, nitrogen oxides and sulphur dioxide in Earth's atmosphere for ten years. Not only was German industry a leader in the construction of the satellite and its ten instruments, but DLR and its Dutch and Belgian partners – the Netherlands Space Office (NSO) and the Belgian Science Policy Office (BELSPO) – also worked together to develop the satellite's SCIAMACHY instrument. Among its numerous tasks, this spectrometer was used to map the global distribution of the carbon dioxide and methane from space for the first time. To give one example, SCIAMACHY showed how the growth cycle of the extensive forests in the northern hemisphere is reflected in changing carbon dioxide levels. During the summer months in the northern hemisphere, the forests 'breathe in' carbon dioxide, removing it from the atmosphere. During winter, however, they absorb less. Since there is less landmass and therefore less forest cover in the southern hemisphere, the carbon dioxide levels rise again. This is a natural cycle. On top of this, anthropogenic emissions are causing carbon dioxide levels to rise from year to year. The SCIAMACHY measurements, which were carried out for ten years up until April 2012, confirmed this trend. The same has been observed with the greenhouse gas measurements that have been carried out since 2009 with GOSAT, a Japanese satellite. Global carbon dioxide levels are continuously increasing, while the seasonal cycle is changing.

The central issue of climate change relates to this global carbon cycle. Approximately half of the carbon dioxide released on Earth remains in the atmosphere, while the other half is stored in the oceans, the soil, and the biosphere. However, anyone who has ever opened a bottle of a fizzy beverage that has been left out in the sunshine will know that warm water stores less carbon dioxide than cold water does. It is unclear whether the storage capacity of the oceans will be maintained and remain sufficient if carbon dioxide levels continue to increase, forests are cleared on a large scale, and the average temperature on Earth continues to rise.

CH₄ erwärmt 25mal stärker als CO₂

CH₄ heats up 25 times more than CO₂



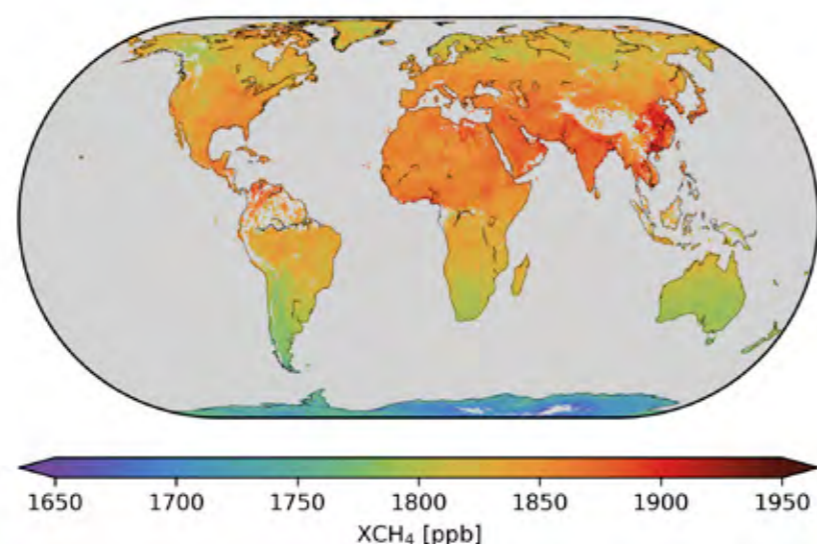
Satellitenmessungen untermauern die Aussage des Weltklimarats, wonach die globale Entwaldung mit 17 Prozent zu den Treibhausgasemissionen beiträgt – mehr als der weltweite Verkehr verursacht. Das internationale Projekt „Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation“ (REDD+) unterstützt im Rahmen der UN-Klimaverträge Erhalt und Ausbau von Wäldern. Viele große Waldgebiete sind schwer zugänglich und so werden die Bestände mit Satellitenaufnahmen überwacht. Gerade in Tropenwäldern ist das wegen der häufigen Bewölkung eine große Herausforderung. Mit den Copernicus-Satelliten Sentinel-1 und vor allem Sentinel-2 stehen dafür hervorragende Beobachtungsinstrumente zur Verfügung. Aber auch der deutsche Satellit TerraSAR-X bietet hierzu ausgezeichnete Möglichkeiten: Er macht Aufnahmen mit hoher räumlicher Auflösung, die insbesondere für Walddegradierungsaspekte sehr wichtig sind. TerraSAR-X besitzt ein wolken durchdringendes Radar, welches gerade in den sehr häufig bewölkten Tropen eine unschätzbare Eigenschaft ist.

Methan hat nach Kohlendioxid den zweitgrößten vom Menschen verursachten (anthropogenen) Anteil an der Klimaerwärmung. Der Weltklimarat bescheinigt Methan sogar ein 25-fach höheres Erwärmungspotenzial. Nur die bislang geringere Emissionsmenge verdrängt Methan auf Rang zwei hinter CO₂. Die anthropogenen Methan-Emissionen, vor allem aus Reisanbau und Viehhaltung, sind stark variabel. Seit der Industrialisierung stieg der Gehalt auf das Doppelte der natürlichen Konzentration an. Methan gelangt aber auch aus Sümpfen oder auftauenden Permafrostböden – den größten natürlichen Methan-Reservoiren der Erde – in die Luft. Tauen im Zuge der globalen Erwärmung die Permafrostböden weiter auf, dann entweicht mehr und mehr Methan in die Atmosphäre und der Klimawandel beschleunigt sich. Das quantitative Verständnis der Quellen und Senken von Methan ist von Bedeutung für die Entwicklung von Modellen zur Klimavorhersage und für die Kontrolle der Reduktion von Treibhausgasen gemäß dem Pariser Klimaabkommen von 2015.

Wie Satelliten dazu beitragen, Modelle zu verbessern, verdeutlichen die Messungen mit SCIAMACHY sehr gut. In diesen Daten sah man erhöhte Methankonzentrationen über Teilen Nord- und Südamerikas, Zentralafrikas, Indiens und Indochinas. Für Indien und Indochina stimmten die Messdaten gut mit den gängigen Atmosphärenmodellen überein. Unerwartet große Abweichungen traten dagegen in Teilen Nord- und Südamerikas und in Zentralafrika auf. Ausgerechnet dort, wo Sumpfgelände und die erhöhte biologische Aktivität der tropischen Regenwälder die ökologische Situation prägen, zeigte sich, dass die bisherigen Modelle verbessert werden mussten.

Die Abbildung zeigt das globale atmosphärische Methan (CH₄), gemessen mit dem Copernicus-Satelliten Sentinel-5P. CH₄ ist nach Kohlendioxid das zweitwichtigste anthropogene Treibhausgas. Wesentliche Quellen sind neben der Viehhaltung die fossile Brennstoffindustrie, Abfalldeponien, Reisanbau und Feuchtgebiete.

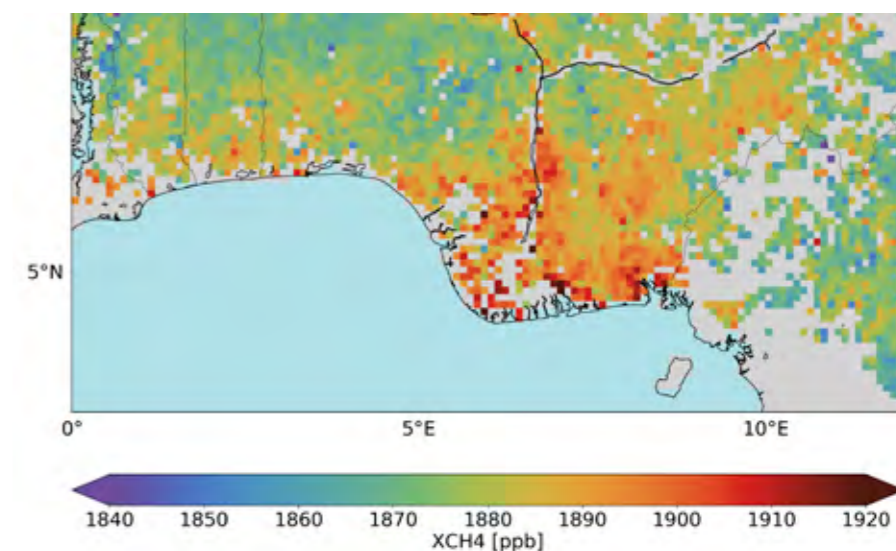
This figure shows global atmospheric methane (CH₄) measured by the Copernicus Sentinel-5P satellite. After carbon dioxide, methane is the second most impactful anthropogenic greenhouse gas. Besides livestock, major sources include the fossil fuel industry, landfills, rice cultivation and wetlands.



Bild/Image: ESA/SRON

Die wichtigste natürliche Quelle von Methan sind Feuchtgebiete, vor allem in den Tropen und in den borealen Breiten. Die Abbildung zeigt die durchschnittliche Konzentration von atmosphärischem Methan über Feuchtgebieten in Nigeria zwischen November 2018 und Februar 2019. Obwohl die Fläche der Feuchtgebiete in den Tropen durch veränderte Niederschlagsmuster wahrscheinlich leicht abnehmen wird, nimmt ihr Methan-Ausstoß aufgrund von steigenden Temperaturen zu. Dieser Rückkopplungseffekt wird den Klimawandel weiter verstärken.

The most important natural source of methane is wetlands, particularly at tropical and boreal latitudes. This figure shows the average concentration of atmospheric methane over wetlands in Nigeria between November 2018 and February 2019. Although the area of wetlands in the tropics is likely to decrease slightly due to changing rainfall patterns, their methane output is increasing due to increasing temperatures. This feedback effect will further amplify climate change.



Bild/Image: ESA/SRON

Satellite measurements substantiate the statement made by the Intergovernmental Panel on Climate Change that global deforestation is responsible for 17 percent of greenhouse gas emissions – more than the amount attributable to transport worldwide. The international project Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+) supports the conservation and expansion of forests within the framework of the UN climate treaties. Many large forest areas are difficult to access, so stocks are monitored using satellite imagery. In rainforests this is a particular challenge due to the frequent cloud cover. The Copernicus satellites Sentinel-1 and Sentinel-2 are well suited for making observations in these conditions. The German satellite TerraSAR-X is also an excellent option, as it acquires images with high spatial resolution, which is particularly important for studying forest degradation. TerraSAR-X uses radar that can penetrate cloud cover, which proves invaluable in the often-cloudy tropics.

After carbon dioxide, methane is the second-largest contributor to anthropogenic global warming. The Intergovernmental Panel on Climate Change has confirmed that methane has 25 times the warming potential of carbon dioxide. Its impacts have only come in second until now due to the lower level of methane emissions. Anthropogenic methane emissions, especially from rice growing and livestock farming, are highly variable. Levels have doubled the natural concentration since industrialisation. However, methane is also released into the air by swampland or thawing permafrost – the world's largest methane reservoirs. If global warming continues to thaw permafrost, more and more methane will escape into the atmosphere, accelerating the rate of climate change. A quantitative understanding of methane sources and sinks is important for the development of climate forecasting models and for monitoring the reduction of greenhouse gases in compliance with the 2015 Paris Climate Agreement.

The measurements performed using SCIAMACHY clearly show how satellites can contribute to improving models. The instrument's data showed elevated methane concentrations over parts of North and South America, Central Africa, India and Indochina. The measurement data for India and Indochina corresponded well with current atmospheric models. However, there were unexpectedly high deviations in parts of North and South America and Central Africa. It became apparent that the previous models needed to be improved in areas where marshland and the increased biological activity found in tropical rainforests shape the environmental situation.

Eine extreme Hitzewelle hat Europa im Juli 2019 getroffen. Deutschland, Belgien und die Niederlande meldeten die höchsten, jemals gemessenen Temperaturen, die jeweils über der 40°C-Marke lagen. Der Copernicus-Satellit Sentinel-3 misst diese Temperaturen nicht über die Lufttemperatur sondern über die abgestrahlte Wärmestrahlung unseres Planeten und erstellt damit eine Karte der wirklichen Landtemperatur.

An extreme heatwave hit Europe in July 2019. Germany, Belgium and the Netherlands reported their highest temperatures ever measured, each above the 40-degree-Celsius mark. The Copernicus Sentinel-3 satellite measures these temperatures via the heat radiated from our planet rather than via air temperatures and thus creates a map of the real land temperature.

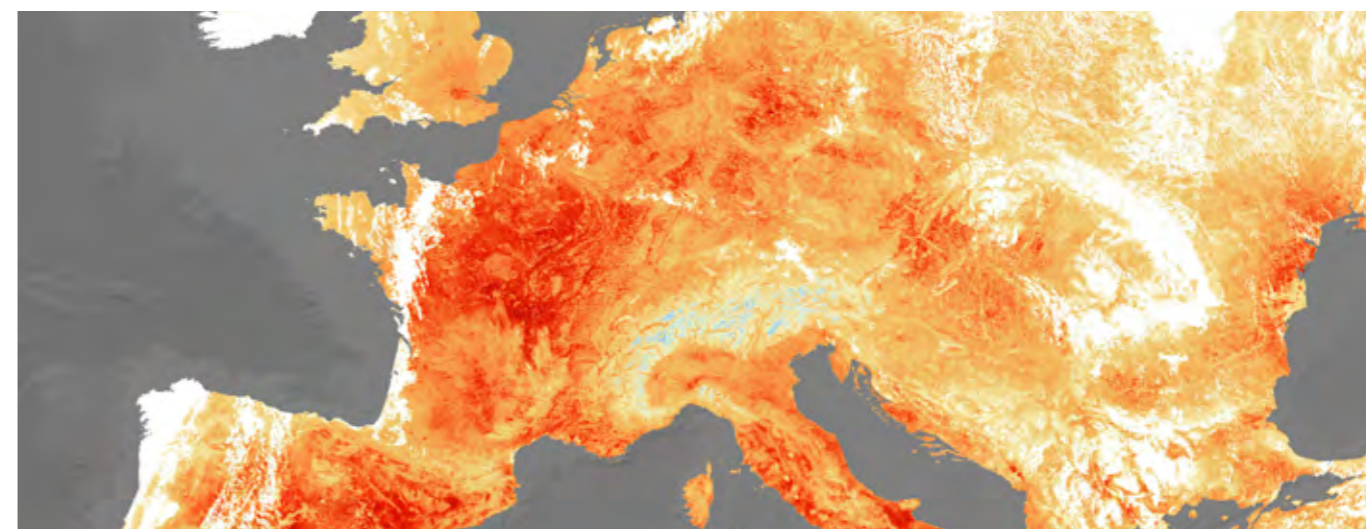
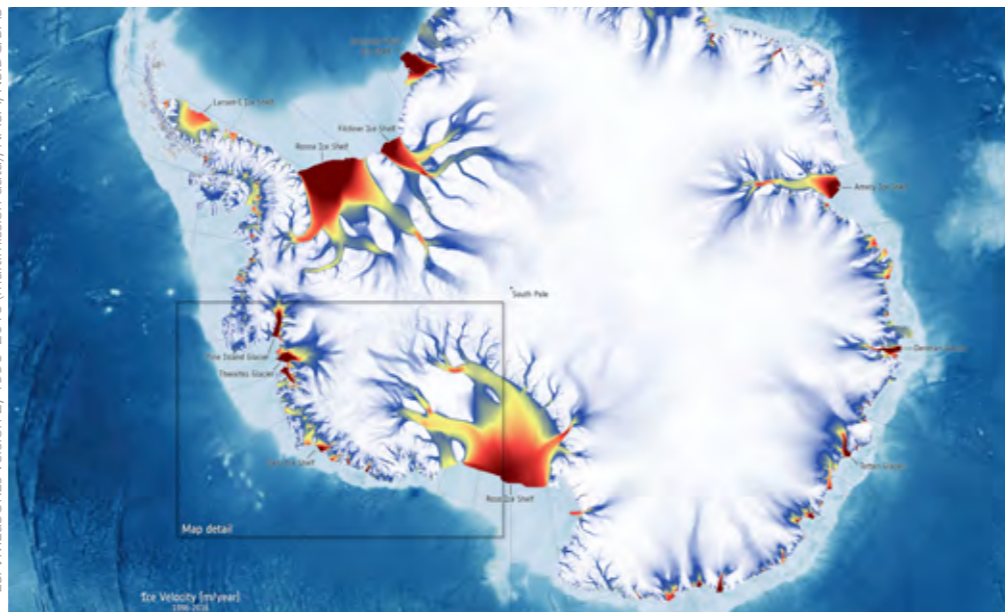
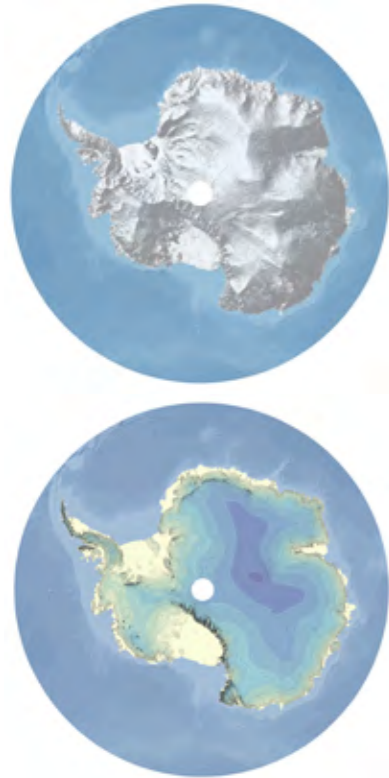


Bild / Image: contains modified Copernicus Sentinel data (2019)



Dieses Bild zeigt die unterschiedlichen Geschwindigkeiten des Gletscherflusses in der Antarktis zwischen 1996 und 2016. Durch neuere Forschungen haben Wissenschaftler entdeckt, dass Gletscher in der Getz-Region (dargestellt innerhalb des schwarzen Rechtecks) ihren Fluss in Richtung Ozean beschleunigen. Zwischen 1994 und 2018 beschleunigten alle 14 Gletscher in Getz im Durchschnitt um fast 25 Prozent, drei Gletscher um über 44 Prozent. Daten von mehreren Missionen (ALOS, Envisat, ERS-1, ERS-2, Landsat-8, Radarsat-1, Radarsat-2, Sentinel-1A, TDX, TSX) wurden verwendet, um diesen Gletscherfluss zu messen.

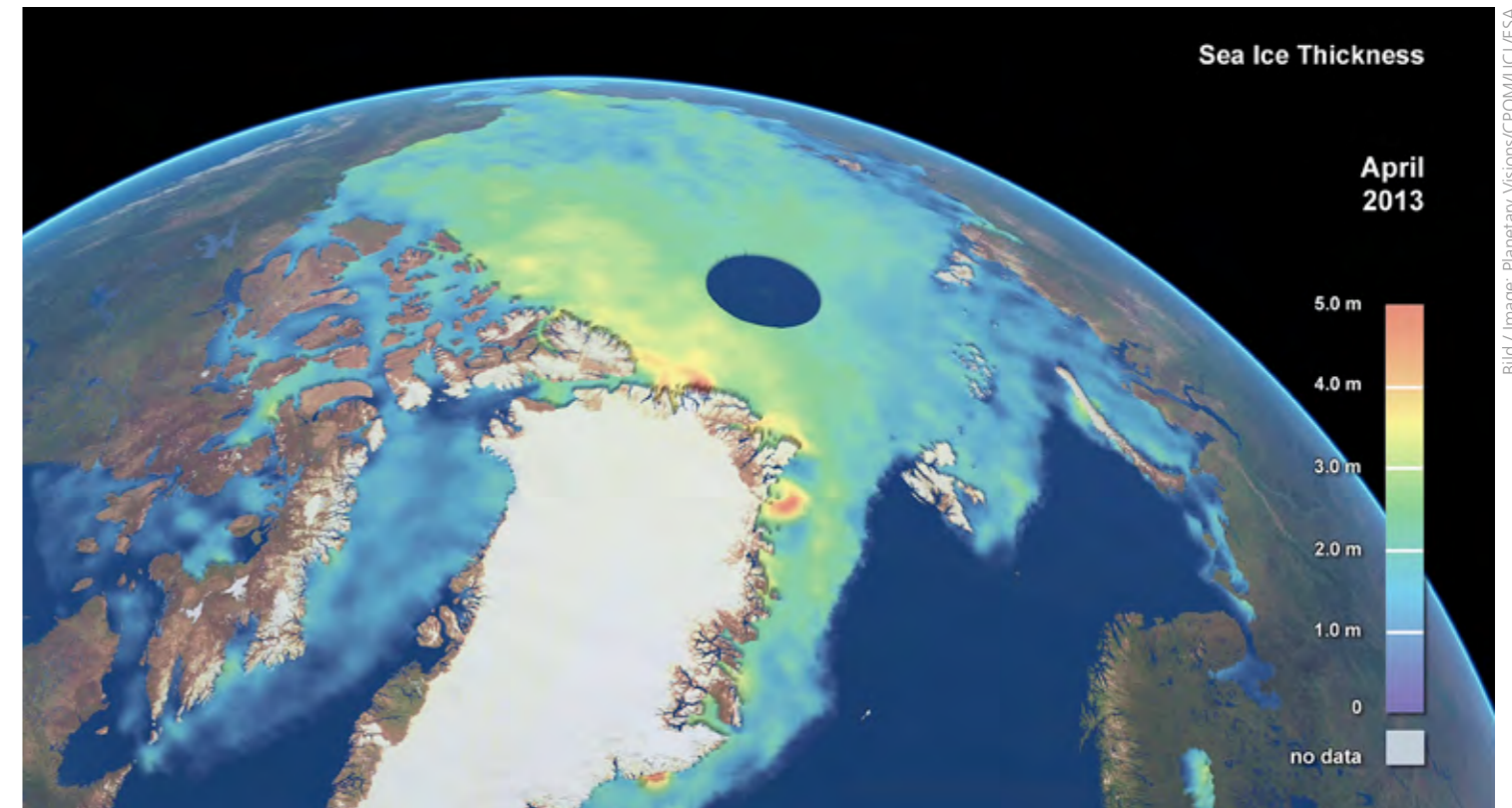
This image shows the different rates of glacier flow in Antarctica between 1996 and 2016. Through recent research, scientists have discovered that glaciers in the Getz region (shown within the black rectangle), are accelerating in their flow towards the ocean. Between 1994 and 2018, all 14 glaciers in Getz accelerated, on average, by almost 25 per cent, with three glaciers accelerating by over 44 per cent. Data from multiple missions (ALOS, Envisat, ERS-1, ERS-2, Landsat-8, Radarsat-1, Radarsat-2, Sentinel-1A, TDX, TSX) were used to measure this glacier flow.

Ebenso schützenswert wie die Ozonschicht über den Polen sind die Eiskappen selbst. Obwohl weit von den dicht besiedelten Regionen entfernt, haben sie einen bedeutenden Einfluss auf den Lebensraum des Menschen. Laut Alfred-Wegener-Institut ist die Fläche des arktischen Meereises 2020 auf den zweitkleinsten Wert seit Beginn der Satellitenmessungen im Jahr 1979 geschrumpft. Zusätzlich konnten auch Auswirkungen auf die Antarktis (Shelf-Eisabbruch) beobachtet werden. Dies konnte unter anderem mit den ESA-Satelliten CryoSat-2 und SMOS gemessen werden. Verglichen mit dem bisherigen Negativrekord ist die Eiskappe noch einmal kräftig geschmolzen und hat dabei eine Fläche von der Größe Deutschlands und Frankreichs verloren. Die Fläche des arktischen Meereises schwankt mit den Jahreszeiten. Es hat im März die größte Ausdehnung und reicht dann gewöhnlich bis an die Küsten Sibiriens und Kanadas. Am kleinsten ist die Eiskappe am Ende des arktischen Sommers im September. Der per Satellit ermittelte Durchschnittswert für das Minimum zu dieser Zeit lag zwischen 1979 und dem Jahr 2000 bei 7,5 Millionen Quadratkilometern. Im Jahr 2007 jedoch begann so etwas wie eine neue Zeitrechnung: Die Fläche schrumpfte damals auf knapp 4,2 Millionen Quadratkilometer. Der Rekord galt fast fünf Jahre, die Ausdehnung blieb in jedem September weit unter dem alten Mittelwert. Doch in 2012 hatte die Ausdehnung der Eisfläche schon Ende August den Minimalwert von 2007 unterschritten und lag im September unter 3,4 Millionen Quadratkilometern. In den Folgejahren konnte mithilfe von CryoSat-2 der Trend zu einer weiteren Abschmelzung bestätigt werden. Eine wichtige Ursache ist die allgemeine Erwärmung der Arktis durch den Klimawandel, der sich hoch im Norden dreimal so stark auswirkt wie im Mittel der Erde. Wenn die helle Eisfläche verschwindet, die viel Sonnenlicht ins All zurückwirft, fallen die Sonnenstrahlen auf das dunkle Wasser des Ozeans und werden absorbiert. Hierdurch erwärmt sich das arktische Meer und das Eis schmilzt daraufhin umso schneller.

Dennoch liegt ein großer Teil der Unsicherheiten in den heutigen Klimamodellen darin begründet, dass über das polare Eis und dessen Entwicklung nur sehr ungenaue Messergebnisse vorliegen. Diese Lücke schließt vor allem der im April 2010 gestartete europäische Klimasatellit CryoSat-2. Herz des Satelliten sind zwei Synthetic-Apertur-Radarantennen. Aus der Laufzeit der ausgesandten und wieder empfangenen Pulse lässt sich die Entfernung des Satelliten zur Oberfläche bestimmen. Der besondere Vorteil: Dieses Verfahren funktioniert auch in den langen Polarnächten und durch Wolken hindurch. Das Besondere an CryoSat-2 ist, dass er zwei Radarantennen besitzt. Ähnlich wie Menschen mit ihren beiden Augen räumlich sehen können, tastet Cryosats Doppel-Radar die Oberfläche sehr genau ab. So kann der Satellit neben der Ausbreitung des Eises auch dessen Masseänderung sehr genau bestimmen. Dies erreicht der Satellit, indem er Höhenunterschiede von nur zwei Zentimetern misst. Nur mit dieser Genauigkeit lassen sich jahreszeitliche Änderungen in den Eisdicken erkennen. Dies gilt auch für schwimmendes Meereis. Das kann mehrere Meter dick sein, ragt aber nur einige Dezimeter weit aus dem Wasser heraus. Um die Gesamtmasse des Eises zu ermitteln, muss CryoSat-2 also die sprichwörtlichen Spitzen der Eisberge exakt vermessen. Die im Rahmen des ESA-Programms „Living Planet“ realisierte Mission CryoSat-2 wurde unter deutscher Industrieleitung in Friedrichshafen gebaut. Der Satellit funktioniert exzellent und hat bereits komplette Karten der arktischen Meereisdicke geliefert. Seit 2010 konnten mithilfe von CryoSat-2-Messungen die jährlichen Veränderungen über acht Jahre verfolgt werden. Dadurch ließ sich nicht nur eine komplette Karte über die jährliche Veränderung der Eismassen erstellen, sondern auch deren Trend über die Zeitspanne von nahezu zehn Jahren detailliert verfolgen.

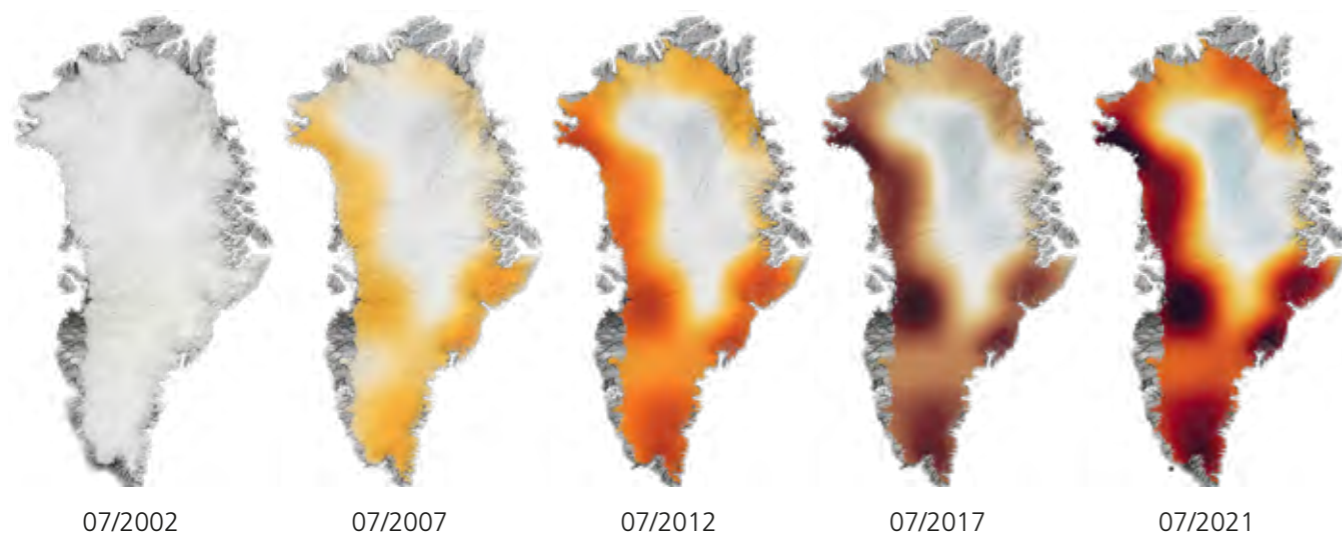
Just as worthy of being protected as the ozone layer are the ice caps. Although far from densely populated areas, they have a significant impact on the human habitat. According to the US National Snow and Ice Data Center and the European Space Agency (ESA), in 2017 the Arctic sea ice receded more than ever before. The impacts on the Antarctic, such as ice shelf calving, have also been observed through measurements from satellites such as ESA's CryoSat-2 and SMOS. The ice cap has once again melted substantially, losing an area the size of Germany and France combined compared to the previous negative record. The extent of Arctic sea ice fluctuates with the seasons. It is at its largest in March, when it usually stretches all the way to the coasts of Siberia and Canada, and smallest at the end of the Arctic summer, in September. Between 1979 and 2000, at that time of year, the average minimum area as measured using satellite data was 7.5 million square kilometres. In 2007, however, a new era seems to have begun, with the area shrinking to just under 4.2 million square kilometres. This record held for almost five years, although the area measured every September remained well below the previous average. However, in 2012 the extent of the ice surface had already fallen below the lowest level in 2007 by the end of August. By September, it was below 3.4 million square kilometres. In the years that followed, data from CryoSat-2 allowed scientists to confirm the trend towards further melting. One major cause is the overall warming of the Arctic due to climate change, which has three times the effect in the far north as it does at the equator. The disappearance of the bright ice sheet, which reflects much of the incident sunlight back into space, means that the Sun's rays fall on the dark water of the ocean instead and are absorbed. As a result, the Arctic Ocean heats up and the ice melts even faster.

Nevertheless, many of the uncertainties in current climate models are due to the lack of precise measurements of the polar ice and its development. The European climate satellite CryoSat-2, which was launched in April 2010, is primarily tasked with improving this. At the heart of the satellite are two synthetic aperture radar antennas. The distance from the satellite to the surface can be determined using the transit time of the radar signals. The particular benefit of this process is that it also works during the long polar nights and through cloud cover. The special feature of CryoSat-2 is that it has two radar antennas. The spacecraft's double radar scans the surface with great precision in a similar way to how humans visualise objects spatially with their two eyes. This enables the satellite to accurately determine both the extent of the ice and any changes in mass. It does this by measuring height differences of just two centimetres. Such levels of accuracy are necessary to detect seasonal changes in ice thickness. This also applies to floating sea ice, which can be several metres thick but only protrudes a few tens of centimetres from the water. CryoSat-2 must therefore measure the proverbial tip of the iceberg precisely in order to calculate the total mass of the ice. The CryoSat-2 mission, which is part of ESA's Living Planet programme, was constructed in Friedrichshafen by a German-led industrial consortium. The satellite is performing well and has already generated complete maps displaying ice thickness in the Arctic Ocean. Annual changes in height have been tracked since 2010 using CryoSat-2 measurements. This has allowed scientists to not only observe a complete map of the annual changes in ice mass, but also to follow the trends in detail over the course of almost ten years.



See-Eisdichte am Nordpol im April 2013 kurz nach der jährlichen maximalen Ausdehnung im März, wenn es bis an die Nordküsten Kanadas und Russlands ragt. Klimaveränderungen wirken sich am Nordpol fast dreimal so stark aus wie auf dem Rest der Erde.

Sea ice thickness at the North Pole in April 2013 shortly after the maximum annual extent in March, when it reaches the northern coasts of Canada and Russia. Climate changes affect the North Pole almost three times as much as the rest of the world.



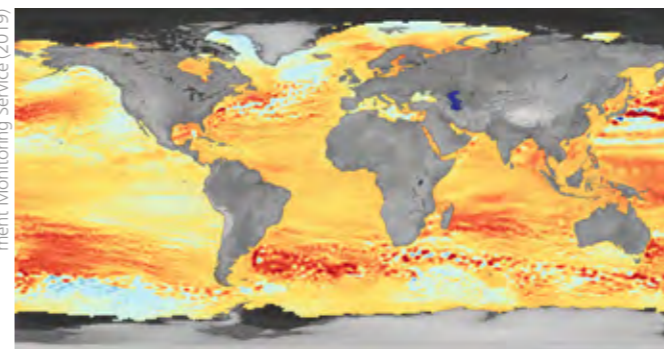
Seit 20 Jahren beobachtet die GRACE und die Nachfolge mission GRACE-FO der NASA und des DLR die Veränderungen im Schwerefeld der Erde. Mit diesen Daten haben die Wissenschaftler der Dachorganisation dänischer Arktisforschungsinstitute herausgefunden, dass die grönländische Eisdecke rund 4,7 Billionen Tonnen Eis verloren und so rund 1,2 Zentimeter zum weltweiten Meeresspiegelanstieg beigetragen hat. Das Eis schmelze deutlich schneller als erwartet. Seit Beginn der Messungen im April 2002 habe der grönländische Eisschild 4700 Kubikkilometer Schmelzwasser verloren. Damit ließe sich die gesamte Fläche der USA einen halben Meter unter Wasser setzen. Der durchschnittliche Jahresverlust liegt bei 277 Gigatonnen.

For 20 years, the GRACE and the successor mission GRACE-FO of NASA and the DLR have been observing the changes in the earth's gravitational field. With this data, the scientists from the umbrella organization of Danish Arctic research institutes found out that the Greenland ice sheet lost around 4.7 trillion tons of ice and thus contributed around 1.2 centimeters to global sea level rise. The ice is melting much faster than expected. Since measurements began in April 2002, the Greenland ice sheet has lost 4,700 cubic kilometers of meltwater. This would put the entire surface of the United States under half a meter of water. The average annual loss is 277 gigatons.

Für Methan-Messungen ist die deutsch-französische Mission „Methane Remote Sensing LIDAR Mission“ (MERLIN) vorgesehen. Der Start ist für die Mitte der 2020-er Jahre geplant. Der Satellit wird mit einem vom DLR entwickelten Laser-Messinstrument ausgestattet. Dieses aktive Light Detection and Ranging (LIDAR) kann sogar bei Nacht und durch dünne Wolkenschichten hindurch messen – darin wird es SCIAMACHY und bisherigen Sensoren wie GOME-2 und GOSAT überlegen sein.

MERLIN wird auch eine hervorragende Ergänzung zur im Copernicus-Programm geplanten CO₂-Mission sein, indem dieser Satellit insbesondere für Methan ein unabhängiges Validierungssignal liefert. Diese weitere Satellitengeneration ist in der Fortentwicklung des Copernicus-Programms schon in Arbeit. Vorrangig ist dabei ein integriertes Missionskonzept zu Kohlenstoffdioxid und Methan (CO₂M). Das Konzept sieht nicht nur die tägliche globale Satellitenmessung mit einer Konstellation von drei bis vier Satelliten vor, sondern auch die Integration von bodengestützten und Flugzeug-getragenen Messsystemen. Sie liefern Daten, mit denen sich Quellen und Senken in räumlicher und zeitlicher Hinsicht identifizieren lassen. Die Analysen verarbeiten dabei auch Wetterdaten und Modellierungen. Weitere Sensoren auf den Satelliten werden die gleichzeitige Messung von Stickoxiden erlauben, so dass der anthropogene Anteil vom natürlichen unterschieden werden kann. Die Ergebnisse können dann benutzt werden, um den sogenannten „Global Stocktake“ – eine Art Inventur der Klimaschutzanstrengungen – ab 2028 zu unterstützen. Diese werden benötigt, um die Vereinbarungen zu den Pariser Klimazielen zuverlässig zu überwachen.

Auf internationaler Ebene wird eine Konstellation unter Mitwirkung aller Raumfahrtagenturen vorbereitet, in der auch MERLIN und ähnliche Missionen eine prominente Rolle spielen können, um zum Beispiel durch punktgenaue, hochpräzise Messungen Ankerpunkte für die Kalibrierung der Konstellation zu schaffen. Hier soll ein Prototypensystem für den „Global Stocktake“ in 2023 entworfen werden, um für 2028 mit einem operationellen globalen System gerüstet zu sein.



Aus dem Weltraum können die Meeresspiegel sehr genau und regional beobachtet werden. Auf der Karte sieht man die Veränderungen (Erhöhung = rot; Senkung = blau) zwischen Januar 1993 und Oktober 2019. Gerade für Küstenregionen sind diese Daten von großem Wert. Der im November 2020 gestartete Copernicus-Satellit Sentinel-6 wird diese Messungen sehr genau vom Weltraum aus fortsetzen.

Sea levels can be observed very precisely and locally from space. The map shows the changes (rise = red; fall = blue) between January 1993 and October 2019. These data are particularly valuable for coastal regions. The Copernicus Sentinel-6 satellite, launched in November 2020, will continue to make precise measurements from space.

The Franco-German MEthane Remote sensing Lidar mission (MERLIN), scheduled to launch in the mid of the 2020s, will conduct methane measurements. The satellite will be equipped with a laser measurement system developed by DLR. This active light detection and ranging (lidar) technology can even be used at night and through thin cloud layers, which will make it superior to SCIAMACHY and previous sensors such as GOME-2 and GOSAT.

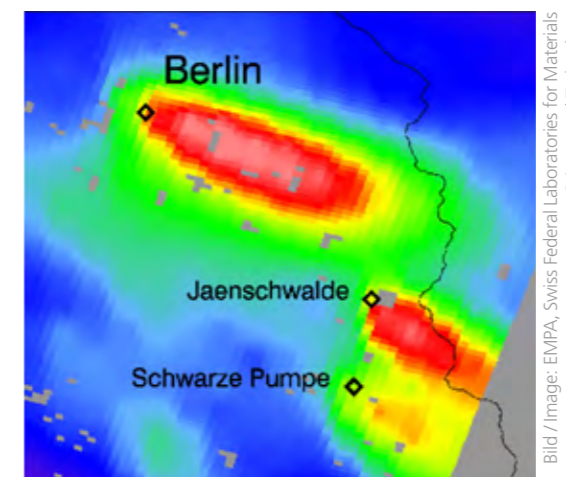
MERLIN will also be an excellent complement to the planned Copernicus Programme mission to monitor carbon dioxide levels, CO₂M, as it will provide an independent verification signal specifically for methane. The CO₂M mission is designed to act as a central element in an integrated greenhouse gas monitoring system that will measure carbon dioxide and methane levels globally while identifying their sources. Such a system will play an important role in the verification of the targets set by the Paris Climate Agreement.

As the Copernicus Programme continues to develop, another generation of satellites is already being prepared. Priority is being given to an integrated mission concept for carbon dioxide and methane monitoring (CO₂M). This concept not only provides for daily global satellite measurements using a constellation of three or four satellites but also for the integration of ground-based and airborne measurement systems. These systems provide data that allow sources and sinks to be identified in both spatially and temporally. The analyses of these data also process weather data and modelling. Additional sensors on the satellites will allow the simultaneous measurement of nitrogen oxides, so that anthropogenic fraction can be distinguished from naturally arising gases. From 2028, the results will be used to support the 'Global Stocktake' – an inventory of climate protection endeavours and their progress. Such measures are necessary to reliably monitor adherence to the Paris climate targets.

At an international level – through the Committee on Earth Observation Satellites (CEOS) and the Coordination Group for Meteorological Satellites (CGMS) – all space agencies are participating in the preparation of a constellation of satellites. MERLIN and similar missions can play a prominent role in this, for example by creating anchor points for the calibration of the constellation through high-precision measurements. A prototype system for the Global Stocktake will be designed in 2023, in preparation for an operational global system from 2028.

Im Rahmen der SMARTCAB-Studie untersucht die Europäische Weltraumorganisation ESA eine mögliche Konstellation von Umweltsatelliten, die Kohlenstoff- und Stickstoffdioxidemissionen überwachen soll. Dafür wurde die Messung des lokalen Ausstoßes von CO₂ der Stadt Berlin und mehrerer Kraftwerke in der Nähe der deutschen Hauptstadt simuliert. Eine solche Satellitenkonstellation stößt bei der EU-Kommission auf großes Interesse.

As part of the SMARTCAB study, ESA is investigating a possible constellation of environmental satellites to monitor carbon dioxide and nitrogen dioxide emissions. For this purpose, the measurement of local carbon dioxide emissions from the city of Berlin and several power plants near the German capital were simulated. Such a satellite constellation has been met with great interest from the EU Commission.





WETTER VORHERSAGEN

Nie zuvor standen uns so viele Wetterdaten zur Verfügung wie heute: Genaue Unwetterwarnungen vor Sturm, Gewitter, Starkregen und Glatteis können Leben retten. Für die Schiff- und Luftfahrt sind sie essenziell. Die Wettervorhersage hat sich stetig verbessert. Ob Angelwetter, Ozonwerte und Pollenflug, Segelwetter und Schneehöhen – für jeden Bereich des Alltags gibt es Vorhersagen. Mittlerweile sind Wetterdaten auch ein Wirtschaftsfaktor geworden, etwa für die Standortplanung und Ertragsprognosen von Wind- und Solarkraftwerken. Der überwiegende Anteil stammt mittlerweile von Satelliten; ihr volkswirtschaftlicher Nutzen übersteigt die Kosten für Bau und Betrieb um ein Vielfaches.

WEATHER FORECASTING

Humankind has never had as much weather data at their disposal as it does today. Accurate weather warnings for storms, lightning, heavy rainfall and black ice can save lives and are essential for shipping and aviation. Weather forecasting has also seen constant improvements. There are now daily predictions for many kinds of activities, such as fishing or sailing conditions, ozone levels, pollen count and snow depth. Meanwhile, weather data have also become an essential economic factor, for example, when considering location planning and yield forecasts for wind and solar power plants. Most of such data is now acquired using satellites, and their economic benefit far exceeds the costs of construction and operation.



Wetter vorhersagen Weather forecasting

Wettersatelliten unterstützen Meteorologen bei ihrer täglichen Arbeit. Auch bei der Flutkatastrophe im Juli 2021 in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen (im Bild) lieferten diese Satelliten wichtige Wetterdaten. Derzeit umkreisen die Satelliten der zweiten Meteosat-Generation (MSG) die Erde. Die neue Meteosat-Generation ist gegenüber ihrem Vorgänger technisch erheblich weiterentwickelt worden. Die Satelliten messen zum Beispiel die Temperatur und Luftfeuchtigkeit am Boden und in der Atmosphäre. Aus der Bewegung der Wolken ermitteln Meteorologen die Windgeschwindigkeit in verschiedenen Höhen.

Weather satellites support meteorologists in their daily work. These satellites also provided important weather data during the flood disaster in July 2021 in Rhineland-Palatinate and North Rhine-Westphalia (pictured). The current generation of Meteosat satellites (Meteosat Second Generation; MSG) are in orbit and feature significant technical improvements compared to their predecessors. For example, the satellites measure the temperature and humidity on the ground and in the atmosphere. Meteorologists use the movement of the clouds to determine wind speed at different altitudes.

Basis für jede Wettervorhersage sind die Messwerte eines weltumspannenden Beobachtungsnetzes, das aus Bodenstationen, Schiffen, automatischen Bojen, Verkehrsflugzeugen und Radiosonden besteht. Seit dem Start des ersten Wettersatelliten im Jahr 1960, dem amerikanischen TIROS-1, hat die Weltraumtechnologie das bewährte terrestrische Netz entscheidend erweitert: Satelliten liefern auch Daten aus schwer zugänglichen Gebieten wie Wüsten und Urwäldern oder von der Ozeanoberfläche und ermöglichen erst dadurch eine fast lückenlose globale Überwachung. Dies kann kein anderes Beobachtungssystem leisten. Bereits seit 1977 verfügt Europa über eigene geostationäre Wettersatelliten namens METEOSAT. Geostationäre Satelliten blicken aus rund 36.000 Kilometern Höhe über dem Äquator auf die Erde. Dort benötigen sie für einen Umlauf genau einen Tag. Von der Erde aus gesehen scheinen sie daher fest am Himmel zu stehen, so dass sie stets etwa ein Drittel der Erdkugel im Sichtfeld haben. Drei bis vier Satelliten reichen aus, um die gesamte Erde „im Blick“ zu haben.

The measurements are conducted by a global observation network comprising ground stations, ships, automated buoys, commercial aircraft and radiosondes that provide the basis for every weather forecast. Space technology has significantly expanded upon the tried and tested terrestrial network since the launch of the first weather satellite, the US TIROS-1, in 1960. Providing data from regions that are difficult to access, such as deserts, rainforests or the surface of oceans, this is the only way to ensure comprehensive global monitoring. No other observation system can do this. Europe has had its own geostationary weather satellites – the Meteosat series of satellites – since 1977. These observe Earth from approximately 36,000 kilometres above the Equator. It takes them exactly one day to complete a single orbit. Seen from Earth, they appear to be stationary in the sky. This means that they always have about one third of the globe in their field of view. Three to four satellites are sufficient to keep the entirety of Earth in view.

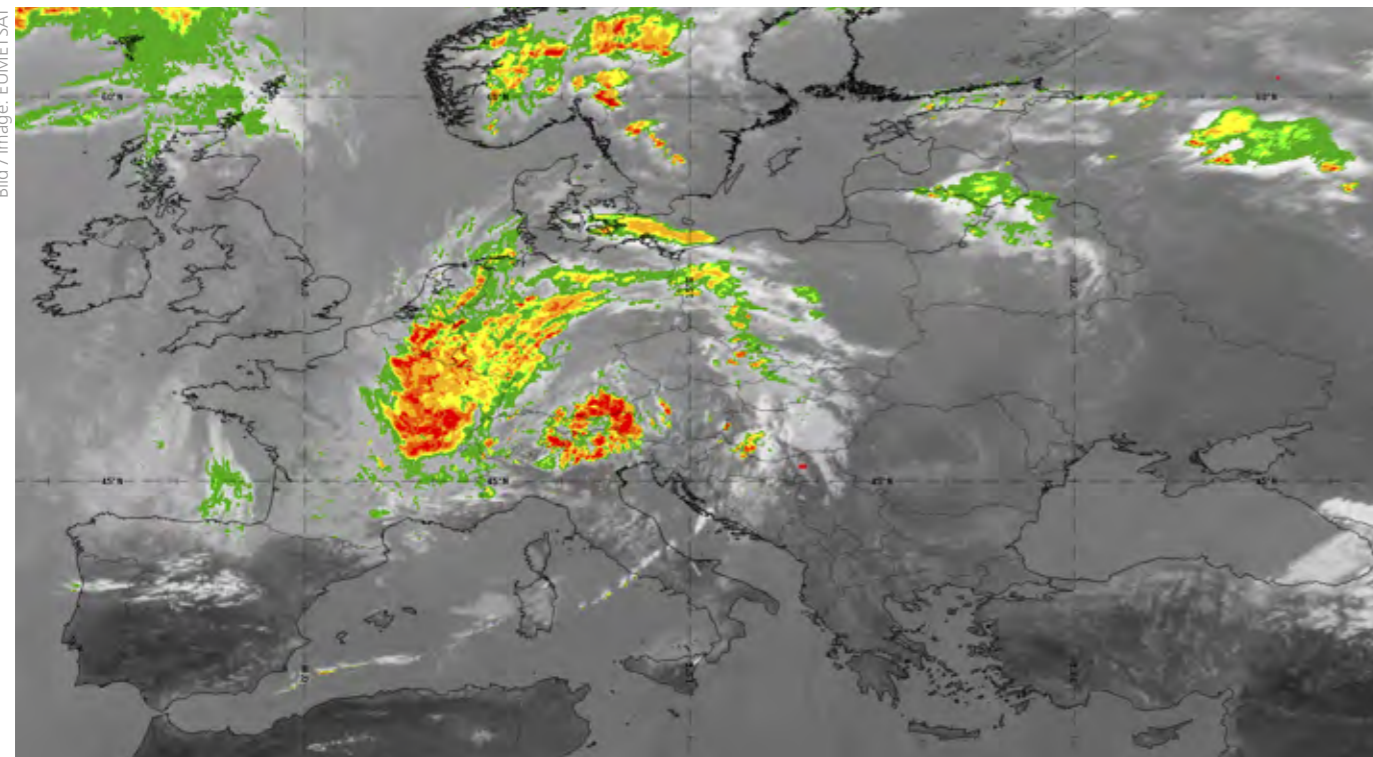


Bild / Image: EUMETSAT

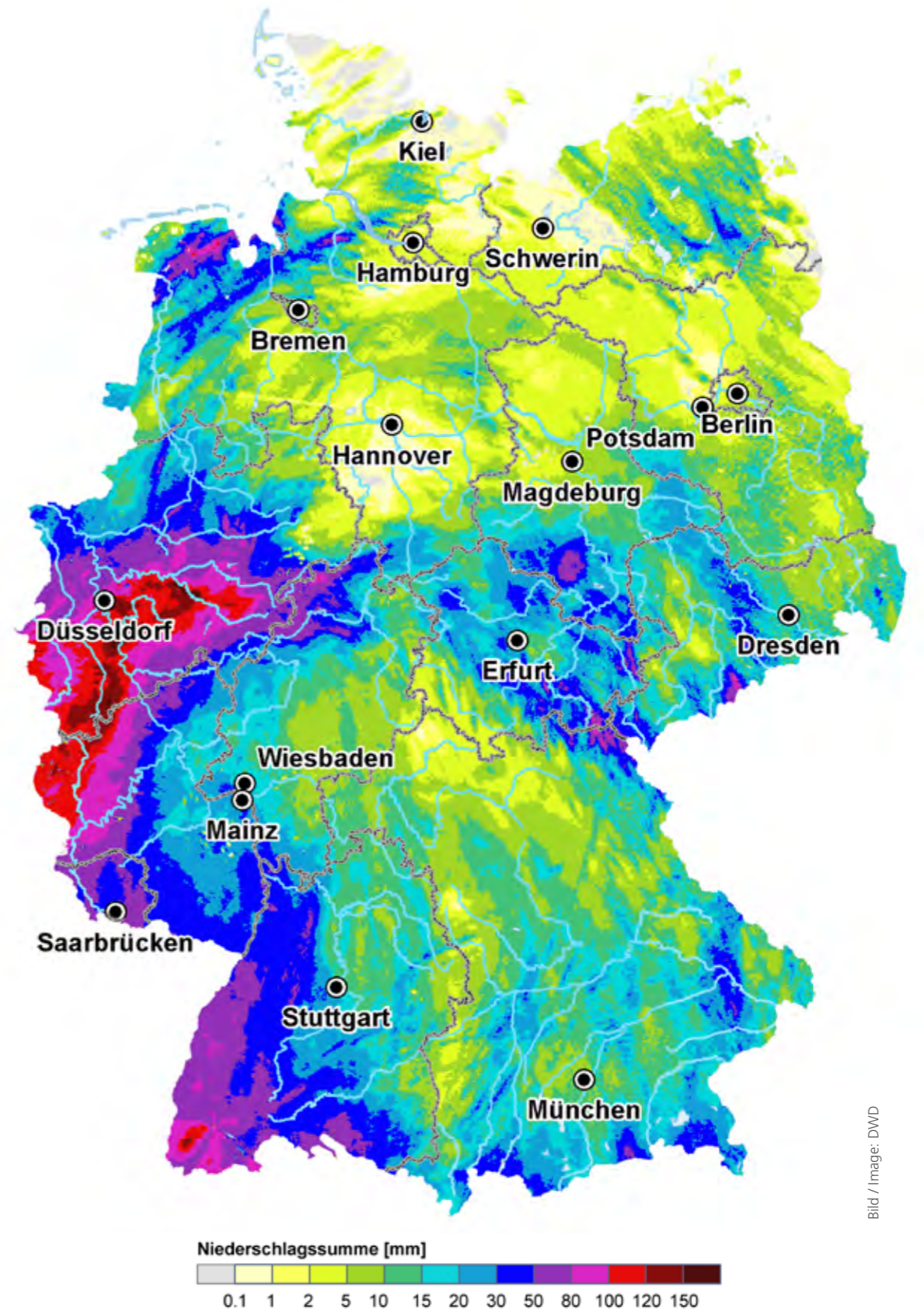


Bild / Image: DWD

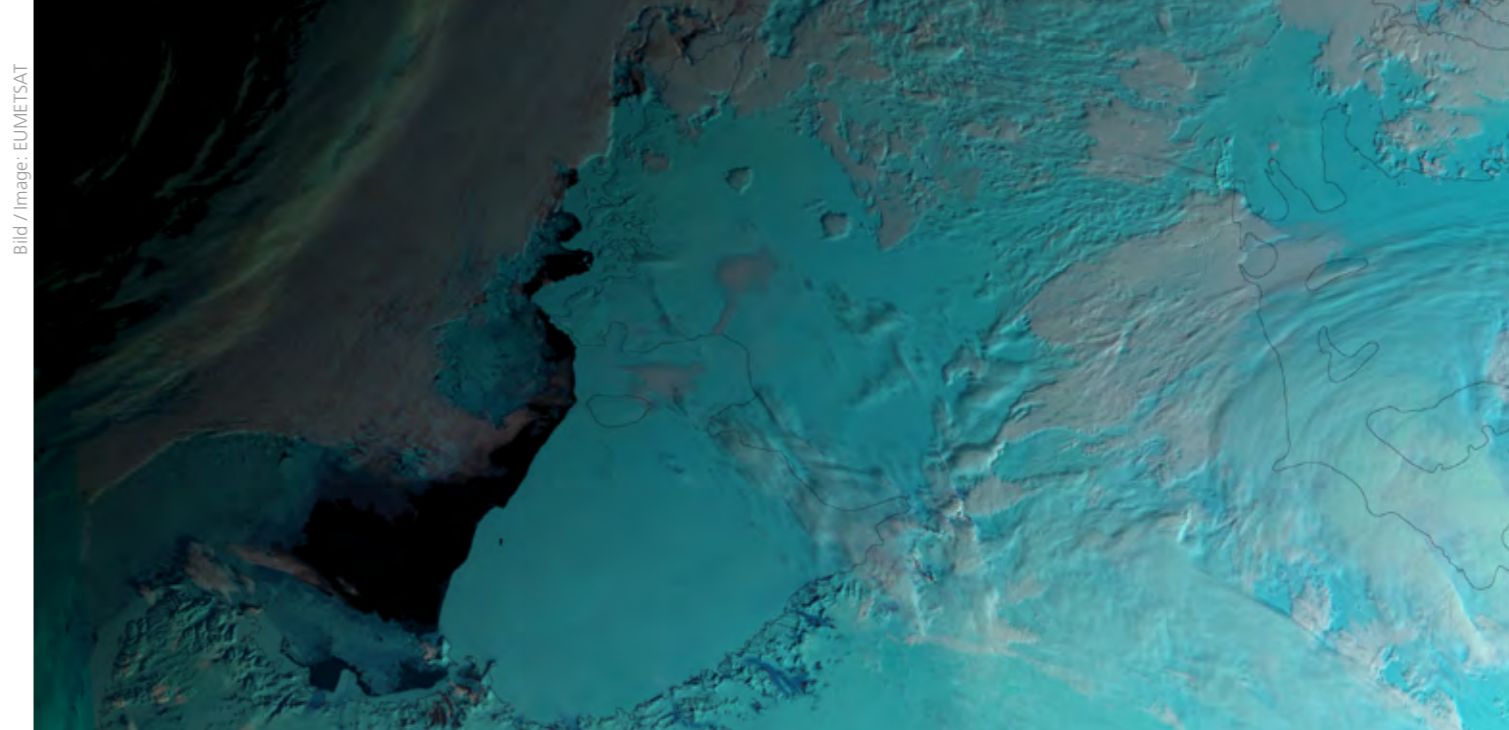
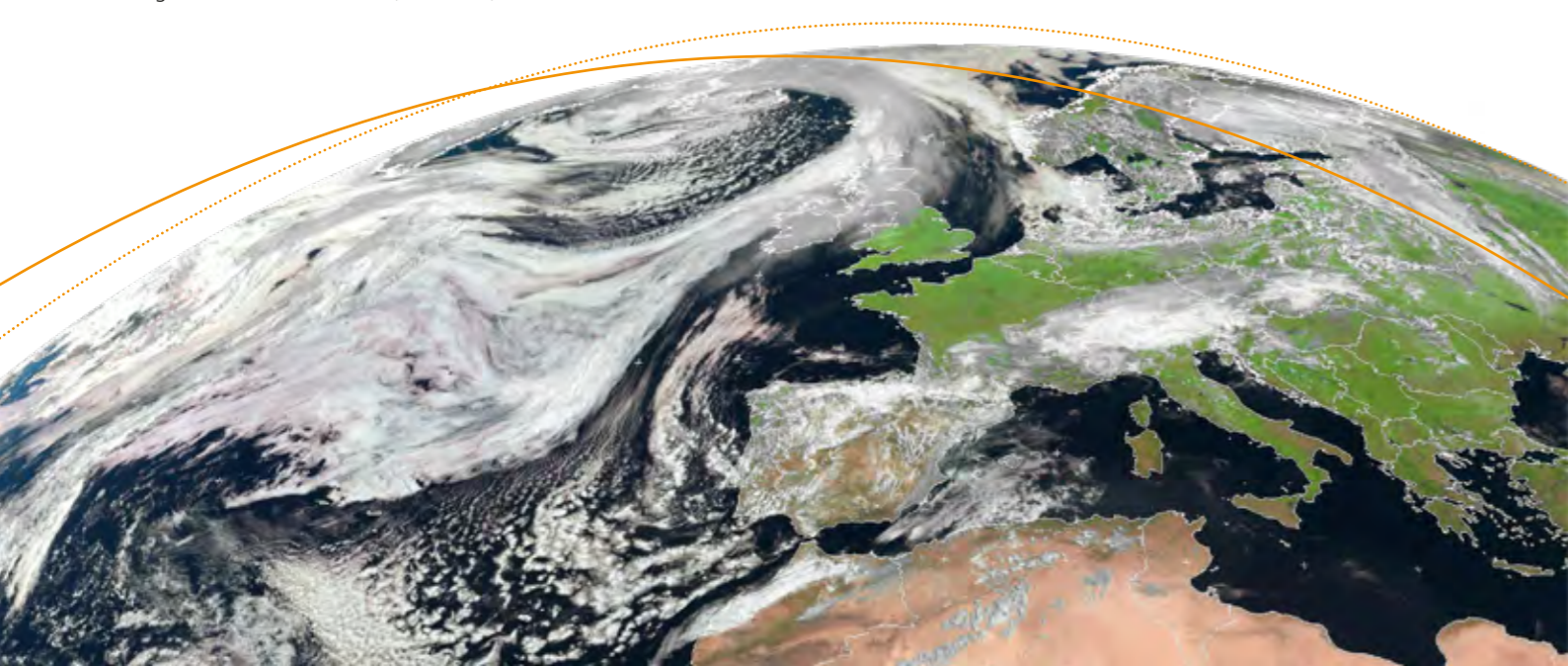
Mitte Juli 2021 wurde der Westen Deutschlands von extremen Unwettern heimgesucht. Am schlimmsten waren Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen betroffen. In Teilen der beiden Bundesländer fiel am 14. Juli und in der Nacht auf den 15. Juli innerhalb von nur 24 Stunden 100 bis 150 Liter Regen pro Quadratmeter. Im gesamten Monat Juli fällt im Durchschnitt weniger Niederschlag. Der Starkregen löste in den betroffenen Regionen Sturzfluten und massive Überschwemmungen aus. Mit anhaltender Niederschlagstätigkeit traten auch mittlere und größere Flüsse wie Ahr, Emscher, Erft, Kyll, Lippe, Prüm, Ruhr, Rur, Sieg und Wupper über die Ufer. Daraus entwickelte sich eine ausgedehnte Hochwassersituation von der Eifel (Rheinland-Pfalz) über das Rheinland und dem Ruhrgebiet bis hin nach Südwestfalen (Nordrhein-Westfalen). Die Starkregenereignisse führten in Deutschland zu mindestens 180 Toten und Schäden in Höhe von rund 33 Milliarden Euro. Das durch das Tiefdruckgebiet Bernd ausgelöste Unwetter richtete auch in Teilen Belgiens, Frankreichs, der Niederlande, Luxemburg und anderen Regionen Europas zum Teil erhebliche Schäden an. Die Bilder zeigen die Niederschlagsmengen innerhalb von 72 Stunden (links) und eine Satellitenaufnahme des Starkregengebiets.

In mid-July 2021, western Germany was hit by extreme storms. Rhineland-Palatinate and North Rhine-Westphalia were hit the hardest. In parts of the two federal states, 100 to 150 liters of rain per square meter fell on July 14 and in the night of July 15 within just 24 hours. There is less rainfall on average throughout the month of July. The heavy rain triggered flash floods and massive flooding in the affected regions. With persistent precipitation activity, medium-sized and larger rivers such as the Ahr, Emscher, Erft, Kyll, Lippe, Prüm, Ruhr, Rur, Sieg and Wupper also burst their banks. This resulted in an extensive flood situation from the Eifel (Rhineland-Palatinate) through the Rhineland and the Ruhr area to South Westphalia (North Rhine-Westphalia). The heavy rain events in Germany led to at least 180 deaths and damage amounting to approximately 33 billion euros. The storm triggered by the Bernd low-pressure area also caused considerable damage in parts of Belgium, France, the Netherlands, Luxembourg and other regions of Europe. The images show the amount of precipitation within 72 hours (left) and a satellite image of the heavy rain area.

Derzeit umkreisen die Satelliten der zweiten Meteosat-Generation (MSG) die Erde. Die neue Meteosat-Generation ist gegenüber ihrem Vorgänger technisch erheblich weiterentwickelt worden. Die Satelliten messen zum Beispiel die Temperatur und Luftfeuchtigkeit am Boden und in der Atmosphäre. Aus der Bewegung der Wolken ermitteln Meteorologen die Windgeschwindigkeit in verschiedenen Höhen. Eine dritte Meteosat-Generation (MTG) startet im Dezember 2022 ins All, wiederum mit deutlichen technischen Verbesserungen gegenüber den Vorgängern. So können die MSG- und MTG-Satelliten bis mindestens 2040 die Aufzeichnung von Wetter- und Klimadaten aus dem geostationären Orbit garantieren. Geostationäre Satelliten haben allerdings zwei blinde Flecken: die Pole. Diese Lücke schließen polarumlaufende Satelliten. 2006 startete Europa mit MetOp-A den ersten Wettersatelliten in eine polare Umlaufbahn. MetOp-B folgte im September 2012 und seit November 2018 ist auch der dritte Satellit, MetOp-C, im Einsatz. Von ihrem Orbit aus messen die sieben Hauptinstrumente Temperatur- und Feuchtigkeitsprofile in Abhängigkeit von der Höhe, die Temperatur über Meer und Land sowie die Konzentration wichtiger Spurengase – zum Beispiel Ozon – in der Atmosphäre. Mithilfe der MetOp-Daten konnte die Qualität der Wettervorhersage erheblich verbessert werden; die Vorhersagemodelle sind um 27 Prozent genauer.

Durch die verhältnismäßig geringe Höhe über der Erde ist die Auflösung von Sensoren auf polar-umlaufendem Satelliten wesentlich besser als bei geostationären Satelliten. Allerdings verkleinert sich im gleichen Maßstab das Blickfeld der Instrumente. Um die Erde mehrmals am Tag vollständig abzudecken, benötigt man ein System aus mehreren Satelliten. Mit dem MetOp-Programm übernimmt Europa in Kooperation mit der US-amerikanischen National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Verantwortung für die Wetterbeobachtung aus einer sehr wichtigen Erdumlaufbahn. In rund 820 Kilometern Höhe ziehen die Satelliten ihre Bahnen, während die Erde sich unter ihnen weiterdreht. So kann ein MetOp-Satellit einmal am Tag nahezu die komplette Erdoberfläche mit seiner Kombination aus abbildenden und sondierenden Instrumenten abtasten. Das ergänzt sich perfekt mit den Beobachtungen der NOAA aus anderen Umlaufbahnen. Ein MetOp-Instrument ist das in Deutschland gebaute ASCAT. Es beobachtet die Wasserreflektionen der Meeresoberfläche. Aus diesen Wellenbildern können Rückschlüsse auf Windgeschwindigkeit und -richtung gezogen werden. Diese Beobachtungen stellen einerseits wichtige Eingangsgrößen für die Wettervorhersage dar und werden andererseits bei der maritimen Routenplanung verwendet.

Die europäischen Wettersatelliten werden von der 1986 gegründeten Europäischen Organisation für die Nutzung meteorologischer Satelliten (EUMETSAT) mit Sitz in Darmstadt betrieben. Deutschland ist von den 30 EUMETSAT-Mitgliedsstaaten mit knapp 20 Prozent Beteiligung der größte Beitragszahler. Die zweite Generation polarumlaufender Satelliten befindet sich in der Entwicklung und wird voraussichtlich ab 2024 die MetOp-Satelliten ergänzen. Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR ist im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr an der Entwicklung des Instruments METImage beteiligt und koordiniert die Kooperationsabkommen mit EUMETSAT. Es soll das von der Erdoberfläche, der Atmosphäre und den Wolken ins All zurückgeworfene Sonnenlicht und die von der Erde emittierte Wärmestrahlung in 20 verschiedenen Spektralkanälen aufzeichnen. Ziel ist es unter anderem, meteorologische und klimarelevante Größen wie den Wolkenbedeckungsgrad, Oberflächentemperaturen oder die Menge an Luftschwebstoffen (Aerosolen) zu bestimmen.



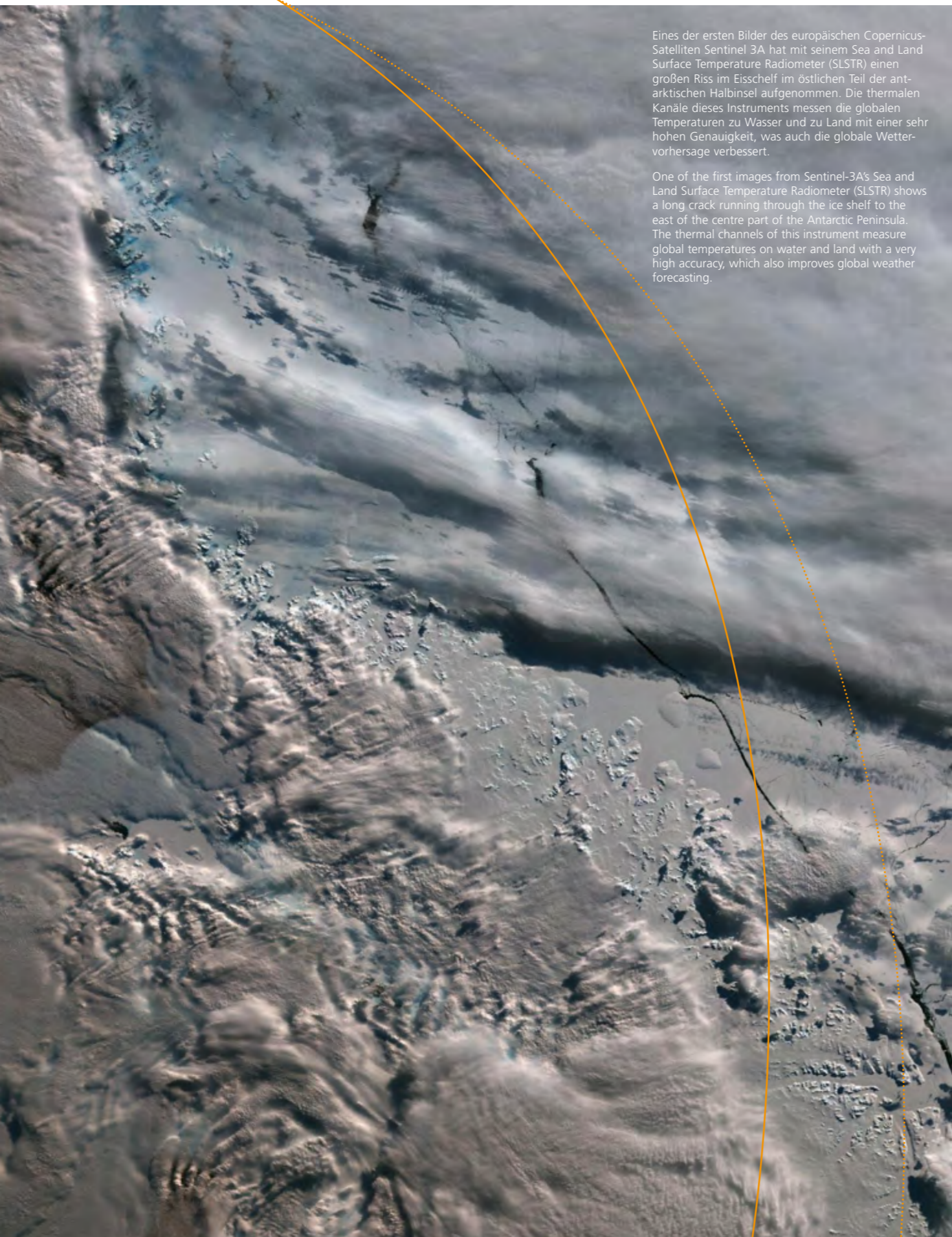
Das Ross-Schelfeis ist das größte in der Antarktis und nur geringfügig kleiner als Frankreich. Die nahezu vertikale seewärtige Abbruchkante – die sogenannte Rossbarriere – erstreckt sich auf einer Länge von 600 bis 800 Kilometern und ragt 20 bis 50 Meter über den Meeresspiegel. Neue Messergebnisse am Ross-Schelfeis zeigen die Gefahr eines Zerfalls dieses Schelfeises. Auswirkungen auf die globale Temperatur wären die Folge.

The Ross Ice Shelf is the largest in Antarctica; it is only slightly smaller than France. The almost vertical seaward ice front – referred to as the Ross Barrier – extends over a length of more than 600 kilometres and rises 20 to 50 metres above sea level. New measurement results from the Ross Ice Shelf show that it is in danger of breaking up. This would have an impact on global temperatures.

The current generation of Meteosat satellites (Meteosat Second Generation; MSG) are in orbit and feature significant technical improvements compared to their predecessors. For example, the satellites measure the temperature and humidity on the ground and in the atmosphere. Meteorologists use the movement of the clouds to determine wind speed at different altitudes. The next generation of Meteosat satellites (Meteosat Third Generation; MTG) will launch in December 2022, again with considerable technical advancements over their forerunners. The MSG and MTG satellites will guarantee the recording of weather and climate data from geostationary orbit until at least 2040. Geostationary satellites, however, have two blind spots – the poles. This gap is covered by polar orbiting satellites. In 2006, Europe launched MetOp-A, the first weather satellite in a polar orbit. MetOp-B followed in September 2012, and the third satellite, MetOp-C, has been in use since November 2018. From their orbit, their seven primary instruments measure temperature and humidity profiles at different altitudes, the temperature over land and sea, and the concentration of important trace gases, such as ozone, in the atmosphere. The data acquired by the MetOp satellites have greatly improved the quality of weather forecasting – forecast models are now 27 percent more accurate.

As they orbit at relatively low altitudes, the resolution of the sensors on polar orbiting satellites is significantly better than that of geostationary satellites. However, the proximity to Earth restricts their instruments' fields of view. Observing Earth in its entirety various times a day requires a constellation of several satellites. In cooperation with the US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Europe's MetOp programme is responsible for weather observation from a very important Earth orbit. The satellites orbit at an altitude of approximately 820 kilometres, as Earth rotates beneath them. A MetOp satellite can thus scan nearly all of Earth's surface once a day using its combination of imaging and sounding instruments. This complements NOAA's observations from other orbits. One MetOp instrument is the German-built ASCAT, which observes reflections from ocean surfaces. Conclusions about wind speed and direction can be derived from these wave images. Such observations represent important input information for weather forecasting, while having applications in maritime route planning.

The European weather satellites are operated by the European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT), which was founded in 1986 and is based in Darmstadt, Germany. Of the 30 EUMETSAT member states, Germany is the largest contributor, providing almost 20 percent of the funding. The next generation of polar orbiting satellites is currently being developed and is set to join the MetOp satellites from 2024. The German Space Agency at DLR is involved in the development of the METImage instrument on behalf of the Federal Ministry for Digital Affairs and Transport and coordinates the cooperation agreement with EUMETSAT. METImage is designed to record the amount of sunlight reflected back into space from Earth's surface, the atmosphere and clouds, in addition to the thermal radiation emitted by Earth in 20 different spectral channels. Among other things, the aim is to determine meteorological and climate-related variables such as the degree of cloud cover, surface temperature and the number of airborne particles (aerosols).



Eines der ersten Bilder des europäischen Copernicus-Satelliten Sentinel 3A hat mit seinem Sea and Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR) einen großen Riss im Eisschelf im östlichen Teil der antarktischen Halbinsel aufgenommen. Die thermalen Kanäle dieses Instruments messen die globalen Temperaturen zu Wasser und zu Land mit einer sehr hohen Genauigkeit, was auch die globale Wettervorhersage verbessert.

One of the first images from Sentinel-3A's Sea and Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR) shows a long crack running through the ice shelf to the east of the centre part of the Antarctic Peninsula. The thermal channels of this instrument measure global temperatures on water and land with a very high accuracy, which also improves global weather forecasting.

Bild / Image: EUMETSAT

Temperaturen sind wichtig, um mehr über Stürme und deren Verhalten zu erfahren (rechtes Bild). Der europäische Copernicus-Satellit Sentinel-3A hat die Temperaturen des Hurricane Lane gemessen, der am 22. August 2018 Big Island, die größte Insel Hawaiis, erreicht hat. Lane war ein starker Sturm, der sich dann am 23. August über Hawaii abgeschwächt hat. Die Temperaturen variieren von minus 80° Celsius in der Nähe des "Auges des Sturms" bis zu 15°C am Rand. „Medicanes“ sind ein sehr seltenes Phänomen. Wenn diese speziellen Hurricanes über dem Mittelmeer aber auftreten, wie hier „lanos“ am 17. September 2020 über Griechenland, richten sie heftigen Schaden an.

Temperatures give us information about storms and their behaviour (right image). The European Copernicus satellite Sentinel-3A measured the temperatures of Hurricane Lane, which reached Hawaii's Big Island on 22 August 2018. Lane was a strong storm that then weakened over Hawaii on 23 August of that year. Temperatures varied from minus 80 degrees Celsius near the 'eye of the storm' to 15 degrees Celsius at the edge. 'Medicanes' are a very rare phenomenon. However, when they occur over the Mediterranean, like 'lanos', shown here on 17 September 2020 over Greece, they cause severe damage.

Bild / Image: contains modified Copernicus Sentinel data (2018), processed by ESA

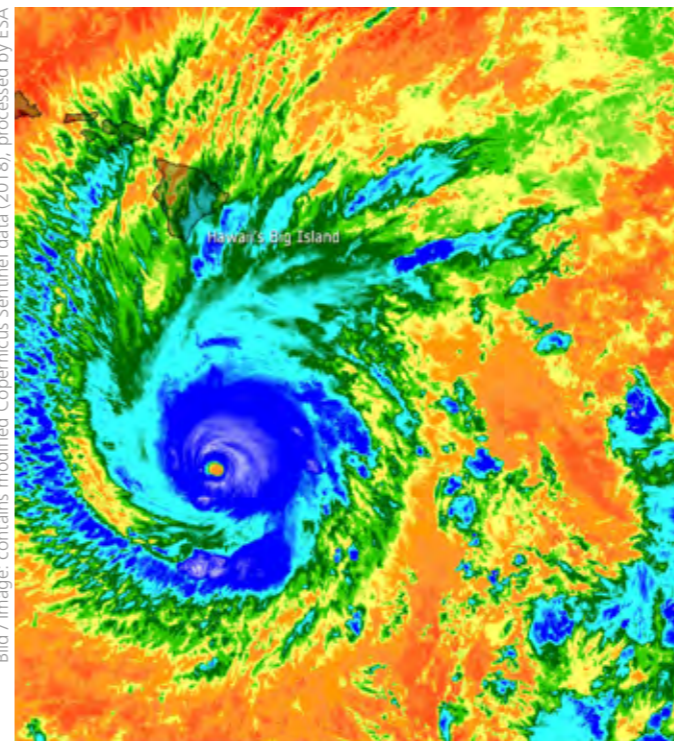


Bild / Image: contains modified Copernicus Sentinel data (2020), processed by ESA

Eine besondere Bedeutung kommt Satelliten auch für den Ausbau erneuerbarer Energien zu. So benötigt man für die Planung von Sonnenkraftwerken Daten über die verfügbare Sonneneinstrahlung je nach Standort. Hierfür liegt der Globale Atlas für Sonnen- und Windenergie vor, der gemeinsam von der Internationalen Agentur für Erneuerbare Energien (IRENA) und vom DLR aufgebaut wurde. Nützlich für die Planung des Energiemanagements sind auch aktuelle Werte sowie kurz- und mittelfristige Vorhersagen und Langfristerwartungen der Wind- und Sonnenscheinverhältnisse. Der Deutsche Wetterdienst berechnet für jeden beliebigen Ort in Deutschland mittlere monatliche Tagessummen der Globalstrahlung.

Für die Planung eines Off-Shore-Windparks sind möglichst genaue Informationen über die Windverhältnisse auf den Meeren nötig. Mit TerraSAR-X gelang es, die Turbulenzen hinter den Windrädern zu messen – ein wichtiger Parameter für die Planung der Windrad-Dichte bei Off-Shore-Anlagen. Das Seewetteramt des DWD setzt Daten von TerraSAR-X und Sentinel-1 zudem für die Seegangsüberwachung küstennaher Schifffahrtsrouten ein.

Satellites are also especially important for the expansion of renewable energy systems. Planning solar power plants requires data on the available solar radiation at the location in question. The Global Atlas of Solar and Wind Energy, which has been jointly created by the International Renewable Energy Agency (IRENA) and DLR, is useful here. Current values, of short- and medium-term forecasting and long-term expectations of wind and sunshine conditions feed into energy management planning. The German Meteorological Service (Deutscher Wetterdienst; DWD) calculates monthly averages of daily total values for global radiation for any location in Germany.

When planning an offshore wind farm, it is vital to ensure that information about wind conditions at sea are as accurate as possible. TerraSAR-X has made it possible to measure turbulence behind wind turbines – an important parameter when planning wind turbine density for offshore systems. The DWD's Marine Weather Service also uses data from TerraSAR-X and Sentinel-1 to monitor coastal shipping routes.



KATASTROPHEN BEWÄLTIGEN

Tropische Wirbelstürme, Überflutungen, Dürren, Erdbeben und Vulkanausbrüche – Naturgefahren bedrohen weltweit die Lebensgrundlage unzähliger Menschen. Ausreichende Vorsorgemaßnahmen und schnelle Hilfe im Katastrophenfall sind notwendig, um humanitäre Krisen zu vermeiden – etwa durch den Ausbruch von Seuchen oder große Flüchtlingsströme. Satellitenaufnahmen werden regelmäßig eingesetzt, um Katastrophenlagen zu überblicken und Hilfsaktionen besser steuern zu können. Sie werden aber immer öfter auch verwendet, um frühzeitig zu erkennen, wie sich durch den Wandel der Umwelt bestehende Naturgefahren für die Bevölkerung verändern. Für politische Entscheidungsträger stellen die Aufnahmen aus dem Weltraum eine objektive Informationsquelle dar, anhand derer Risiken besser verstanden und zielgerichteter Maßnahmen getroffen werden können. Wissenschaftler untersuchen anhand der Daten die Ursachen von Naturkatastrophen und entwickeln bessere Vorhersagen.

DEALING WITH DISASTERS

Tropical cyclones, flooding, droughts, earthquakes and volcanic eruptions – natural disasters threaten the livelihoods of countless people worldwide. Adequate precautionary measures and rapid assistance in the event of a disaster are required to prevent humanitarian crises such as disease outbreaks and large numbers of refugees. Satellite imagery is regularly used to monitor disaster situations and manage relief operations more effectively. However, it is also increasingly being used to identify how changes in the environment are altering existing natural hazards. Such images from space represent an objective source of information for policymakers, who can use them to gain a better understanding of the risks involved and devise appropriate measures. Scientists are using the data to investigate the causes of natural disasters and develop better forecasting methods.



Katastrophen bewältigen Dealing with disasters

Das Tohoku-Erdbeben vom 11. März 2011 rund 130 Kilometer vor der japanischen Küste löste eine Flutwelle ungeahnten Ausmaßes aus und zerstörte weite Teile der Ostküste der Hauptinsel Honshu. Mehr als 300.000 Häuser und Gebäude wurden dem Erdboden gleich gemacht und ganze Landstriche verwüstet. Etwa 600.000 Menschen waren direkt von dieser Katastrophe betroffen und 19.000 kamen dabei ums Leben. Es war das bislang stärkste Beben in Japan und führte auch zur Zerstörung des Atomkraftwerkes in Fukushima.

Unmittelbar nach dem Tsunami wurde die International Charter „Space and Major Disasters“ (kurz „Charter“) aktiviert. Satellitenaufnahmen der Charter-Mitgliedsorganisationen dienten den Hilfskräften zur Orientierung in dieser unübersichtlichen Lage und stellten eine bedeutende Grundlage für die Planung und Durchführung von Nothilfemaßnahmen dar. Auch das DLR leistete wichtige Beiträge, indem es innerhalb nur eines Tages aktuelle Aufnahmen der Satelliten TerraSAR-X und RapidEye zur Verfügung stellte. Das Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation des DLR in Oberpfaffenhofen beteiligte sich außerdem an den Kartierungsarbeiten, um den Rettungskräften unmittelbar verwertbare Informationen zu liefern.

Seit dem Jahr 2010 ist das DLR Mitglied in der Charter, die speziell für die satellitengestützte Hilfe nach großen Naturkatastrophen ins Leben gerufen wurde. Mittlerweile arbeiten Raumfahrtagenturen und Satellitenbetreiber aus 14 Ländern zusammen, darunter auch die Europäische Weltraumorganisation ESA, um auf durchschnittlich 40 große Katastrophen pro Jahr schnellstmöglich zu reagieren.

Im Jahr 2012 nahm auch das europäische Pendant, der „Copernicus Emergency Management Service“, seinen Routinebetrieb auf. In den vergangenen Jahren wurde der Fokus des Copernicus-Dienstes erheblich ausgeweitet, um auch frühzeitige Warnungen vor Überflutungen, Feuerkatastrophen und Dürren mithilfe von Satellitendaten liefern zu können.

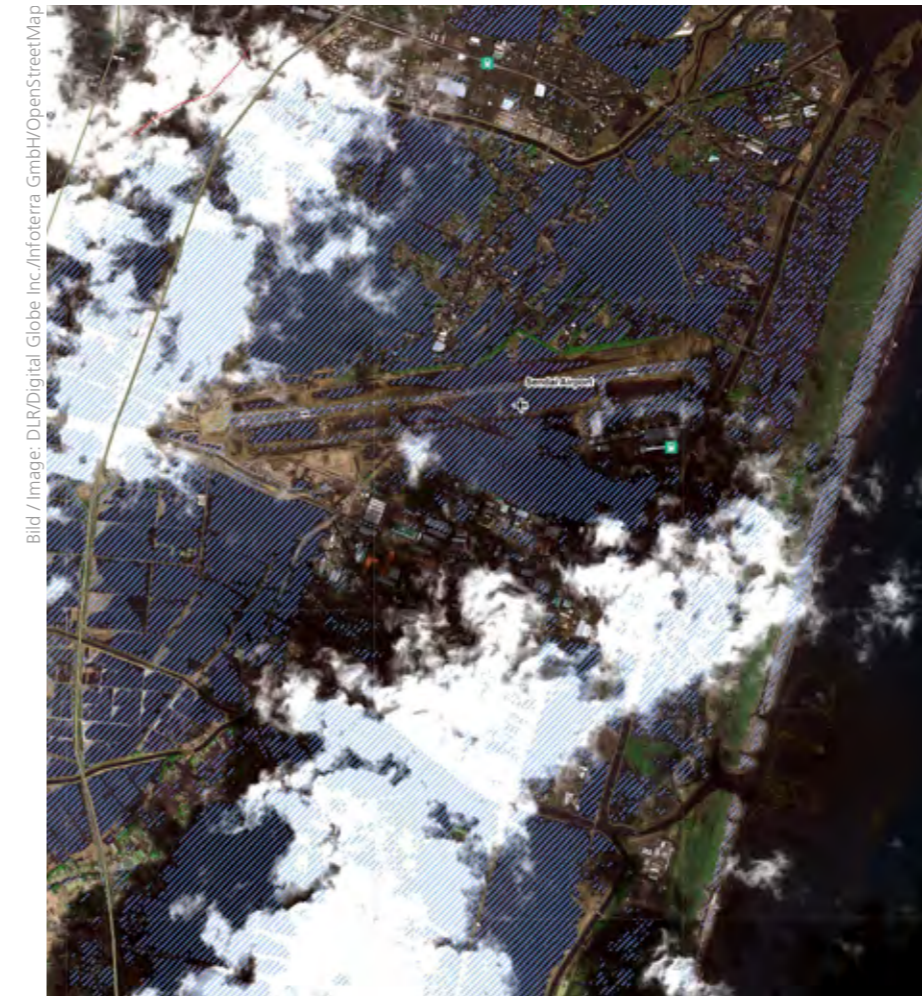


Bild / Image: DLR/Digital Globe Inc./Infoterra GmbH/OpenStreetMap

Am 11. März 2011 erschütterte eines der schwersten Erdbeben mit einer Stärke von 9,0 auf der Richterskala Japan. Das Epizentrum des Seebebens lag in der Tohoku-Region vor der Küste der Präfektur Miyagi etwa 370 Kilometer nordöstlich von Tokio und 130 Kilometer östlich von Sendai entfernt. Fast 19.000 Menschen verloren durch das Beben und den anschließenden Tsunami ihr Leben. Die Region Sendai wurde besonders hart getroffen. Satellitendaten der deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X halfen im Rahmen der „International Charter on Space and Major Disasters“, Hilfsaktionen zu koordinieren. Dank der Radardaten konnten überschwemmte Gebiete (blau schraffierte Fläche) und zerstörte Infrastruktur erkannt sowie befahrbare von unbefahrbaren Straßen unterschieden werden. So konnten Hilfskonvois und Rettungskräfte ihre Ziele sicher erreichen.

On 11 March 2011, one of the most severe earthquakes ever recorded – with a magnitude of 9.0 on the Richter scale – shook Japan. The epicentre of the seaquake was in the Tohoku region, off the coast of Miyagi Prefecture, about 370 kilometres northeast of Tokyo and 130 kilometres east of Sendai. Almost 19,000 people lost their lives in the quake and the subsequent tsunami. The Sendai region was hit particularly hard. Satellite data from the German radar satellites TerraSAR-X and TanDEM-X helped coordinate relief efforts according to the ‘International Charter on Space and Major Disasters’. Thanks to radar data, flooded areas (blue shaded area) and destroyed infrastructure could be identified and roads that were passable could be distinguished from those that were impassable. This enabled aid convoys and rescue workers to reach their destinations safely.

Die Bilder des Copernicus Sentinel-2-Satelliten zeigen die Region Ahrweiler vor dem katastrophalen Starkregenereignis im Sommer 2021 (13. Juni, links) und danach (18. Juli, rechts). Die überfluteten Flächen und Schlamm-Massen rund um den Fluss Ahr sind aus dem All deutlich zu erkennen.

These pictures from the Copernicus Sentinel 2 satellite show the region of the German city Ahrweiler. This area was hardly effected by heavy rain during the summer 2021. The left picture (13 June) shows this region before and the right one (18 July) after the catastrophe has happened. The floated and mud areas should be pretty well detected by the satellite data.



Bild / Image: European Union, Copernicus Sentinel-2 imagery

On 11 March 2011, the Tohoku earthquake struck approximately 130 kilometres off the Japanese coast. It caused a tsunami of unprecedented magnitude and destroyed large parts of the east coast of Honshu, Japan’s main island. Over 300,000 houses and buildings were destroyed, and entire areas devastated. Roughly 600,000 people were directly affected by this disaster and 19,000 lost their lives. It was the strongest earthquake in Japan to date and also led to the destruction of the nuclear power plant in Fukushima.

The International Charter ‘Space and Major Disasters’ was activated immediately after the arrival of the tsunami. Satellite images produced by member organisations of the Charter were used by relief operations services for orientation amid this chaotic situation and provided an important basis for the planning and implementation of emergency measures. DLR provided valuable assistance by supplying up-to-date images from the TerraSAR-X and RapidEye satellites within a day. DLR’s Center for Satellite Based Crisis Information (ZKI) in Oberpfaffenhofen also contributed to the mapping work necessary to provide the rescue services with information that they could use immediately.

DLR has been a member of the Charter since 2010. It was created specifically to facilitate satellite-based assistance following major natural disasters. Space agencies and satellite operators from 14 different countries, including the European Space Agency (ESA), now work together to provide a rapid response to an average of 40 major catastrophes every year.

In 2012, the Charter’s European counterpart, the ‘Copernicus Emergency Management Service’, also began routine operations. In recent years, the activities of the Copernicus service have been significantly expanded to include the provision of early warnings of flooding, fires and droughts using satellite data.

Die mit Abstand häufigsten Naturkatastrophen sind meteorologisch bedingt: Stürme, sintflutartige Regenfälle, Überflutungen oder auch Hitzewellen und Dürreereignisse. Der finanzielle Schaden von Hurrikans wie „Florence“ und „Michael“, die im September und Oktober 2018 die Süd- und Ostküste der USA trafen, erreicht Milliardenbeträge. Ohne die frühzeitige Warnung vor Extremwetterlagen wären die finanziellen Auswirkungen ungleich höher, und viele Menschen könnten sich nicht rechtzeitig in Sicherheit bringen.

Es wird erwartet, dass wetterbedingte Naturkatastrophen durch den Klimawandel an Zahl und Intensität weiter zunehmen werden. Außerdem erhöht der steigende Meeresspiegel die Risiken für die Küstenregionen. Beispielsweise standen im März 2019 große Flächen in Mosambik tagelang unter Wasser, nachdem der Sturm Idai auf Land getroffen war. Eine halbe Million Menschen mussten fliehen. Die Bevölkerung mit Nahrungsmitteln zu versorgen und den Ausbruch von Seuchen wie Cholera und Typhus einzudämmen, stellt eine große Herausforderung für Hilfsorganisationen dar.

Überflutungen stellen besondere Anforderungen an die satellitengestützte Erdbeobachtung, da Wolken häufig die Sicht über dem betroffenen Gebiet verdecken. Aufnahmen der Erdoberfläche sind dann im Bereich des sichtbaren Lichts nicht möglich. Radarsatelliten wie der deutsche TerraSAR-X und der europäische Sentinel-1 hingegen senden ihre Signale durch Wolkendecken hindurch und empfangen das zurück geworfene „Echo“. Da die glatten Wasserflächen nur eine geringe Rückstreuung aufweisen, erscheinen überflutete Gebiete in den Radarbildern dunkel. Daraus erzeugte Karten ermöglichen den Einsatzzentralen, das gesamte Ausmaß der Katastrophe zu einem bestimmten Zeitpunkt zu überblicken und tragen so dazu bei, die Hilfskräfte vor Ort besser zu steuern.

Bild / Image: Denis Onyodi: IFRC/DRK/Climate Centre



Bild/Image: DLR/ZKI

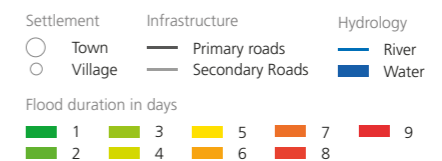
Am 15. März 2019 erreichte der tropische Zyklon Idai bei Beira die Küste von Mosambik. Er gilt als einer der schlimmsten tropischen Wirbelstürme auf der Südhalbkugel, der zu schweren Überschwemmungen führte. Nach dem Wirbelsturm kam es zu einer schweren humanitären Krise, bei der Hunderttausende von Menschen in ganz Mosambik und Simbabwe dringend Hilfe benötigten. Im Rahmen der „International Charter Space and Major Disasters“ unterstützte das DLR/ZKI die Aktivitäten des Krisenmanagements und lieferte TerraSAR-X-Daten. Die Karte zeigt die aus TerraSAR-X und Sentinel-Daten abgeleitete Überflutungsdauer in Tagen entlang des Rio Pungué zwischen dem 15. und 25. März 2019.

On 15 March 2019, Tropical Cyclone Idai reached the coast of Mozambique, near Beira. It is considered one of the worst tropical cyclones in the southern hemisphere and caused severe flooding. The cyclone was followed by a severe humanitarian crisis, with hundreds of thousands of people across Mozambique and Zimbabwe in need of urgent assistance. As part of the 'International Charter Space and Major Disasters', DLR/ZKI supported the crisis management activities and provided TerraSAR-X data. This map shows the duration of the flooding along the Rio Pungué in days, between 15 and 25 March 2019, derived from TerraSAR-X and Sentinel data.

By far, most natural disasters are meteorological in nature: storms, torrential rain, flooding, heat waves and droughts. Hurricanes such as Florence and Michael, which affected the south and east coasts of the USA in September and October 2018, caused billions of dollars' worth of damage. Without early warning of extreme weather conditions, many people would not have been able to get to safety in time, and the financial impact would have been far greater.

Weather-related natural disasters are expected to increase in number and severity due to global climate change. The rise in sea levels also presents a risk to coastal regions. In March 2019, for example, large areas of Mozambique were flooded for days following the landfall of Cyclone Idai, forcing half a million people to flee. Providing people with food and containing the outbreak of diseases such as cholera and typhoid is a major challenge for aid organisations.

Flooding is especially problematic for satellite-based Earth observation because clouds often obscure the view of the affected area. This makes it impossible to obtain images of Earth's surface using visible light. However, radar missions such as the German TerraSAR-X and the European Sentinel-1 satellites can transmit their signals through cloud cover and detect the reflected echo. As the smooth surface of standing water produces little backscatter, flooded areas appear dark in radar images. Maps generated in this way enable operations centres to see the full extent of the disaster at any given moment, and thus help them to better manage relief workers on the ground.



Ein weiteres Problem stellen großflächige Brände dar. Satelliten helfen, Risiken abzuschätzen sowie Brandherde und verbrannte Flächen zu lokalisieren. Der Copernicus-Dienst der EU stellt laufend Risikokarten zur Verfügung.

Die wissenschaftliche Analyse von Naturgefahren auf Basis von Satellitendaten trägt auch dazu bei, ein Bewusstsein für bestehende Risiken zu entwickeln. In der Folge können Frühwarndienste entwickelt werden. Im Bereich geologischer Gefahren wie Erdbeben, Vulkanausbrüchen und Bodenbewegungen durch Grundwasserentnahme oder Bergbautätigkeiten spielt die Radar-Interferometrie heute eine wichtige Rolle. Bei diesem Verfahren beobachtet man ein Gebiet in bestimmten Zeitabständen mehrere Male. Überlagert man diese Aufnahmen, können daraus horizontale und vertikale Bewegungen, die zwischen den Aufnahmen stattgefunden haben, abgeleitet werden. Die europäischen Satelliten Sentinel-1A und Sentinel-1B liefern alle paar Tage Daten für ganz Deutschland. Auf dieser Basis wurde der erste bundesweite Datensatz für den „Bodenbewegungsdienst Deutschland“ bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe erstellt. Dieser zeigt neben Bergbaufolgen auch Geländesenkungen infolge der Förderung von Erdgas. Solche Bewegungen führen meist nicht zu unmittelbaren Katastrophen, stellen aber dennoch ein erhebliches Risiko für Gebäude und Infrastruktur dar.

Large-scale fires are another danger. Satellites help to assess risks and locate fire sources and burnt areas of land. The EU's Copernicus service issues risk maps on an ongoing basis.

Scientific analysis of natural hazards based on satellite data can also help to build awareness of existing risks and lead to the development of early warning services. Today, radar interferometry plays an important role in the study of geological hazards such as earthquakes, volcanic eruptions, and ground movements due to groundwater extraction or mining activity. This method makes it possible to observe an area multiple times at specific intervals. Overlaying the images allows scientists to discern horizontal and vertical movements that have taken place between the times at which the images were produced. The European satellites Sentinel-1A and Sentinel-1B provide data for the whole of Germany every few days. An initial nationwide dataset was created on this basis at the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources as part of the 'Ground Motion Service Germany'. In addition to the consequences of mining, this dataset shows land subsidence caused by the production of natural gas. Such movements do not usually trigger immediate disasters, but they nevertheless pose a considerable risk for buildings and infrastructure.

Die Karte zeigt den Index für das Risiko von Bränden am 19. August 2018 während der Dürre in Europa. Grüne bis gelbe Flächen stellen ein geringes Brandrisiko dar, während die Rottöne ein hohes Brandrisiko andeuten. Das European Forest Fire Information System (EFFIS) stellt entsprechende Karten für die aktuelle Situation sowie rückblickend zur Verfügung.

This map shows the fire risk index on 19 August 2018, during the drought in Europe. Green to yellow areas represent a low fire risk, while red shades indicate a high fire risk. The European Forest Fire Information System (EFFIS) provides relevant maps, both for the current situation and retrospectively.

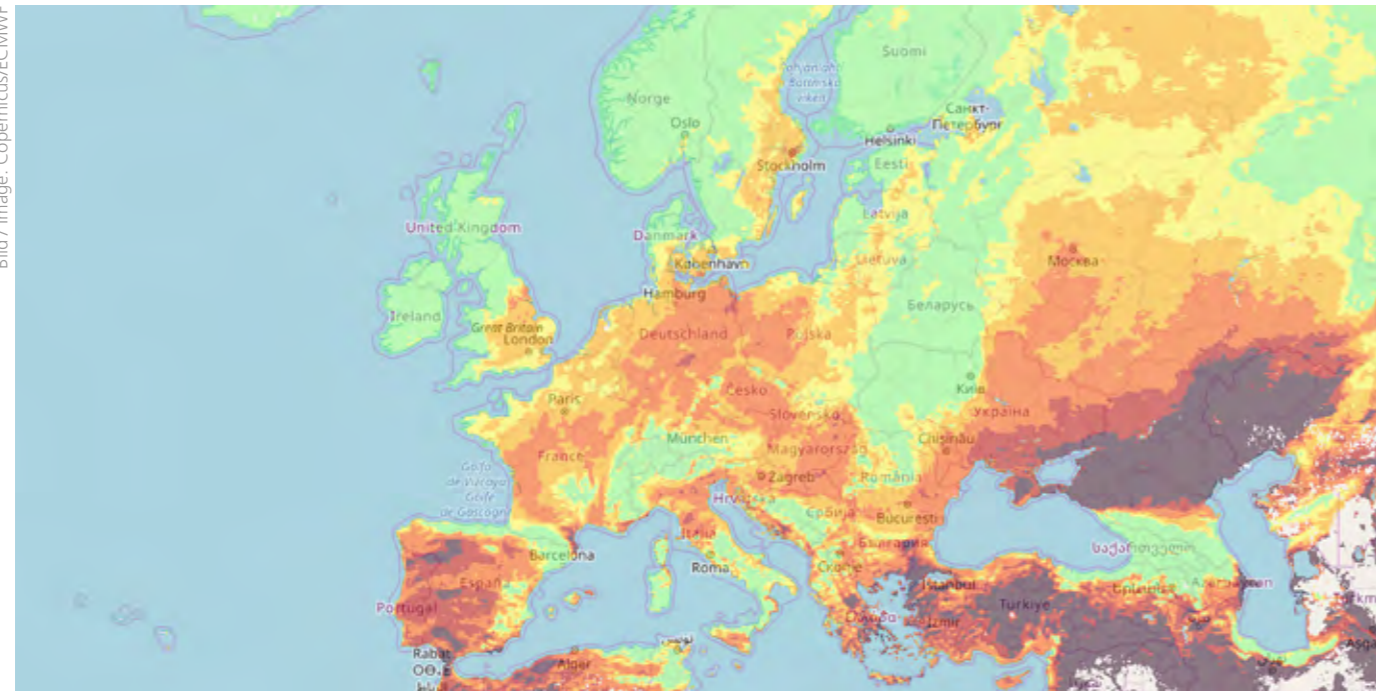


Bild / Image: Copernicus/ECMWF

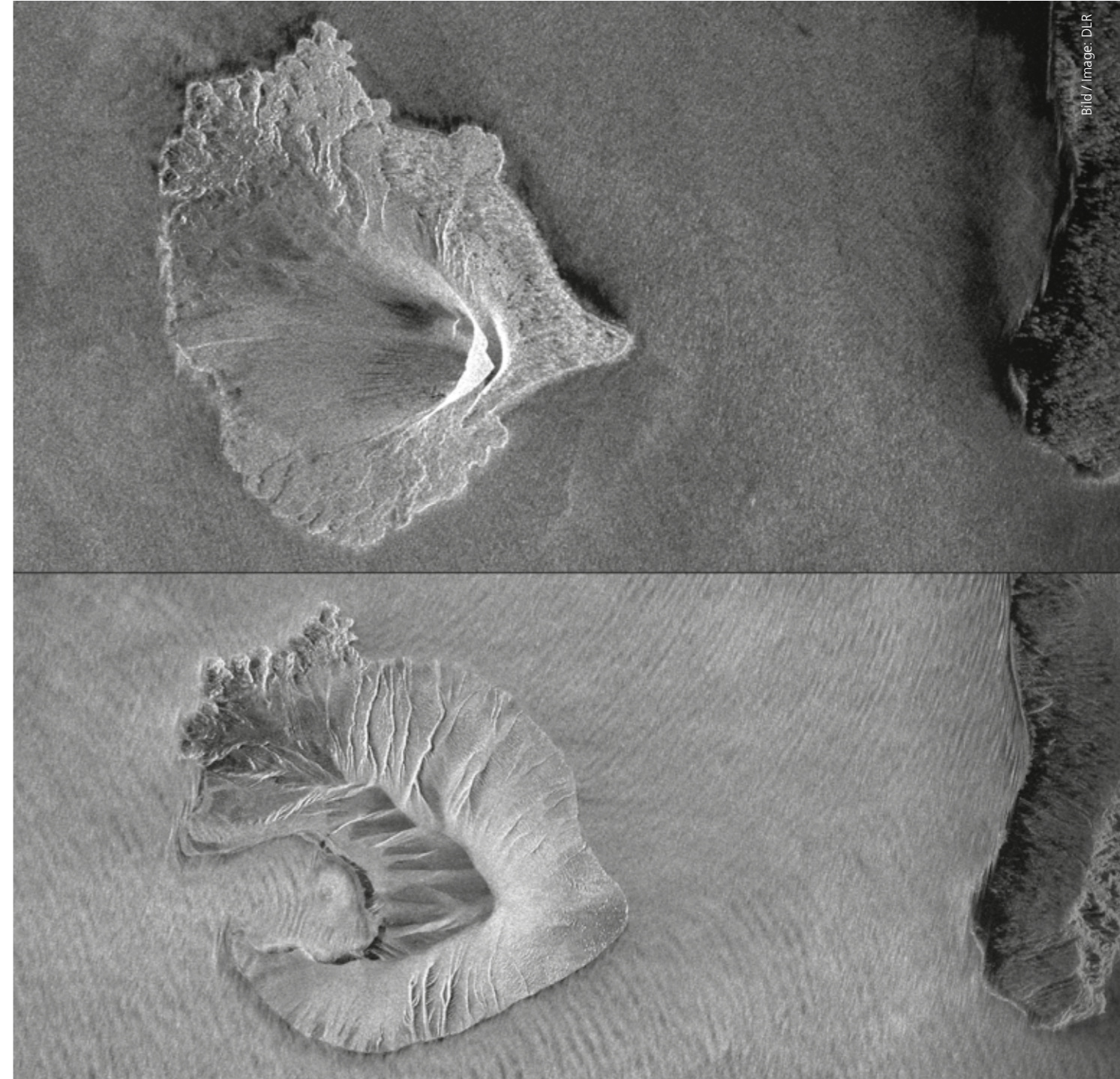


Bild / Image: DLR

Am 22. Dezember 2018 bewies der indonesische Vulkan Krakatau wieder einmal, dass er zu den explosivsten und gefährlichsten Vertretern seiner Art gehört. Manchmal bebte er täglich viele Male und gilt selbst unter den 130 aktiven Vulkanen der sogenannten Sundastraße als Pulverfass. Doch an diesem Tag war der Ausbruch des „Kindes des Krakatau“ (Anak Krakatau) – des aktivsten Vulkan-Schlots – so verheerend, dass der Vulkan kollabierte und eine gesamte Bergflanke an den Pazifischen Ozean verlor, wie man auf den Vorher-Nachher-Bildern der beiden deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X gut erkennen kann. Mehr als eine Million Kubikmeter Gestein rutschten ins Meer und setzten fatale Flutwellen in Bewegung. Auf den Inseln Sumatra und Java verwüstete ein Tsunami die Küsten. Die Wellen rissen 430 Menschen in den Tod, 14.000 wurden verletzt und über 30.000 verloren ihr Zuhause.

On 22 December 2018, the Indonesian volcano Krakatoa proved once again that it is one of the most explosive and dangerous of its kind. The volcano is located in one of Earth's most geologically active regions. Sometimes quaking several times in a single day, it is considered a notable powder keg even among the 130 active volcanoes of the Sunda Strait. But on this day, the eruption of Anak Krakatau (the Child of Krakatoa) was so powerful that the volcano collapsed and lost an entire mountainside to the Pacific Ocean. Over one million cubic metres of rock slid into the sea and generated catastrophic waves. On the nearby islands of Sumatra and Java, a tsunami devastated the coasts. 430 people were killed, 14,000 were injured and over 30,000 lost their homes.



Der Hurrikane Dorian, aufgenommen von dem europäischen Copernicus-Umweltsatelliten Sentinel-3, hat am 2. September 2019 die Bahamas mit voller Wucht getroffen. Mehr als zwei Tage tobte er über der Inselgruppe und brachte massive Zerstörungen mit sich. Dorian zählt zu den stärksten atlantischen Hurrikanes, die jemals beobachtet wurden.

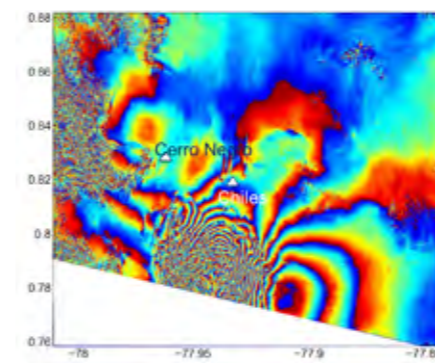
Hurricane Dorian, imaged by the Copernicus Sentinel-3 European environmental satellite, struck the Bahamas with full force on 2 September 2019. It raged over the archipelago for more than two days, causing massive destruction. Dorian is one of the strongest Atlantic hurricanes ever observed.

Mit bislang unerreichter Präzision können interferometrische Analysen mit den beiden deutschen Satelliten TerraSAR-X und TanDEM-X durchgeführt werden. Allerdings können im Vergleich zu Sentinel-1 nur kleinere Gebiete betrachtet werden, beispielsweise Vulkane. Forscher konnten zum Beispiel zeigen, dass sich der Ätna auf Sizilien rhythmisch hebt und senkt. Dies führt zu einem besseren Verständnis der Vorgänge im Innern des Vulkans. An anderen Vulkanen konnte beobachtet werden, dass sie sich durch aufsteigendes Magma im Untergrund regelrecht aufblähen. Gerade in Entwicklungs- und Schwellenländern, wo in der Regel keine teuren terrestrischen Messnetzwerke zur Verfügung stehen, sind die Satellitendaten essentiell wichtig, um Schlüsse über die drohenden Gefahren ziehen zu können. Auch wenn ein Vulkan bereits aktiv ist, können Radarsatelliten immer noch beobachten, was sich in seinem Krater abspielt.

Die satellitengestützte Erdbeobachtung ist auch ein wichtiges Instrument, um langfristige Umweltveränderungen zu erkennen, wie sie beispielsweise durch den Klimawandel und das Bevölkerungswachstum in vielen Regionen erzeugt werden. Wenn Weide- oder Ackerland dauerhaft verödet und Gewässer austrocknen oder verschmutzen, sind dies oft die traurigen Vorboten für Hungersnöte und Seuchen. Durch die heutige Verfügbarkeit von Satellitenbildern lassen sich solche Trends inzwischen frühzeitig erkennen. Für Entscheidungsträger sind „objektive“ Satellitenbilder oft verständlicher und glaubwürdiger als punktuelle bzw. möglicherweise falsche Informationen aus anderen Quellen. In diesem Sinne stellt die Erdbeobachtung aus dem Weltraum eine wichtige Informationsgrundlage für politische Entscheidungen zur Vermeidung von Krisen oder Verringerung von Katastrophenrisiken dar. Sie trägt so auch konkret zum UN-Sendai-Rahmenwerk zur Reduzierung von Katastrophenrisiken bei.

The German satellites TerraSAR-X and TanDEM-X can carry out interferometric analysis with unprecedented precision, but compared with Sentinel-1 they can only observe relatively small areas, such as volcanoes. For example, researchers can show that Mount Etna on Sicily is rising and falling periodically. This helps develop a better understanding of the processes occurring within the volcano. Other volcanoes have been observed expanding as magma rises below the surface. Satellite data are absolutely essential for drawing conclusions about impending dangers in developing and emerging countries, which generally lack expensive terrestrial measurement networks. Even after a volcanic event has begun, radar satellites are still useful, as they can observe what is happening inside the crater.

Satellite-based Earth observation is also an important tool for identifying long-term environmental changes, such as those caused in many regions by climate change and population growth. The desertification of pasture or arable land or the drying up or contamination of areas of water are often the sad harbingers of famine and widespread disease. The availability of satellite imagery means that such trends can now be identified at an early stage. For decision-makers, 'objective' satellite images are often more comprehensible and credible than selective or possibly incorrect information from other sources. Earth observation from space therefore constitutes an important source of information for making political decisions to avoid crises or reduce the risk of disasters. As such, it is making a real contribution towards the UN Sendai Framework for Disaster Risk Reduction.



Das Interferogramm (oben) – basierend auf TerraSAR-X-Aufnahmen vom 18. Oktober bis 27. November 2014 – zeigt die Vulkane Chiles und den Cerro Negro (Kolumbien/Ecuador). Die engen farbigen Ringe südlich der Vulkane stehen für Verschiebungen der Erdoberfläche durch ein Erdbeben im Oktober 2014. Die Behörden befürchteten, dass das Erdbeben der Vorbote eines gewaltigen Vulkanausbruches sein könnte. Das optische Satellitenbild rechts zeigt dieselbe Umgebung.

This interferogram (above), based on TerraSAR-X images acquired from 18 October to 27 November 2014, shows volcanoes in Chile and Cerro Negro (Colombia/Ecuador). The narrow coloured rings south of the volcanoes represent shifts in Earth's surface caused by an earthquake in October 2014, which authorities feared could be the harbinger of a massive volcanic eruption. The optical satellite image on the right is of the same environment.

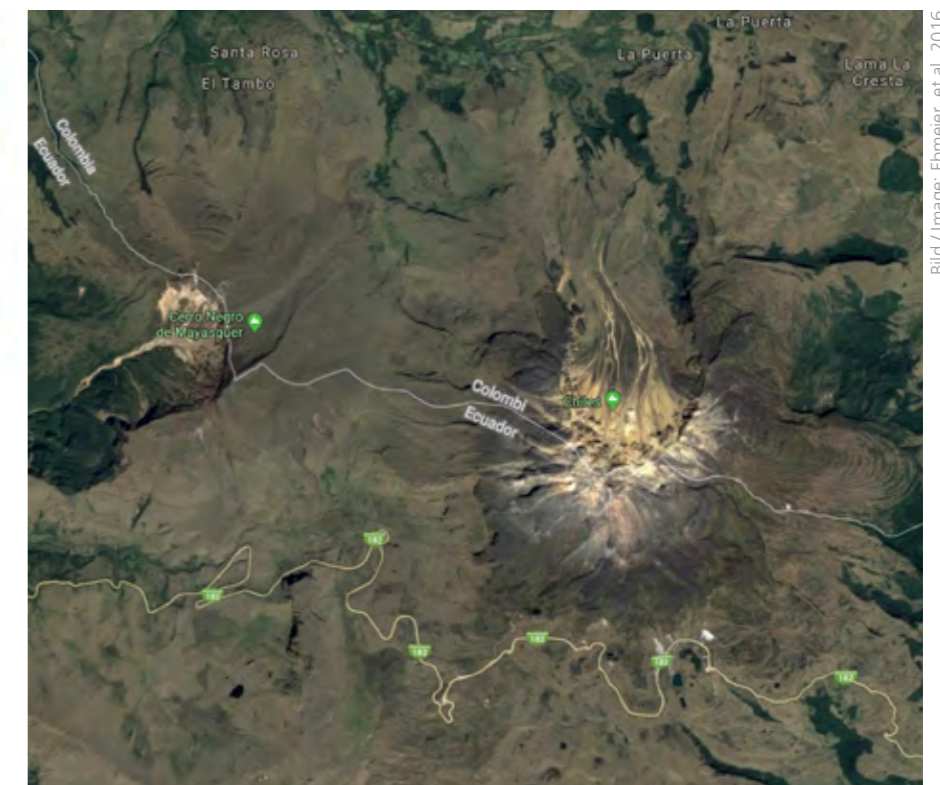




Bild / Image: US Department of Agriculture



LANDWIRTSCHAFT PRÄZISIEREN – WELTERNÄHRUNG SICHERN HELFEN

Durch den Strukturwandel in der Landwirtschaft werden die einzelnen Ackerparzellen immer größer. Gleichzeitig nehmen die Erwartungen an eine ökologisch nachhaltigere und gleichzeitig ertragreiche Bewirtschaftung zu. Ein Stichwort ist das sogenannte Greening: Landwirte erhalten 30 Prozent ihrer Direktzahlungen als Prämie von der EU nur dann, wenn sie bestimmte ökologische Leistungen – etwa die Erhaltung von Dauergrünland und ökologischen Nischen – erbringen. Diesen Anforderungen will die Landwirtschaft mit mehr biologischer Vielfalt begegnen. Und die Landwirte von heute setzen auf Präzision: Sie bewirtschaften ihre Flächen exakt gesteuert und zielgerichtet – auch mit Hilfe von Satelliten.

PRECISION AGRICULTURE FOR SECURING GLOBAL FOOD SUPPLIES

Due to structural changes occurring in the agricultural sector, the size of individual plots of arable land is continuously increasing. At the same time, there is growing demand for more environmentally sustainable farming with, at the same time, higher yields. 'Greening' is a key concept here. If farmers provide certain environmental services, such as maintaining permanent pasture and ecological niche, they receive 30 percent of their direct payments as an incentive from the European Union. The agricultural sector wants to address these requirements with greater biodiversity. Modern farmers rely on precision; they manage their land in a controlled and targeted manner, utilising various information sources, including satellites.



Landwirtschaft präzisieren – Welternährung sichern helfen

Precision agriculture for securing global food supplies

Bild / Image: contains modified Copernicus Sentinel data (2017-18), processed by ESA



Durch die anhaltenden hohen Temperaturen und einem Niederschlagsdefizit kam es im Sommer 2018 in Europa zu einer Dürre, die zu Ernteausfällen führte. Die Sentinel-2-Satellitendaten zeigen die Vegetationsunterschiede zwischen Juli 2017 und 2018 in Slagelse (Dänemark).

Persistent high temperatures and a precipitation deficit caused a drought in Europe during the summer of 2018 which resulted in crop failures. Sentinel-2 satellite data shows the differences in vegetation between July 2017 and 2018 in Slagelse, Denmark.

Große landwirtschaftliche Flächen weisen oft ungleichmäßige Standortbedingungen auf. Die Folge: Pflanzen gedeihen unterschiedlich gut und so ist der Ertrag oft nicht optimal. Die Präzisionslandwirtschaft (Englisch: Precision Farming) berücksichtigt die Unterschiede des Bodens und der Ertragsfähigkeit innerhalb eines Feldes. Satellitendaten helfen dem Landwirt bei der Bestellung des Ackerlandes, indem sie ihm Hinweise für die optimale Verteilung von Saatgut, Pflanzenschutzmittel, Dünger und Beregnungswasser geben. Dadurch wächst auch der Ernteertrag. Gerade unter den strengen EU-Vorgaben zu stickstoffhaltigem Dünger, Phosphaten und Pflanzenschutzmitteln ist Präzisionslandwirtschaft eine wichtige Maßnahme.

Bei dem satellitengestützten Precision Farming wird aus den Fernerkundungsdaten der Vegetationszustand beispielsweise eines Getreidefeldes bestimmt und in ein Geografisches Informationssystem eingegeben. Bei der Feldarbeit wird im Idealfall der Traktor per GPS genau gesteuert, während ein programmierbares Dosiergerät dafür sorgt, dass Dünger oder Wasser bedarfsgerecht aufgebracht wird. Die Anleitung dafür liefert die Fernerkundung, die zuvor den Vegetationszustand ermittelt hat. Liegen von einem Feld Aufnahmen aus mehreren Jahren vor, so lässt sich daraus eine Karte der Bodengüte erstellen, Saatgut und Bewässerung können so individuell dosiert werden.

Die Sentinel-2-Satelliten sind mit ihren 13 Kanälen im sichtbaren und infraroten Spektrum für die Beobachtung der Landoberfläche optimiert. Außerdem ermöglicht die hohe Wiederholrate der Sentinels (alle fünf Tage ein neues Bild) die Auswertung langer Zeitreihen. Nicht zuletzt durch ihre hohe räumliche Auflösung von bis zu zehn Metern sind sie ideal für die Detektion von Vegetationsveränderungen, die Kartierung von Waldbeständen oder auch die Erstellung von Erntevorhersagen.

Aus simulierten Daten der nationalen Hyperspektralmission EnMAP kann eine Vielfalt an pflanzlichen Inhaltsstoffen, beispielsweise der Chlorophyll- und Carotinoidgehalt, und strukturellen Variablen wie etwa der Blattflächenindex quantitativ erfasst werden. Die Werte dienen als Indikator für die aktuelle Nährstoffversorgung und den Zustand der Pflanzen in unterschiedlichen Wachstumsstadien. Auf diese Weise ergibt sich gegenüber den bisher genannten multispektralen Sensoren ein deutlicher Mehrwert im Hinblick auf den Zustand der Anpflanzungen. Die Landwirte können somit frühzeitig die passenden Maßnahmen ergreifen, um Ernteverluste vorzubeugen.

Deutsche Dienstleistungsunternehmen, welche die Karten erstellen und die Landwirte technisch unterstützen, sind mittlerweile international aktiv, zum Beispiel in Mexiko und Brasilien, wo sehr viel größere Felder bearbeitet werden als in Deutschland.



Bild / Image: Diegeler/DLR/Vista GmbH

Landwirte bekommen Unterstützung aus dem Welt- raum: Satellitenkarten verraten dem Bauern Schwächen und Stärken seiner Felder, unterstützen ihn bei seinen Entscheidungsprozessen und tragen so zu einer digitalen, nachhaltigeren Landwirtschaft bei.

Farmers are now receiving support from space; satellite maps inform farmers about the strengths and weaknesses of their fields and support them in their decision-making processes, thus contributing to digital, and more sustainable agriculture.

Large agricultural areas often exhibit uneven site conditions. As a result, plants flourish better in certain locations, and so the overall yield is often suboptimal. Precision farming considers differences in soil and yield within an individual field. Satellite data help farmers cultivate arable land by advising them on the optimal distribution of seeds, pesticides, fertilisers and irrigation water. This also increases crop yield. Precision farming is an extremely useful measure, especially considering the strict EU requirements regarding nitrogenous fertilisers, phosphates and pesticides.

In satellite-based precision farming, the vegetation conditions of a grain field, for example, can be determined from remote sensing data and entered into a geographic information system. In the ideal case, the tractor is precisely controlled by GPS, while a programmable dosing device ensures the fertiliser or water is applied as required. The instructions for this are provided via the same remote sensing source that previously determined the condition of the vegetation. Images of the same field over several years can be used to create a map of the soil quality, allowing seeds and irrigation to be distributed in a way that suits the varying conditions.

The Sentinel-2 satellites with 13 channels in the visible and infrared spectrum are optimised for observing the land surface. In addition, the short revisit period of the Sentinels (one new image every five days) allows longer time series to be evaluated. Their high spatial resolution of up to 10 metres also makes them ideally suited for detecting changes in vegetation, mapping forest stands and generating harvest forecasts.

An array of plant constituents, such as the chlorophyll and carotenoid content, and structural variables such as the leaf area index can be quantitatively recorded using simulated data from the German national hyperspectral mission EnMAP. These readings serve as indicators for the current nutrient supply and the condition of plants at different stages of growth. This is a major advancement in terms of determining the condition of cultivated areas when compared to the multispectral sensors mentioned above. Farmers will be able to take appropriate measures at an early stage to prevent crop losses.

German service companies that create the maps and provide farmers with technical support have now expanded their work internationally, to countries such as Mexico and Brazil, where much larger fields are the norm.

Was im ersten Moment wie ein Flickenteppich aussehen mag, ist in Wirklichkeit eine wichtige Information für die Landwirtschaft. Die unterschiedliche Vegetation kann aus dem All von RapidEye-Satelliten sichtbar gemacht werden. Diese Daten liefern Bauern wichtige Informationen über den Zustand ihrer Felder – in diesem Fall im Landkreis der Mecklenburg-Vorpommerschen Kleinstadt Demmin. In der Arbeitsgruppe „Kalibrations- und Validationseinrichtung DEMMIN“ des DLR werden Informationen für landwirtschaftliche Anwendungen aus Fernerkundungsdaten abgeleitet. Um die Anwendungen der Informationsprodukte abzusichern, besteht eine lang-jährige Kooperation mit den Landwirten in dem Landkreis, die sich in der „Interessengemeinschaft Demmin“ zusammengeschlossen haben.

What may look like a patchwork quilt at first glance is actually vital information for agriculture. RapidEye satellites make it possible to visualise different forms of vegetation from space. This data provides farmers with important information about the condition of their fields – in this case, in the district of Demmin, a small town in Mecklenburg-Vorpommern. Information for agricultural applications is derived from remote sensing data by DLR's 'DEMMIN Calibration and Validation Facility' working group. To safeguard the applications of the information products, there is a long-standing cooperation with the farmers in the district, who have come together in the 'Demmin Community of Interest'.



Bild / Image: RapidEye AG



Bild / Image: DLR

Die Digitalisierung hat Einzug in die Forstwirtschaft gehalten. Dem Förster von heute helfen computer-gestützte Waldinformations- und Waldmanagement-systeme, die ihm völlig neuartige Möglichkeiten zur Informationsgewinnung bieten. Auch Satellitendaten können hier weiterhelfen.

Digitalisation has found its way into forestry. Today's foresters are assisted by computer-based forest information and forest management systems that offer them entirely new ways of obtaining relevant information. Satellite data can also help here.

Innerhalb der Europäischen Union ist das Monitoring auf der Basis von Erdbeobachtungs-daten (Sentinel-Daten) bereits Realität. Das Verfahren ersetzt Stichprobenüberprüfungen. Den Hintergrund bildet das Integrierte Verwaltungs- und Kontrollsystem für Agrar-Subventionen (InVeKoS) der Europäischen Kommission. Seit der Förderperiode 2020 ist das Monitoring-verfahren verpflichtend. Durch diese Umstellung soll ein Großteil der Vorortkontrollen wegfallen und das System insgesamt effizienter werden. Auf europäischer und nationaler Ebene werden einige Pilotprojekte (z. B. das SEN4CAP-Projekt der ESA) durchgeführt, um Erfahrungen beim Einsatz der Technik zu sammeln.

Auch in der Forstwirtschaft werden räumlich hochaufgelöste Karten eingesetzt. Dies dient unter anderem dazu, voneinander abweichende nationale und internationale Definitionen zu vereinheitlichen. Im Rahmen von Copernicus werden europaweit hochaufgelöste Daten zu Waldtypen und dem entsprechenden Bedeckungsgrad geliefert, um eine umfangreiche Forstkartierung zu ermöglichen. Nutzer solcher Dienste sind die Europäische Umweltagentur oder untergeordnete Behörden. In Rheinland-Pfalz werden in dem Projekt Sentinels4GRIPS Baumarten mit Hilfe von Satellitenaufnahmen klassifiziert. Die Daten gehen in ein digitales Inventursystem ein und unterstützen so die turnusmäßige Waldinventur.

Mit regelmäßigem Monitoring lassen sich in großen Waldgebieten Schäden kartieren, wie sie nach Stürmen, Bränden oder Schädlingsbefall entstehen. Dies ist nicht nur in unübersicht-lichen, schwer zugänglichen Regionen, sondern auch in deutschen Wäldern sehr hilfreich, wenn nach Schadenfällen schnelle und vergleichbare Informationen benötigt werden.

Die ständig wachsende Weltbevölkerung stellt die Menschheit vor große Herausforderungen. Schon jetzt leiden weit mehr als 800 Millionen Menschen unter Hunger und Unterernährung. Satelliten können zur Lösung dieses Problems beitragen. In Kombination mit Modellen und lokalen Daten ist es möglich, den Wachstumsgrad und Gesundheitszustand der Feldfrüchte zu kartieren und Ertragsprognosen abzugeben. So können rechtzeitig Vorkehrungen für Hilfs-lieferungen bei sich abzeichnenden Dürren getroffen werden.

Das internationale GEO Global Agricultural Monitoring Program (GEOGLAM) zeigt erfolgreich die Nutzbarkeit solcher Informationen für Organisationen wie die UN Food & Agriculture Organisation oder das World Food Program und bietet Entscheidungshilfen für notwendige Maßnahmen. Dazu trägt auch der Copernicus Global Land Service maßgeblich bei, der routi-nemäßig und verlässlich entsprechende Informationen produziert.

Als Grundlage dienen die Daten der Sentinel-Satelliten, insbesondere von Sentinel-2. Sein Multispektral-Instrument MSI generiert optische Bilder mit einer Auflösung von bis zu zehn Metern bei einer Bildbreite von 290 Kilometern. Sentinel-2 liefert damit umfassend und nach-haltig Daten, die als Grundlage für operationelle Dienste in den Bereichen Landwirtschaft (Nutzung, Bedeckung, Versiegelung), Forstwirtschaft (Bestand, Schäden, Waldbrände), Katas-trophenschutz (Management, Frühwarnung) und humanitäre Hilfeinsätze dienen. Daneben werden auch Wetterdaten von Meteosat sowie bei häufiger Bewölkung Radaraufnahmen von TerraSAR-X und Sentinel-1 benötigt.

Within the European Union, monitoring based on Earth observation data (from the Sentinel satellites) is already a reality and is replacing on-site checks. Within the European Commission's Integrated Administration and Control System for Agricultural Subsidies (IACS), the monitoring process will be mandatory from the 2020 funding period. Most on-site checks will cease to take place once the changeover is complete, making the system more efficient. A number of pilot projects, such as the European Space Agency's (ESA) Sen4CAP, are being carried out in Germany and the rest of Europe to acquire experience using the technology.

High-resolution mapping is also used in forestry to standardise different national and internati-onal definitions, among other things. Copernicus provides high-resolution data on forest types across Europe and the degree of coverage, which is used for extensive forest mapping. Users of such services are the European Environment Agency and its subordinate organisations. In the Rhineland-Palatinate region of Germany, tree species are classified with the help of satellite imagery as part of the Sentinels4GRIPS project. The data is fed into a digital inventory system and thus provides support for regular forest inventory processes.

If regular monitoring is in place, damage, for instance after storms, fires, or pest infestations, can be mapped in large areas of forest. This not only proves useful in areas that are complex and difficult to access, but also in German forests when fast and comparative information is needed quickly in the event of damage.

The ever-growing global population poses great challenges for humankind. Over 800 million people are already suffering from hunger and malnutrition. Satellites can help solve this prob-lem. When their data is combined with models and local information, the degree of growth and state of health of the crops can be mapped to make yield forecasts. This way, provisions can be made for timely deliveries of aid in the event of impending droughts.

The GEO Global Agricultural Monitoring Program (GEOGLAM) has successfully demonstrated the value of such information for organisations such as the UN Food and Agriculture Organi-zation or the World Food Programme when deciding which actions to take. The Copernicus Global Land Service also significantly contributes by routinely and reliably producing relevant information.

Bild / Image: DLR



The data from the Sentinel satellites, especially the Sentinel-2, offers the foundation for this. Their Multispectral Instrument (MSI) generates optical images with a resolution of up to 10 metres and an image swath width of 290 kilometres. Thus, Sentinel-2 provides comprehensive, sustainable data that serve as a basis for operational services in agriculture (use, coverage, sealing), forestry (stock, damage, forest fires), civil protection (management, early warning) and huma-tarian aid missions. These services also require weather from Meteosat and, given the frequent cloud cover, images from TerraSAR-X and Sentinel-1.

Der Vegetationszustand von Wäldern und Feldern lässt sich gut aus dem All erfassen. Die gesammelten Satellitendaten – hier von den deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X – können Forst- und Landwirten bei ihrer Arbeit helfen, indem sie zum Beispiel Informationen für eine Waldinventur oder einen sorgfältigen Düngemiteleinsatz liefern.

The vegetation condition of forests and fields can be accurately recorded from space. Satellite data – such as that collected by the German radar satellites TerraSAR-X and TanDEM-X shown here – can assist forestry and agriculture work by providing the information necessary to conduct a forest inventory or ensure careful fertiliser use, for example.



Bild / Image: Nate Littlejohn/US Coast Guard

VERKEHR SICHERN

Viele Verkehrsmittel auf dem Land, im Wasser und in der Luft nutzen Satellitendaten. Navigationsdienste dienen beispielsweise der Logistik. Wettervorhersagen sorgen insbesondere in der Luft- und Schifffahrt für Sicherheit. Zunehmend kommen aber auch Erdbeobachtungssatelliten zum Einsatz, um Schiffe vor schwerem Seegang und Eis zu warnen. Selbst bei Piraterie beweisen sie ihr Potenzial.

SAFEGUARDING TRANSPORT

Satellite data is used by various types of land, sea and air transport. Navigation services are used for logistics, and weather forecasting ensures safety for aviation and shipping. Earth observation satellites are also increasingly used to warn ships of rough seas and ice, and are even proving their worth in combating piracy.



Verkehr sichern Safeguarding transport

Rund 50.000 Handelsschiffe sind derzeit auf den Ozeanen unterwegs und transportieren über neun Milliarden Tonnen Güter pro Jahr. Mehr als 90 Prozent des gesamten Welthandels werden über See abgewickelt. Die Sicherheit dieser Flotte zu garantieren, trägt zur Sicherung des globalen Handels bei.

Insbesondere auf Hoher See bieten Satelliten neue Möglichkeiten der Überwachung. Sie erkennen Schiffe und bestimmen deren genaue Positionen. Die zeitversetzten Aufnahmen der deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X ermöglichen die Geschwindigkeit von Schiffen bis auf etwa einen Kilometer pro Stunde genau zu ermitteln. Die maritime Anwendung des TerraSAR-X/TanDEM-X-Verkehrsprozessors TTP macht außerdem die Messung der Tidengeschwindigkeit (Gezeitenströmung) und das Aufspüren von kleinen Speedbooten zur Unterbindung von Schmuggelrouten möglich. Auch havarierte Container oder größeres Treibgut nach Schiffsunfällen können Satelliten erkennen und als potenzielle Gefahr für die Schifffahrt belegen.

Im Rahmen des vom DLR geförderten Projekts DeMarine wurden solche Anwendungen getestet. So wurde ein echtzeitfähiger Schiffsdetektions-Algorithmus an der DLR-Antennenstation in Neustrelitz eingeführt, mit dem Schiffe anhand von TerraSAR-X-Bilddaten erkannt und die Ergebnisse an Nutzer geliefert werden können.

Eine der größten Gefahren auf Hoher See sind Wellen, die Schiffe unkontrolliert um ihre Längsachse aufschaukeln. Das sogenannte parametrische Rollen tritt dann ein, wenn Abstand und Höhe von Wellenzügen mit einer bestimmten Geschwindigkeit und Richtung das Schiff in eine extreme Krängung zwingen.

In einem Seegangsexperiment konnten Wissenschaftler des DLR zeigen, dass sich Satellitendaten sehr gut eignen, um Schiffe vor solchen Gefahren zu warnen. In diesem Versuch wurden National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)- und Meteosat-Aufnahmen für die aktuelle Wettervorhersage genutzt sowie aus den Radardaten von Envisat und TerraSAR-X die Wind- und Seegangsfelder bestimmt. Diese kombinierten Daten wurden mit Vor-Ort-Messungen des Forschungsschiffes Polarstern verifiziert. Das Experiment hat gezeigt, dass sich solche Daten zukünftig in meteorologische Vorhersagen einbeziehen lassen und Warnungen für die Schifffahrt ermöglichen. Der Radarsatellit Sentinel-1 verbessert diese Möglichkeit seit 2014 weiter.

Die 80 Kilometer schmale Bering-Straße trennt Russland von Alaska. Normalerweise ist sie im Frühjahr noch mit Eis bedeckt. Doch als sie der europäische Copernicus-Satellit Sentinel-1 am 7. März 2019 aufgenommen hat, war die Meerenge eisfrei und damit von Schiffen passierbar. Das Eisvorkommen in der Bering-Straße nimmt seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1850 immer weiter ab. Dadurch nimmt der Schiffsverkehr in dieser Passage stetig zu. Sentinel-1 liefert Daten, die für die See-Eisbestimmung genutzt werden können und hilft dadurch, den Schiffsverkehr auch in den arktischen Gefilden sicherer zu machen.

The 80-kilometre narrow Bering Strait separates Russia from Alaska. It is usually covered in ice in spring. But when the European Copernicus satellite Sentinel 1 imaged it on 7 March 2019, the strait was ice-free and thus passable by ships. The ice cover in the Bering Strait has been steadily decreasing since records began in 1850. As a result, shipping traffic in this passage is steadily increasing. Sentinel 1 provides data that can be used for sea ice determination and thus helps to make shipping safer in the Arctic region.

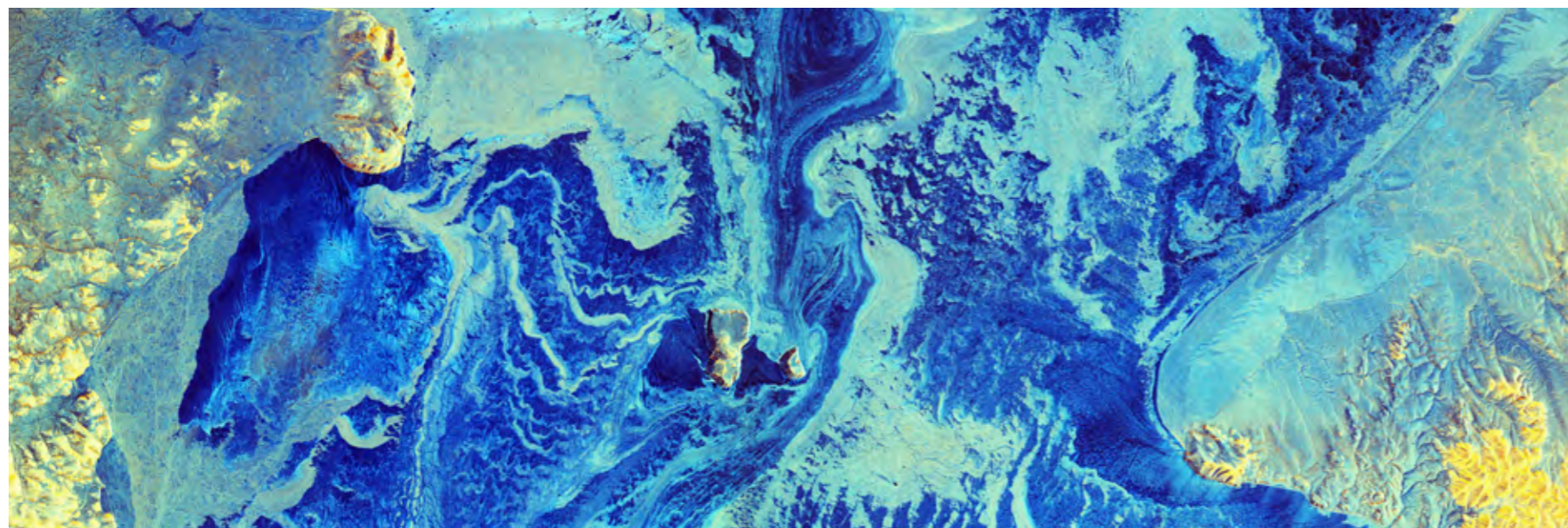


Bild / Image: contains modified Copernicus Sentinel data (2019), processed by ESA

Bild / Image: Processing: German Aerospace Center (DLR) / Data: Vesselfinder and Flightradar24



Schiffahrts- und Flugrouten vom Weltraum aus gesehen: Alle Schiffe und Flugzeuge stoßen geringe Mengen an Treibhausgasen aus. Satelliten wie der European Sentinel-5 Precursor detektieren und kartieren diese Spurengase. Alle Schiffs- und Flugzeugrouten können aus dem Weltraum kartiert werden und bilden ein Mosaik wie das in diesem Bild gezeigte. Die Schifffahrt macht den Großteil des weltweiten Warenverkehrs aus. Angesichts der stark genutzten Handelswege ist es leicht zu verstehen, warum ein blockierter Kanal schnell Folgen für den globalen Handel hat. Während Handelsschiffe auf möglichst geraden Wegen zwischen den Häfen fahren, zeigen andere Schifffahrtsrouten wilde Muster. Die Seehandelsrouten (blau) und die Luftstraßen (orange) sind auf dem Stickstoffdiagramm dargestellt, das nur vier Wochen Verkehr im Jahr 2019 zeigt. Die unterschiedlichen Farben der Routenlängen markieren die wirtschaftlichen Schwergewichte rund um den Globus. Die starke Vernetzung ist auch ein Indiz für den Ressourcenverbrauch. Und so zeigt sich das Muster auch bei Stickoxiden.

Shipping and flight routes seen from space: All vessels and aircraft emit small quantities of greenhouse gases. Satellites such as the European Sentinel-5 Precursor detect and map these trace gases. All shipping and airplane routes can be mapped from space, and form a mosaic like the one shown in this image. Shipping accounts for the majority of global goods traffic. Given the heavily used trade routes, it is easy to understand why a blocked channel quickly has consequences for global trade. While merchant ships travel the straightest possible route between ports, other shipping routes show wild patterns. The maritime trade routes (blue) and the airways (orange) are shown on the nitrogen diagram, which shows just four weeks of traffic in the year 2019. The different colours of the route lengths highlight the economic heavyweights all around the globe. The strong interconnection is also an indication of resource consumption. And so the pattern shows up in the same way for nitrogen oxide.

Approximately 50,000 merchant vessels are currently sailing the seas, transporting more than nine billion tonnes of cargo every year. More than 90 percent of all world trade is carried by sea. Ensuring the safety of these fleets contributes to securing global trade.

Gefahr durch Wellen, Eis und Piraten Danger from waves, ice and pirates

Satellites offer new possibilities for surveillance, particularly for ships in open waters. They can detect vessels and pinpoint their exact position. Time-delayed images from the German radar satellites TerraSAR-X and TanDEM-X make it possible to determine the speed of ships to within approximately one kilometre per hour. The maritime application of the TerraSAR-X/TanDEM-X traffic processor (TTP) enables tidal flow velocity measurements and the detection of small speedboats in an effort to prevent and eliminate smuggling activities. Satellites can also detect damaged shipping containers and large flotsam resulting from accidents at sea, which could pose a potential threat to shipping.

Such applications have been tested as part of the DLR-funded DeMarine project. For example, an algorithm for real-time ship detection was introduced at the DLR ground station in Neustrelitz. With this algorithm ships are detected using TerraSAR-X image data and the results delivered to users.

Out at sea, one of the biggest hazards is waves that cause ships to roll uncontrollably about their longitudinal axis. Referred to as parametric rolling, this occurs when the spacing and height of waves travelling at a particular speed and in a specific direction force the ship to heel at an extreme angle.

During an experiment conducted under rough sea conditions, DLR researchers showed that satellite data are well suited to warn ships of such dangers. In this experiment, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and Meteosat images were used for ongoing weather forecasting, while the wind and wave fields were determined using radar data from Envisat and TerraSAR-X. These combined data were verified using on-site measurements performed by the research vessel Polarstern. The experiment revealed that such data can be incorporated into future meteorological forecasts and enable warnings for shipping. The Sentinel-1 radar satellite has improved this capability since 2014.



Jedes Jahr müssen Eisbrecher für bis zu 7.000 Schiffe den Weg durch die Ostsee frei machen. Satelliten liefern hierfür Karten der Eisdicke und sichten gefährliche Eisberge, die sich zu Tausenden in diesem Gebiet aufhalten. Die nach dem Untergang der Titanic gegründete International Ice Patrol erhält die Daten innerhalb von 30 Minuten nach der Satellitenaufnahme, baut diese Informationen in Drift- und Schmelzmodelle und leitet daraus Vorhersagen über die Bewegung der Eisberge ab. Diese Informationen bieten Schutz vor Unfällen und reduzieren die Einsätze von Eisbrechern auf das absolut notwendige Maß. Schätzungen zufolge lässt sich dadurch die Hälfte des Treibstoffs für die Eisbrecher einsparen. Die Zeitersparnis senkt zudem die Einsatzkosten um bis zu 2.000 Euro pro Tag. Die Sentinel-1-Satelliten erhöhen mit ihren Radaraufnahmen die Datenverfügbarkeit und ermöglichen damit die regelmäßige Wiederholung der Überwachung.

In den letzten Jahren hat sich die Piraterie vor der Küste Somalias drastisch verschärft. Die UN schätzen die damit verbundenen jährlichen Kosten auf fünf bis sieben Milliarden US-Dollar. Das International Maritime Bureau (IMB) registrierte im Jahr 2019 162 Piratenangriffe. Im Rahmen des Copernicus Maritime Surveillance (CMS) Service werden erdbeobachtungs-basierte Produkte entwickelt, die die Gefahr für die Schifffahrt reduzieren können. Mit Radarsatelliten lassen sich gekaperte Schiffe eindeutig identifizieren und ihre Positionen und Bewegungen verfolgen – eine einzigartige Möglichkeit, sobald ein Schiff nicht über das Automatic Identification System (AIS) auffindbar ist. AIS sendet routinemäßig Positionsinformationen an Landstationen, wird aber von Piraten nach Übernahme eines Schiffes in der Regel sofort abgeschaltet.

Insbesondere die unterschiedlichen Auflösungsmodi und Steuerbarkeit des Antennenstrahls von TerraSAR-X erweisen sich als extrem nützlich in diesem Zusammenhang. Schon Ende 2008 konnte der gekaperte, unter liberianischer Flagge fahrende saudi-arabische Supertanker „Sirius Star“ genau lokalisiert und sein Weg verfolgt werden. Die mit rund zwei Millionen Barrel Rohöl im Wert von rund 100 Millionen US-Dollar beladene „Sirius Star“ war auf dem Weg vom Persischen Golf in die USA, als sie vor der kenianischen Küste angegriffen und in somalische Gewässer nahe der Stadt Harardheere geschleppt und knapp drei Monate festgehalten wurde – der bedeutendste Piratenüberfall in der heutigen Zeit. Auf Bildern mit hoher Auflösung waren sogar die Brücke, die Tankleitungen und die Helikopterdecks des 332 Meter langen Schiffes zu erkennen. Durch diese Detailaufnahmen können Erdbeobachtungssatelliten wichtige Informationen zur Pirateriebekämpfung beisteuern.

Ein Sentinel-1-Satellit des europäischen Copernicus-Programms hat am Morgen des 8. Oktober 2018 zum ersten Mal Bilder von einem Ölfilm aufgenommen, der durch eine Kollision zweier Schiffe im Mittelmeer nördlich der französischen Insel Korsika entstanden ist. Der Zusammenstoß ereignete sich einen Tag zuvor. Erstreckte sich der Ölfilm beim ersten Überflug noch über eine Länge von 20 Kilometern, ist er am Abend bereits auf 35 Kilometer angewachsen. 24 Stunden später war er schon 60 Kilometer lang. Mit den Umweltsatelliten lassen sich die Ausmaße solcher Ereignisse aus dem Weltraum sehr leicht dokumentieren.

On the morning of 8 October 2018, a Sentinel-1 satellite of the European Copernicus programme captured the first images of an oil slick caused by a collision between two ships in the Mediterranean Sea north of the French island of Corsica. The collision occurred a day earlier. While the oil film extended over a length of 20 kilometres during the first overflight, it had already grown to 35 kilometres by the evening. Twenty-four hours later, it was already 60 kilometres long. The environmental satellites make it possible to easily document the extent of such events from space.

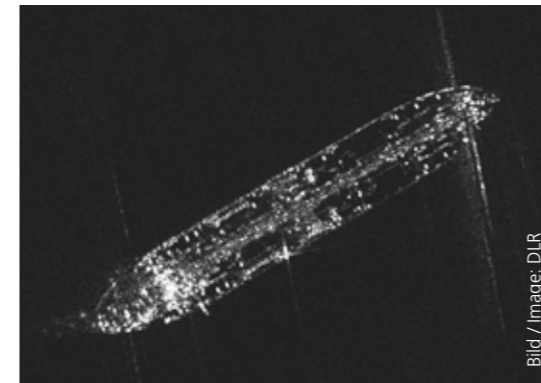


Bild / Image: DLR



Bild / Image: US Navy

Every year, icebreakers must clear a path through the Baltic Sea for up to 7000 ships. To assist them, satellites enable maps that provide information about ice thickness as well as the location of thousands of dangerous icebergs floating in the region. The International Ice Patrol, which was established after the sinking of the Titanic, receives the data within 30 minutes of a satellite image being acquired, and uses this information to generate iceberg drift and melt models. It thus enables predictions to be made about the movement of the icebergs. Such information prevents accidents and reduces the use of icebreakers to a minimum. It is estimated that this will save up to half of the fuel normally used by icebreakers. The time saved also lowers deployment costs by up to 2000 euro per day. Thanks to their radar images, the Copernicus Sentinel-1 satellites increase the availability of data and enable repeated monitoring on a regular basis.

Piracy off the coast of Somalia has increased dramatically in recent years. According to UN estimates, this amounts to costs between five and seven billion US dollars per year. In 2019, the International Maritime Bureau (IMB) registered 162 pirate attacks. As part of its service, Copernicus Maritime Surveillance (CMS) develops Earth observation-based products that can reduce the risk to shipping. If a ship cannot be found via the Automatic Identification System (AIS), radar satellites can be used to identify hijacked ships quickly and track their positions and movements. AIS routinely sends position information to shore stations but is usually turned off by pirates immediately after a ship has been seized.

The different resolution modes and controllability of TerraSAR-X's antenna beam have proven extremely useful in this context. At the end of 2008, the hijacked Saudi Arabian supertanker Sirius Star, which was sailing under a Libyan flag, was precisely located and its route tracked. Carrying two million barrels of crude oil worth around 100 million US dollars, the Sirius Star was making its way from the Persian Gulf to the United States when it was attacked off the coast of Kenya and towed into Somalian waters near the town of Harardhere. It was detained there for almost three months, making it the most significant pirate attack in modern times. The bridge, tank lines and helicopter decks of the 332-metre-long ship were clearly visible in the high-resolution images. By providing images with this level of detail, Earth observation satellites can serve as an important source of information for combating piracy.



BODENSCHÄTZE FINDEN – BERGBAUFOLGEN ÜBERWACHEN

Die rasch wachsende Weltbevölkerung benötigt immer mehr Energie und Ressourcen. Gleichzeitig wird die Suche nach Bodenschätzen zunehmend aufwändiger und teurer. Mit Satellitendaten lassen sich seltene Minerale, Öl- und Gasvorkommen und sogar unterirdische Wasserquellen aufspüren. Gleichzeitig helfen sie dabei, mögliche Schäden durch den Abbau von Bodenschätzen zu erkennen und zu dokumentieren.

FINDING MINERAL RESOURCES AND MONITORING THE EFFECTS OF MINING

The rapidly growing world population requires more and more energy and resources. At the same time, the search for natural resources is becoming increasingly difficult and expensive. Satellite data can be used to detect rare minerals, oil and gas deposits, and even discover underground water sources. At the same time, they help to identify possible damage caused by the extraction of mineral resources.



Bodenschätze finden – Bergbaufolgen überwachen

Finding mineral resources and monitoring the effects of mining

Alle an der Oberfläche vorkommenden Mineralien und Bodenbestandteile, wie auch bedeutende Rohstoffe (zum Beispiel Kupfer) reflektieren das Sonnenlicht in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen unterschiedlich stark. Sie lassen sich deshalb relativ einfach mit Spektralkameras in Satelliten und Flugzeugen nachweisen. Häufig befinden sich die Bodenschätze aber unter der Erdoberfläche und sind damit für Satellitensensoren nicht direkt erkennbar.

Bestimmte Gesteinsformationen an der Oberfläche deuten jedoch auf unterirdische Lagerstätten von Rohstoffen hin. So sind in der Erdgeschichte beispielsweise Kupfererze vornehmlich zusammen mit Mineralen wie Muskovit, Alunit oder Eisensulfid entstanden. Finden sich größere Mengen dieser Gesteine an der Erdoberfläche, so kann das ein Anzeichen für Kupfervorkommen in tieferen Erdschichten sein. Die satellitengestützten Informationen müssen zusätzlich stets mit Geländebeobachtungen vor Ort und Gesteinsproben abgeglichen werden. Sie eignen sich für die großflächige Erkundung von Lagerstätten, insbesondere in schwer zugänglichen Regionen. Auf diese Weise wird weltweit im großen Maßstab nach wertvollen Bodenschätzen gesucht.

Entscheidend für diese Verfahren ist eine hohe räumliche und vor allem spektrale Auflösung. Der deutsche Hyperspektral-Satellit EnMAP ist mit mehr als 200 Farbkanälen und einer Auflösung von 30 Metern für diese Aufgaben ideal geeignet. Derzeit untersuchen deutsche Wissenschaftler, ob sich mit EnMAP die für die Elektronikindustrie bedeutenden Seltenen Erden auffinden lassen. Wegen ihrer komplexen spektralen Eigenschaften gilt diese Aufgabe als besonders anspruchsvoll.

Auch zum Auffinden von Öl- und Gasvorkommen werden Satellitendaten verwendet. Auffällige Unregelmäßigkeiten (Anomalien) im Erdschwerefeld sind erste Hinweise auf solche unterirdischen Lagerstätten. Aber auch an der Oberfläche machen sich Öl- und Gaslager unter Umständen bemerkbar. So sind Aufwölbungen erste Hinweise. Doch es gibt noch weitere Merkmale: Aus Öl- und Gaslagern können gasförmige Kohlenwasserstoffe an die Oberfläche steigen und verändern dort die mineralische Zusammensetzung des Bodens und Gesteins oder die Vegetation. Dieses sogenannte Remote Sensing Direct Detection of Hydrocarbons (RSDD-H) wird weltweit angewandt. Unternehmen verweisen auf eine 80-prozentige Erfolgschance mit RSDD-H im Vergleich zu nur 20 Prozent Erfolgsquote ohne dieses Verfahren.

Auf diesem TanDEM-X-Höhenmodell ist links die rund 400 Meter tiefe Grube der Kupfermine „Minera Escondida“ in Chile zu erkennen. Das abgetragene Gestein wurde nach der Extraktion des Rohstoffs ringsherum in länglichen Halden abgelagert, bis zu einer Höhe von etwa 100 Metern. Teile der Infrastruktur, wie etwa Klärbecken zur Reinigung des Wassers, sind als rechteckige Flächen im Abbaugebiet zu erkennen.

The 400-metre-deep pit of the 'Minera Escondida' copper mine in Chile can be seen on the left of this TanDEM-X elevation model. After extraction of the raw materials, the excavated rock is deposited in elongated heaps all around, up to a height of around 100 metres. Parts of the infrastructure, such as purifiers for cleaning water, can be seen as rectangular areas in the mining area.

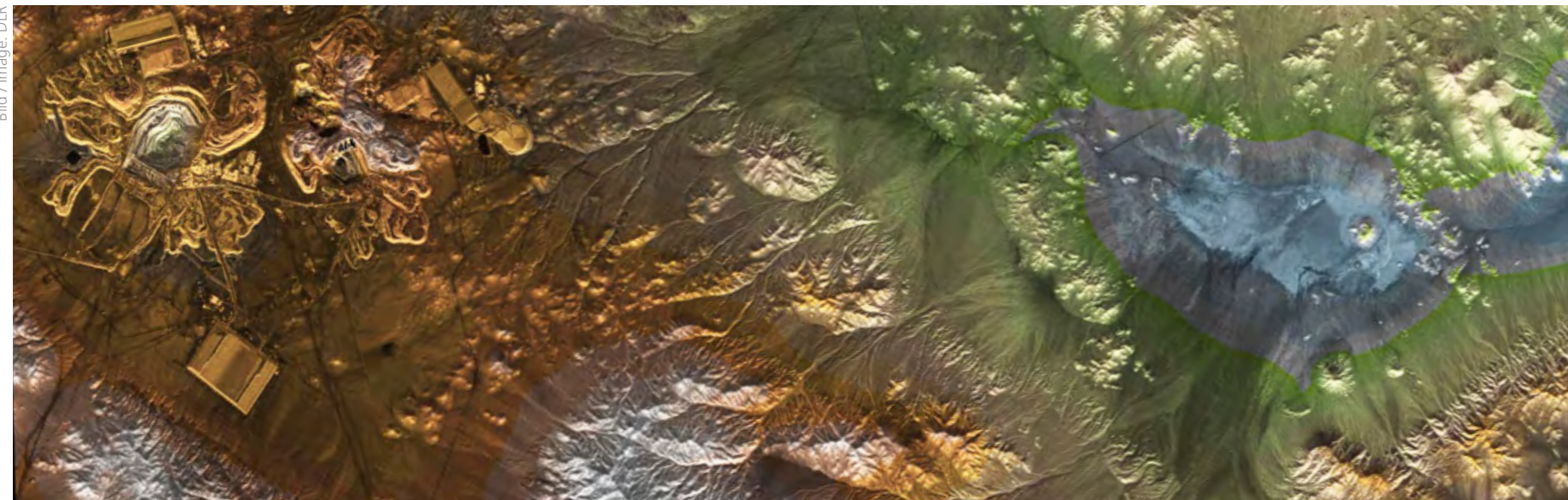


Bild / Image: DLR



Bild / Image: contains modified Copernicus Sentinel data (2017)

Mit 10 500 Quadratkilometern ist der Salar de Uyuni in Bolivien der größte Salzsee der Welt. Das Salz wird von den Aymara-Einwohnern geerntet und verkauft. Doch nicht nur Salz wird hier abgebaut: Der Uyuni zählt zu den größten Lithium-Vorkommen auf der Welt. Etwa neun Millionen Tonnen sind hier eingelagert. Das Alkalimetall zählt zu den wichtigsten Rohstoffen in der Batterieproduktion – vor allem für Elektroautos. Erdbeobachtungssatelliten wie Sentinel-2 können dabei helfen, diese Rohstoffvorkommen aus dem All zu überwachen.

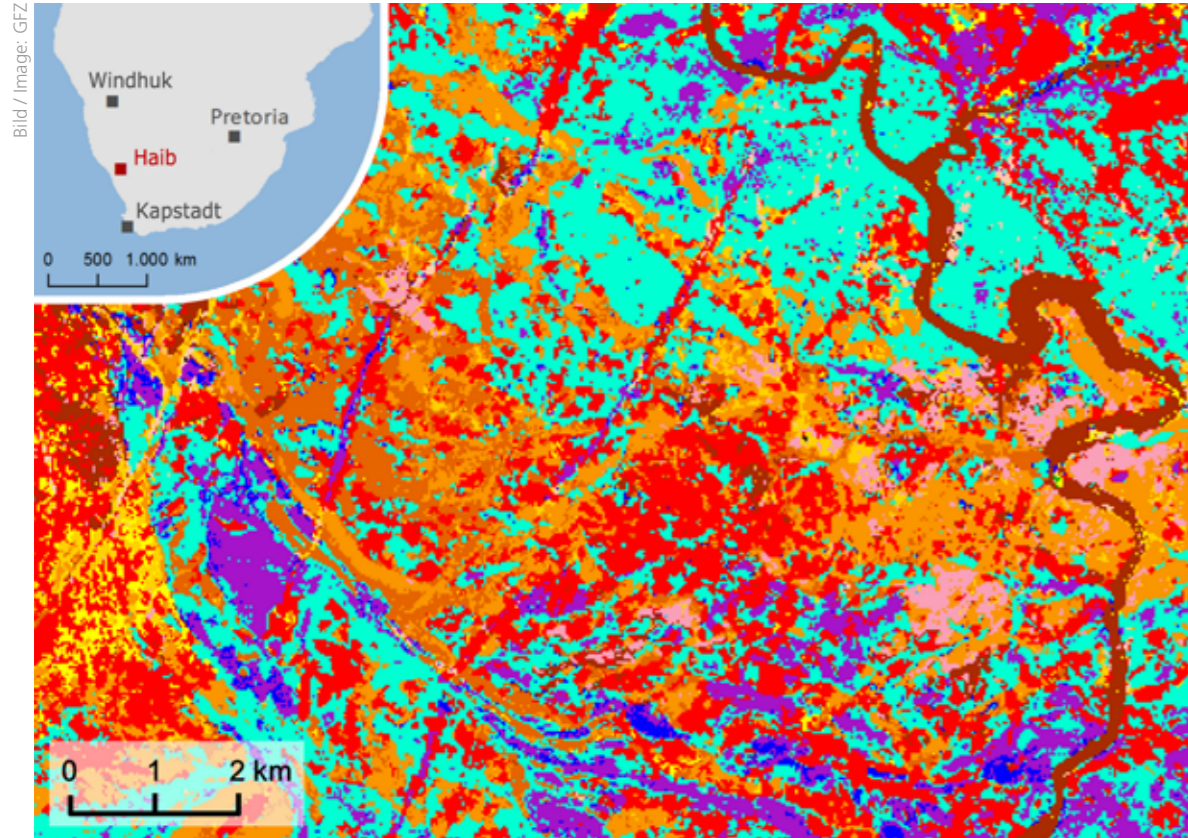
At 10,500 square kilometres, the Salar de Uyuni in Bolivia is the world's largest salt flat. The salt is harvested and sold by the Aymara inhabitants. However, it is not only salt that is extracted here; the Uyuni salt flat is one of the largest lithium deposits in the world. About nine million tonnes are stored here. This alkali metal is one of the most important raw materials for battery production – particularly necessary for electric cars. Earth observation satellites such as Sentinel-2 can help monitor these raw material deposits from space.

All minerals and soil components present on the surface, as well as important raw materials such as copper ore, reflect different wavelengths of sunlight with varying levels of intensity. This means they are relatively easy to detect with spectral cameras on board satellites or aircraft. However, mineral resources are often located beneath Earth's surface, so they are not directly visible to satellite-based sensors.

However, certain rock formations on the surface indicate the presence of underground mineral deposits. In the geological past, for instance, copper ores were mainly formed together with minerals such as mica, alunite or iron sulphide. If larger amounts of these rocks are found on Earth's surface, this may indicate the presence of copper deposits below. The satellite-based information must also be compared with field observations and rock samples. Such data are useful for the large-scale surveying of deposits, especially in areas that are difficult to access. Worldwide, valuable natural resources are detected on a large scale using this method.

A high spatial and, most importantly, spectral resolution are crucial for this process. With over 200 colour channels and a resolution of 30 metres, the German EnMAP hyperspectral satellite is ideally suited for these tasks. German researchers are currently investigating whether EnMAP could be used to find the rare earth elements that are so important in the electronics industry. Due to their complex spectral properties, this task is considered to be particularly challenging.

Satellite data are also used to locate oil and gas fields. Noticeable irregularities or anomalies in Earth's gravitational field are the first indication of such underground deposits. Under certain circumstances, however, oil and gas deposits may also be detectable on the surface. Bulges are the first clue, but there are other tell-tale features. For example, gaseous hydrocarbons can rise to the surface from underlying oil and gas deposits and alter the mineral composition of the soil and rock or affect the vegetation there. This Remote Sensing Direct Detection of Hydrocarbons (RSDD-H) is used worldwide. Companies report an 80 percent chance of success with RSDD-H compared to only 20 percent without it.



Mineralkartierung für die Kupfer-Molybdän-Lagerstätte am Haib River, Namibia. Die Karte wurde mit EnGeoMAP auf Basis von simulierten EnMAP-Daten erstellt.

Mineral mapping for the Haib River copper-molybdenum deposit in Namibia. The map was created with EnGeoMAP based on simulated EnMAP data.

Um unterirdische Wasservorkommen in Wüstenregionen Afrikas und Asiens ausfindig zu machen, kombinieren die Spezialisten multispektrale Aufnahmen mit Radardaten. So ist Vegetation in einer Wüstenregion ein Hinweis auf Wasser. Zusätzlich lassen sich mit Radarbildern Hohlräume, Gesteinsgänge und unterirdische Kanäle (Wadis) aufspüren, die auf Wasservorkommen hindeuten. Dies ist möglich, da Radarwellen abhängig von der Wellenlänge und Bodenbeschaffenheit mehr oder weniger tief in den Untergrund eindringen können. Auch pausen sich gewisse Anzeichen von Hohlräumen bis nah an die Oberfläche durch. Vergleicht man Radardaten, die zu verschiedenen Zeitpunkten aufgezeichnet wurden, dann lassen sich Unregelmäßigkeiten in der unterirdischen Bodenfeuchte erkennen, die auf eventuelle Grundwasservorkommen hindeuten.

Der Abbau von Bodenschätzen jeder Art hat Folgen für die Umwelt. In verschiedenen Projekten werden Strategien erarbeitet, um die Einflüsse der Erschließung und Nutzung von Energiequellen auf die Umwelt und die verschiedenen Ökosysteme zu bewerten. Die Basis hierfür bilden Fernerkundungsdaten.

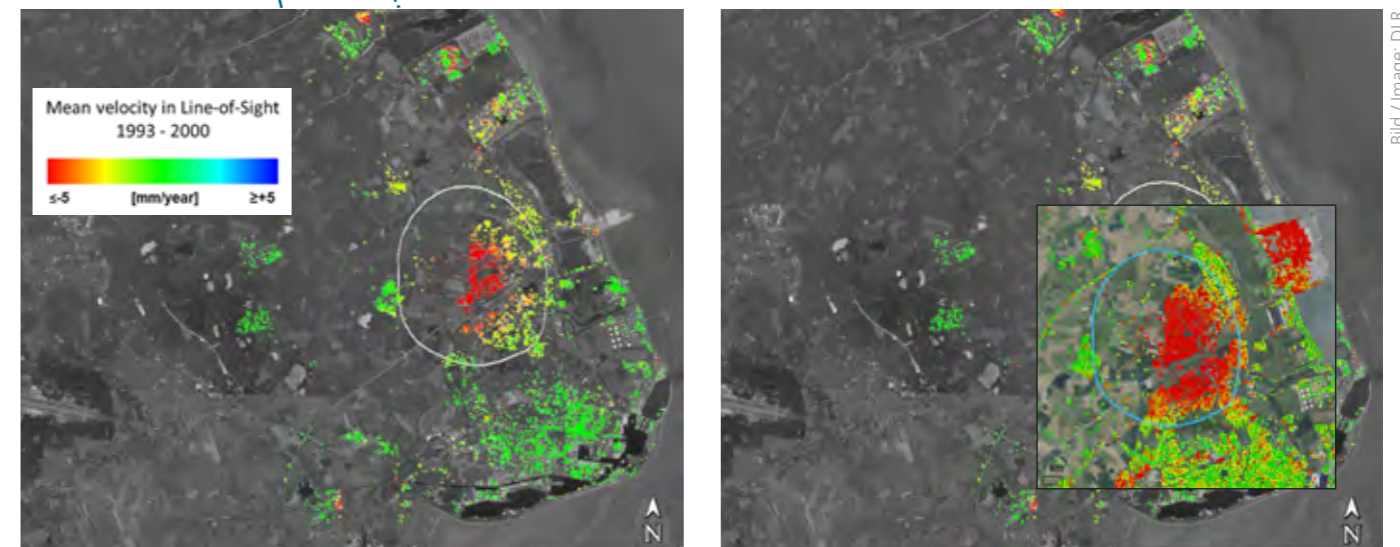
Ein offensichtliches und aktuelles Problem sind die Folgen des Bergbaus – von Bodensenkungen bis zu Einbrüchen großer Gruben. Bergbaubehörden setzen dafür die Technik der Radar-Interferometrie ein und können damit ihre Messungen vor Ort in die Fläche übertragen. Hierfür nutzen sie die Tatsache, dass Radarsignale stets eine Höheninformation besitzen. Wird ein Gebiet in zeitlichen Abständen mehrmals aufgenommen, so lassen sich bereits kleinste Veränderungen im Millimeterbereich messen. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe bietet seit 2019 auf Basis dieser Technik einen Bodenbewegungsdienst Deutschland an, der Bodenverschiebungen, -hebungen und -senkungen, wie sie zum Beispiel im Ruhrgebiet auftreten, erstmals flächenhaft für ganz Deutschland erfasst. Auch kleinräumige Auswirkungen von Bauprojekten wie etwa Tunnelbohrungen oder Anlagen von unterirdischen Gasspeichern auf die Bodenstabilität lassen sich mit den Radardaten, wie etwa TerraSAR-X-Daten, in hoher Genauigkeit vermessen.

- Illit / Illite
- Epidot / Epidote
- Muskovit / Muscovite
- Jarosit / Jarosite
- Hämatit / Hematite
- Goethit / Goethite

Specialists combine multispectral images with radar data to locate underground water sources in desert regions of Africa and Asia. In deserts, vegetation is often an indication of water. Radar images can be used to detect cavities, passages in the rock, and underground channels that indicate the presence of water. This is possible because radar signals can penetrate the subsurface, in some cases quite deeply, depending on the wavelength and the ground conditions. They can also find cavities that may extend almost all the way up to the surface. By comparing radar data captured at different times, irregularities in the underground soil moisture can be detected, which indicate possible areas of groundwater.

The extraction of all types of mineral resources has consequences for the environment. In various projects, strategies are being developed to assess the effects of the development and use of energy sources on the environment and the various ecosystems. This is based on remote sensing data.

One obvious and current problem is the impact of mining, from subsidence to the collapse of large mines. Mining authorities use radar interferometry technology for this purpose and can thus apply their on-site measurements to an entire area. This is based on the fact that radar signals always contain elevation information. If an area is recorded several times, at specific intervals, even changes of a millimetre or two can be measured. Since 2019, the German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources has been providing the Ground Motion Service Germany based on this technology. For the first time, this records ground displacements, elevations and subsidence, such as those occurring in the Ruhr region, for the whole of Germany. Even small-scale effects on ground stability due to construction projects such as tunnelling or underground gas storage facilities can be measured with high accuracy using radar data, for example provided by the TerraSAR-X satellite.



Durch Radarinterferometrie (InSAR) wird die Messung von Bodensenkungen und -hebungen im Millimeterbereich möglich. Dies ist sowohl für die Sicherheit von Infrastruktur und Gebäuden als auch für die frühe Erkennung von Georisiken (Erdbeben, Erdbeben etc.) von großer Bedeutung. Auf dieser Karte sieht man die Bodenbewegungen in Norddeutschland in der Nähe von Wilhelmshafen. Anwendung findet die Radarinterferometrie zum Beispiel bei der Detektion und Vermessung von Auswirkungen durch Energiespeicherung, Geothermie, Bergbau, Gas- und Ölförderung sowie von vulkanischen und tektonischen Bewegungen.

Radar interferometry (InSAR) makes it possible to measure ground subsidence and elevation changes in the millimetre range. This is very important for the safety of infrastructure and buildings as well as for the early detection of geohazards (landslides, earthquakes, etc.). This map shows the ground movements in northern Germany near Wilhelmshaven. Radar interferometry is used, for example, for the detection and measurement of impacts caused by energy storage, geothermal energy extraction, mining, gas and oil production as well as volcanic and tectonic movements.

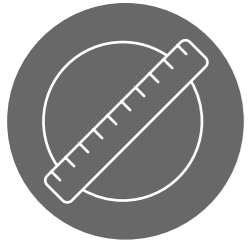


ERDE VERMESSEN – VERÄNDERUNGEN ERFASSEN

Karten dienen zur Orientierung und Navigation zu Lande, zu Wasser und in der Luft. Darüber hinaus dienen sie der öffentlichen Hand zur Planung von Verkehrswegen, Leitungen und Trassen und in großem Maßstab für die Verwaltung von Flächen, Gebieten und Regionen. Mittlerweile werden Karten überwiegend in digitaler Form erstellt, wobei Satellitendaten eine wachsende Rolle spielen. Im Jahr 2016 entstand auf globaler Ebene das bislang genaueste Höhenmodell der gesamten Landoberfläche mit dem aus Deutschland stammenden Radarsatellitenduo TerraSAR-X und TanDEM-X.

OBSERVING EARTH – MONITORING CHANGES

Maps enable orientation and navigation on land, at sea and in the air. Public authorities use them to plan transport routes, power lines, and roadways, and on a larger scale, for the administration of local areas, municipalities and regions. Nowadays, maps are mostly created in digital form, with satellite data playing an increasingly important role. The world's most accurate digital elevation model of Earth's entire land surface was created in 2016 using data acquired by the German TerraSAR-X and TanDEM-X satellites.



Erde vermessen – Veränderungen erfassen Observing Earth – monitoring changes

Seit 1990 erstellen die Landesvermessungsämter das Amtliche Topographisch-Kartografische Informationssystem (ATKIS®), das es erlaubt, die topographischen Daten digital zu verwalten. Das Digitale Landbedeckungsmodell LBM-DE erweitert dies seit 2009 um flächenhafte Informationen zur Landbedeckung. Als Hauptdatengrundlage dienen multitemporale Satellitenbilddaten. Derzeit wird am Bundesamt für Kartographie und Geodäsie der Landschaftsveränderungsdienst entwickelt mit dem Ziel, Copernicus-Satellitendaten für die automatische Ableitung von Landbedeckungsänderungen zu nutzen und diese Informationen regelmäßig für einzelne Landschaftselemente zu generieren. Diese sollen dann auch zur Aktualisierung des LBM-DE genutzt werden. Außerdem sollen für bestimmte Landbedeckungen (zum Beispiel Wald-, Wasserflächen oder landwirtschaftliche Flächen) fachthemenische Erweiterungen angeboten werden, wie beispielsweise die Kartierung von Schadensereignissen in der Forstwirtschaft.

Das Digitale Landbedeckungsmodell LBM-DE trägt auch zum deutschen Anteil des europäischen Copernicus-Produkts „Coordinated Information on the Environment“ (CORINE) Land Cover bei. CORINE Land Cover ist einer der meist genutzten Datensätze in der europäischen Umweltverwaltung. Er wird von der europäischen Umweltagentur über das Copernicus-Programm regelmäßig aktualisiert, um festzustellen, in welchem Ausmaß sich die vom Menschen genutzten beziehungsweise ungenutzten Flächen in Europa ändern.

Einer globalen Kartierung dienen die beiden Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X. Sie umkreisen die Erde gemeinsam mit einem gegenseitigen Mindestabstand von 150 Metern und tasten die Oberfläche mit Radarpulsen ab. Primäres Ziel ist es, die komplette Landoberfläche, das sind 150 Millionen Quadratkilometer, innerhalb von drei Jahren mehrfach vollständig zu vermessen. Im Jahr 2016 wurde das erste globale Geländemodell der Erdoberfläche mit einem Zwölf-Meter-Raster am Boden und einer Höhengenaugigkeit von einem Meter fertiggestellt und steht seitdem für wissenschaftliche und kommerzielle Anwendungen zur Verfügung. Zusätzlich hat das DLR 2018 ein 90-Meter-Höhenmodell errechnet, das auf einem Server des DLR kostenfrei für die wissenschaftliche Datennutzung zur Verfügung gestellt wird: Aktuell widmen sich die beiden Satelliten der Beobachtung von Änderungen der Höhenmodelle, beispielsweise aufgrund von Gletscherschmelzen oder bedingt durch bauliche Veränderungen.

Im Laufe eines Jahres verformt sich der Stahlkomplex des Berliner Hauptbahnhofs (im Bild unten rechts) vertikal um bis zu 1,8 Zentimeter und horizontal zwischen 1,5 und 3,5 Zentimeter. In den warmen Jahreszeiten dehnt sich die Stahlkonstruktion aus, während sich in der kühleren Jahreszeit das Material zusammenzieht. Die Aufnahmen des deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X zeigen die saisonalen Unterschiede millimetergenau. Mit dieser Technik können vor allem kritische Infrastrukturen, wie zum Beispiel Brücken und insbesondere Sicherheitsanlagen wie etwa Staudämme beobachtet werden.

Over the course of a year, the steel complex of Berlin's main railway station (pictured below right) deforms vertically by up to 1.8 centimetres and horizontally between 1.5 and 3.5 centimetres. In the warm seasons, the steel structure expands, while in the cooler seasons the material contracts. The images from the German radar satellite TerraSAR-X show the seasonal differences with millimetre precision. This technology can be used to observe critical infrastructures in particular, such as bridges and specifically safety installations such as dams.

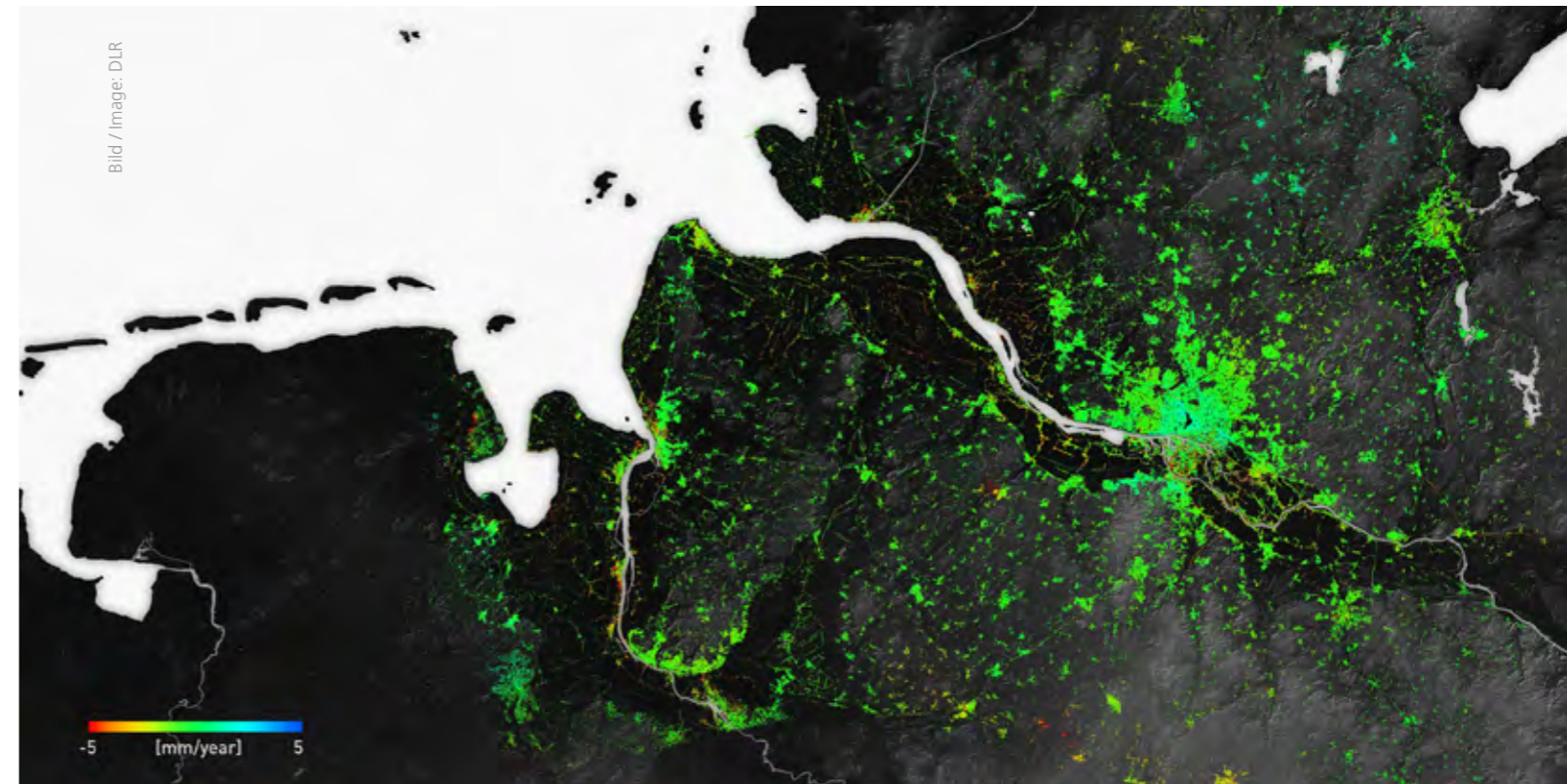


Bild / Image: DLR

Die satellitengestützte Erfassung von Bodenbewegungen ist sowohl für die Sicherheit von Infrastruktur und Gebäuden als auch für die frühe Erkennung von Georisiken (Erdbeben, etc.) von großer Bedeutung. Deshalb arbeiten Wissenschaftler des DLR, der TU München und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe eng zusammen, um eine „Satellitengestützte Bodenbewegungskarte für Deutschland“ zu entwickeln.

The satellite-based recording of ground displacements is of great importance both for the safety of infrastructure and buildings and for the early detection of geohazards (landslides, earthquakes, etc.). This is why scientists from DLR, TU Munich and the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources are working closely together to develop a 'Satellite-based Ground Displacement Map for Germany'.

Die Erde in 3D Earth in three dimensions

Since 1990, Germany's land surveyors have been establishing the Federal Topographic Information System (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem; ATKIS®), which allows topographical data to be managed digitally. The LBM-DE digital land cover model for Germany has been building on this since 2009, including extensive information on land coverage. Multitemporal satellite image data serve as the main foundation for the data. The German land cover change detection service (Landschaftsveränderungsdienst; Laverdi) is currently being developed at the Federal Agency for Cartography and Geodesy (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie; BKG) to use Copernicus satellite data to automatically determine changes in land coverage and regularly generate information on individual landscape features. Such information could then be used to update the LBM-DE. In addition, use-related extensions will be provided for certain types of land coverage (for example, forest, areas of water and agricultural land) – such as the mapping of damaging events in forestry.

The LBM-DE digital land cover model also contributes towards the German component of the European Copernicus project 'Coordinated Information on the Environment' (CORINE) Land Cover. CORINE Land Cover is one of the most widely used datasets in European environmental management. It is regularly updated by the European Environment Agency through the Copernicus programme to determine the extent to which land that is used, or not used, is changing within Europe.

The radar satellites TerraSAR-X and TanDEM-X are used for global mapping. They orbit Earth together at a minimum relative distance of 150 metres and scan the surface using radar signals. Their primary task has been to survey Earth's entire land surface, 150 million square kilometres, several times over three years. The first global terrain model of our planet's surface was completed in 2016 with a 12-metre grid at ground level and an elevation accuracy of one metre. Since then it has been available for scientific and commercial applications. In 2018, DLR also created a 90-metre elevation model that is available on a DLR server free of charge for scientific use. At present, the two satellites are observing changes to the elevation models, particularly those caused by the melting of glaciers or structural modifications.

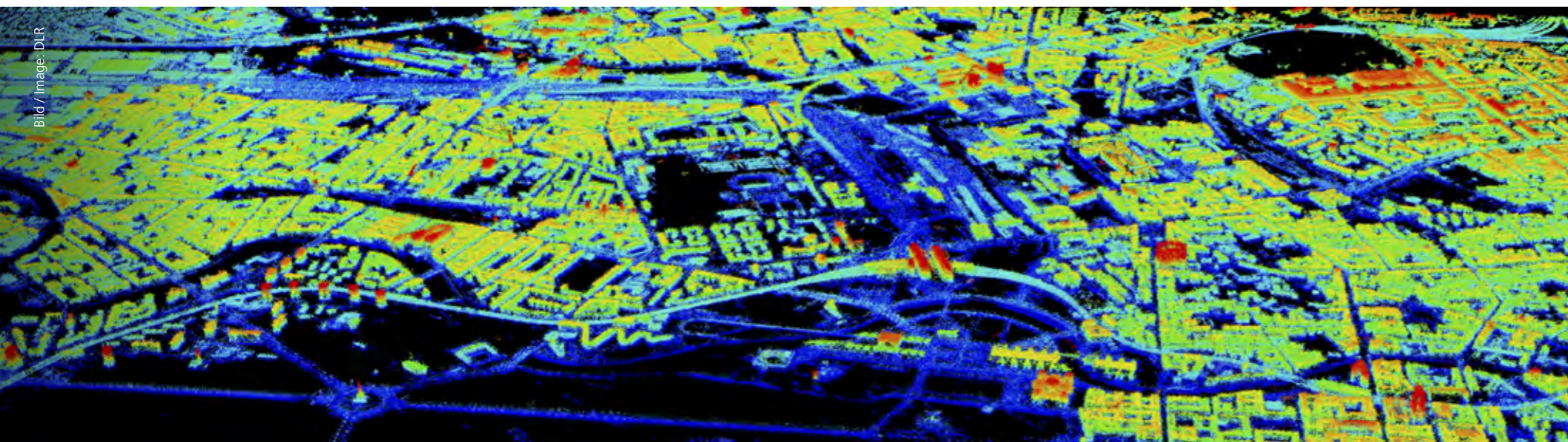


Bild / Image: DLR

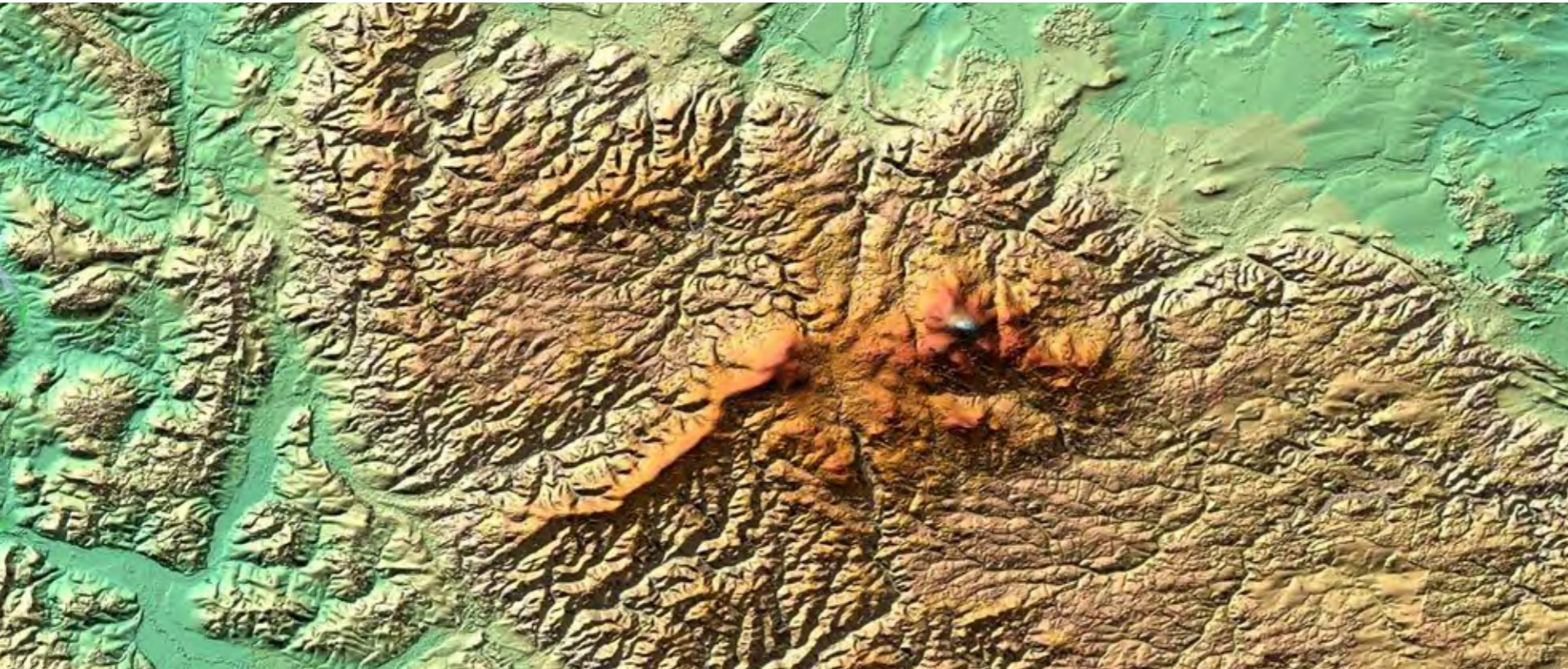


Bild / Image: DLR

Neben der hohen Genauigkeit besitzt das Höhenmodell noch einen anderen, überragenden Vorteil: Es ist weltweit durchgehend homogen. Bisherige Modelle dieser Art besitzen häufig Brüche an Ländergrenzen oder über größere Wasserflächen hinweg. Unterschiedliche Karten sind oft schwer vergleichbar, weil sie mit unterschiedlichen Messverfahren oder über einen längeren Zeitraum hinweg entstanden sind.

Digitale Höhenmodelle sind von grundlegender Bedeutung für ein breites Spektrum von kommerziellen, staatlichen und wissenschaftlichen Anwendungen wie etwa bei der Hochwassermodellierung oder zur Planung von Ingenieurbauwerken. Viele geowissenschaftliche Bereiche wie Hydrologie, Glaziologie, Forstwirtschaft, Geologie, Ozeanografie und Umweltforschung benötigen präzise und aktuelle Informationen über die Erdoberfläche und ihre Topografie. Aktuelle digitale Karten sind auch eine Voraussetzung für eine zuverlässige Navigation.

Eine wichtige Rolle spielen die vom DLR und der amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA finanzierten Satelliten CHAMP, GRACE und GRACE-FO sowie der ESA-Satellit GOCE. Klimaforscher beschäftigen sich seit Jahren mit der Frage, wie stark der Meeresspiegel in Folge der globalen Erwärmung ansteigt. Die Messung des Meeresspiegels ist jedoch in dem geforderten Genauigkeitsbereich von weniger als einem Zentimeter sehr schwierig, denn bislang fehlte eine genaue Referenzfläche, zu der die relativen Meereshöhen und ihre Veränderungen gemessen werden können. Diese, Geoid genannte, Referenzfläche bildet den theoretischen Zustand ab, wenn sich alle Ozeane ohne jegliche Einflüsse in Ruhe befinden würden. Früher wichen die Werte für dieses „Normalnull“ weltweit zwischen Ländern oder Kontinenten um bis zu einem Meter voneinander ab. Daher konnte bislang die Meeresspiegelhöhe in einem Teil der Welt nicht mit dem in einem anderen verglichen werden. Das ist aber eine notwendige Voraussetzung, um globale Veränderungen nachzuweisen. Mit den geophysikalischen Messungen von GRACE, GRACE-FO und GOCE konnte dieses Geoid weltweit auf einen Zentimeter, gebietsweise sogar bis auf wenige Millimeter genau, bestimmt werden. Nicht zuletzt dient das neue Referenzsystem auch der Geodäsie und damit dem Erstellen topographischer Karten.

Die beiden deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X vermessen gemeinsam die Erde. Aus den Daten wurde 2016 ein dreidimensionales, homogenes Höhenmodell in noch nie dagewesener Auflösung erstellt. Im Bild: Der Brocken im deutschen Mittelgebirge Harz

The two German radar satellites TerraSAR-X and TanDEM-X survey Earth together. A three-dimensional, homogeneous elevation model with unprecedented resolution was created in 2016 using data they acquired. In the image: The Brocken in the Harz low mountain range in Germany.

Das Geländemodell aus TanDEM-X-Daten zeigt die dicht aneinander gedrängten Krater der Vulkanregion auf der Kamtschatka-Halbinsel. Die pazifische Kontinentalplatte schiebt sich vor der Küste unter den Rand der eurasischen Platte und wird aufgeschmolzen. Das Magma steigt auf und führt zur Bildung von Vulkanen, von denen es mehr als 160 auf der Halbinsel im Nordosten Russlands gibt. Im Schnitt brechen auf Kamtschatka jedes Jahr sechs davon aus. Die Radartechnik ermöglicht nicht nur die Erfassung der Topographie, sondern auch von Hebungen und Senkungen mit Millimetergenauigkeit.

The terrain model produced using data from TanDEM-X shows the densely packed craters of the volcanic region of the Kamchatka Peninsula. The Pacific continental plate pushes under the edge of the Eurasian plate off the coast and is melted. The magma rises and leads to the formation of volcanoes, of which there are more than 160 on the peninsula in north-eastern Russia. On average, six of them erupt every year. Radar technology makes it possible to record not only the topography, but also uplift and subsidence with millimetre precision.

In addition to its high accuracy, the elevation model has the remarkable advantage of offering homogeneous data across the entire globe. Earlier models of this type often exhibited disruptions in the data at national borders or on either side of large bodies of water. It is often difficult to compare maps when they were created using different measuring techniques or over a long period of time.

Digital elevation models are essential for a wide range of commercial, governmental and scientific applications, such as flood modelling and the planning of engineering projects. Numerous research areas, including hydrology, glaciology, forestry, geology, oceanography and environmental research, require accurate and up-to-date information about Earth's surface and its topography. Regularly updated digital maps are also a prerequisite for reliable navigation.

The satellites CHAMP, GRACE, and GRACE-FO, which are funded by DLR and NASA, and the ESA satellite GOCE all play important roles. Climate researchers have long been preoccupied with the question of how much sea levels will rise due to global warming. However, measuring sea level within the required accuracy range of less than one centimetre is difficult. Up until now there has been no precise reference surface against which the relative sea levels and changes to them could be measured. This hypothetical surface, known as the geoid, represents the hypothetical state where all the oceans are calm without any external influences. In earlier times, the values for this 'mean sea level' varied between countries or continents by up to one metre. Therefore, to date it has been impossible to compare sea levels in one part of the world with those in another. Yet doing so is essential if we are to show global changes. The geophysical measurements conducted by GRACE, GRACE-FO and GOCE could be used to determine the complete geoid, defined down to one centimetre and even down to a few millimetres in some areas. The new reference system is also used in geodesy and thus for the creation of topographic maps.

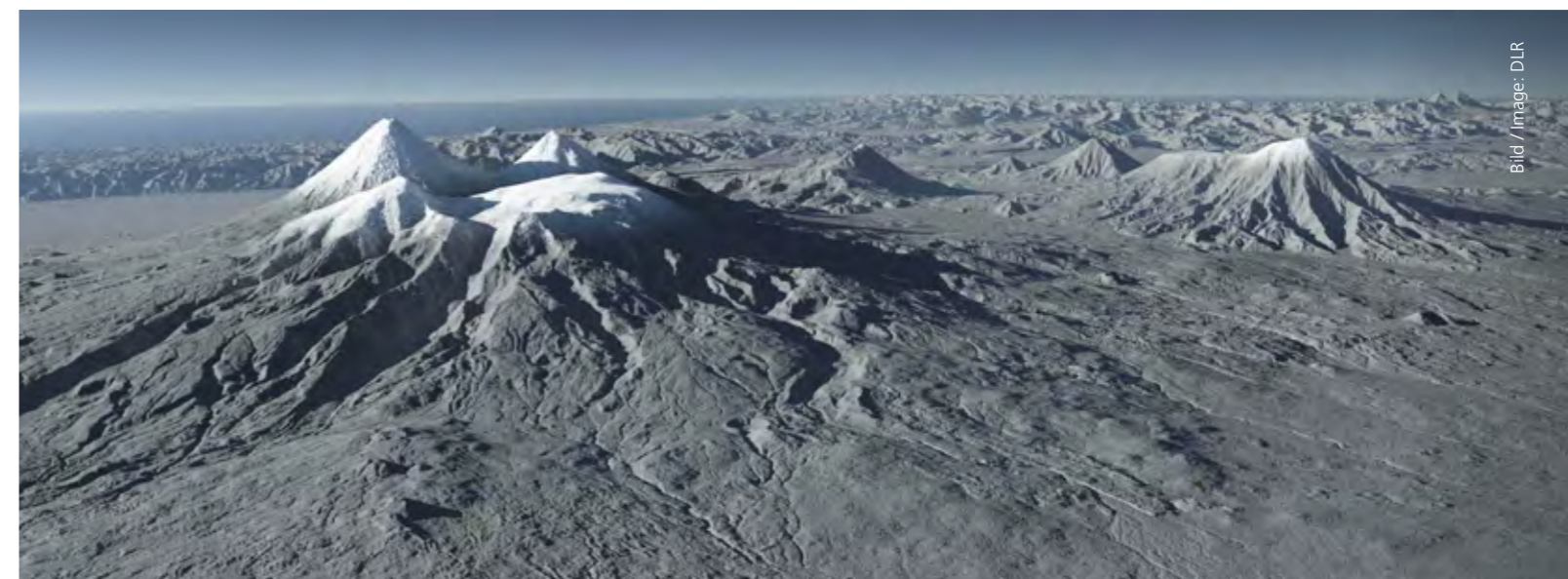
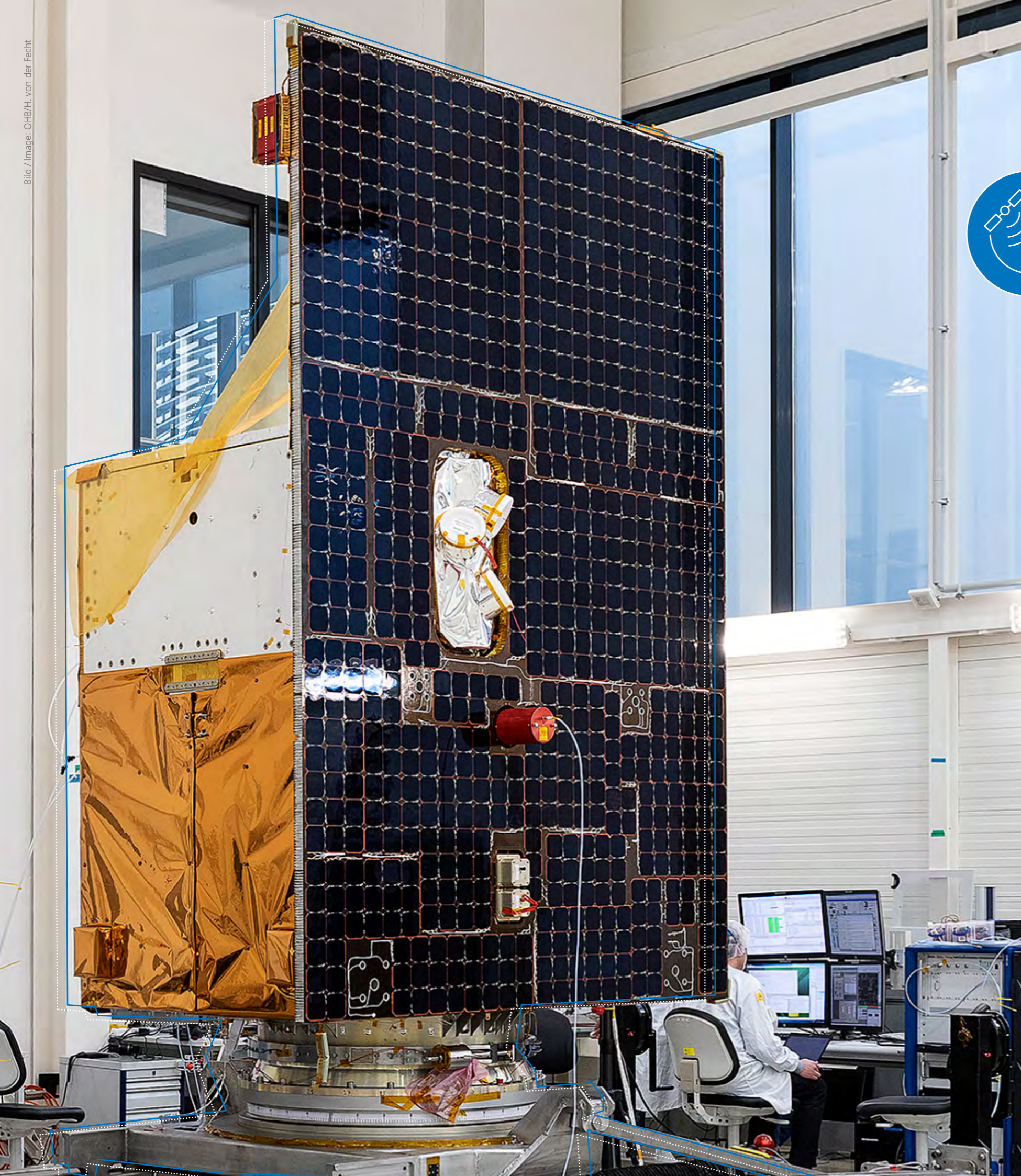


Bild / Image: DLR



DIE SATELLITENFLOTTE

Erdbeobachtungssatelliten arbeiten nach verschiedenen Prinzipien: Die meisten Instrumente empfangen elektromagnetische Strahlung, wie zum Beispiel Licht oder Radiowellen. Darunter gibt es passive und aktive Systeme. Passive Instrumente empfangen elektromagnetische Strahlung, die entweder von der Sonne stammt und von der Erdoberfläche, von Atmosphärenbestandteilen und Wolken reflektiert oder von diesen selbst abgestrahlt wurde. Für die Untersuchung von Spurenstoffen in der Atmosphäre nutzt man Spektrometer mit höherer spektraler Auflösung, die jedoch räumlich sehr viel geringer auflösen. Wenn das Sonnenlicht die Erdatmosphäre durchquert, hinterlassen die in der Luft enthaltenen Gase im Spektrum charakteristische „Fingerabdrücke“, die eine Konzentrationsbestimmung erlauben. Passiv mit sichtbarem oder ultraviolettem Licht arbeitende Satelliten funktionieren weder bei Bewölkung noch bei Nacht. Hier bieten Radar- und Lidarsatelliten einen großen Vorteil. Aktive Systeme tasten mit Radar- oder Laserlichtstrahlen die Oberfläche beziehungsweise die Atmosphäre ab und beziehen aus den zurückgestreuten Echos ihre Informationen. Da verschiedene Materialien ein unterschiedliches Reflexionsvermögen besitzen, enthält das zurückgestrahlte Signal eine Fülle von Informationen über bestimmte physikalische Eigenschaften der Oberfläche, wie zum Beispiel seine Form oder der Wassergehalt von Böden beziehungsweise dessen Bewuchs. Im Fall von Lidarpulsen werden Informationen über Spurenstoffe in der Atmosphäre zwischen Satelliten und Erdboden gewonnen.

THE SATELLITE FLEET

Earth observation satellites operate according to a number of different principles. Most instruments receive electromagnetic radiation, such as visible light or radio waves. Among these, there are both passive and active systems. Passive instruments receive electromagnetic radiation that either originates from the Sun and is reflected by Earth's surface, atmospheric components or clouds, or is emitted by these objects themselves. Spectrometers with higher spectral resolution are used to investigate trace substances in the atmosphere. These, however, have a much lower spatial resolution. When sunlight passes through Earth's atmosphere, the gases in the air leave characteristic 'fingerprints' in the spectrum that allow their concentrations to be determined. Satellites that passively receive visible or ultraviolet light cannot be used in cloudy conditions or at night-time. This is where radar and lidar satellites offer a major advantage. These active systems scan the surface or the atmosphere with radar signals or laser light and obtain their information from the backscattered echoes. Since different materials have different reflectivities, the return signal contains a wealth of information about certain physical properties of the surface, such as its shape or the water content of the soil and its vegetation. In the case of lidar pulses, information can also be obtained about trace substances in the atmosphere between the satellite and the ground.

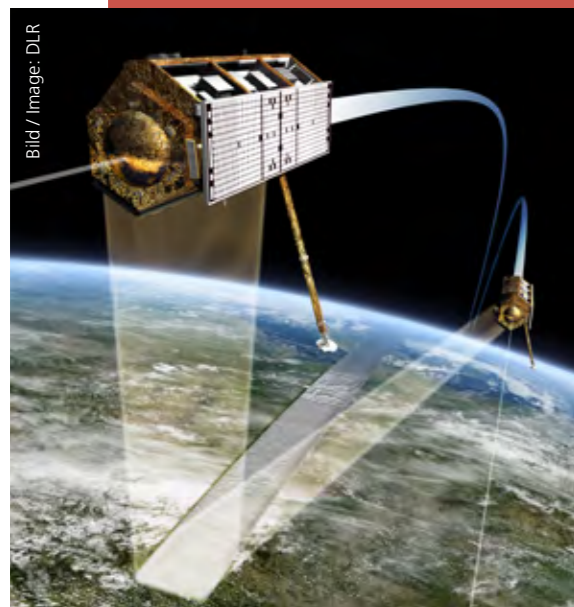
Deutsche Missionen zur Beobachtung unserer Erde

German missions to observe our Earth



Neben der Förderung von Weiterentwicklung wissenschaftlicher Methoden zur Verarbeitung und Auswertung von Erdbeobachtungsdaten ist ein großer Teil des sogenannten nationalen Raumfahrtprogramms der kontinuierliche Ausbau vorhandener bzw. die Entwicklung neuer Erdbeobachtungsmissionen.

In addition to promoting the development of scientific methods for processing and evaluating Earth observation data, a large part of the national space programme is dedicated to the ongoing expansion of existing Earth observation missions and the development of new ones.



TerraSAR-X / TanDEM-X

Die nationale Mission **TerraSAR-X** und der nahezu baugleiche Satellit **TanDEM-X**, der ebenfalls für die Mission eingesetzt wird, verfügen über ein hochauflösendes Synthetic Aperture Radar (SAR), welches unabhängig von Tageszeit und Wolkenbedeckung Daten liefern kann. Im Jahr 2016 entstand mit dem Radarsatellitenduo auf globaler Ebene das bislang genaueste Höhenmodell der gesamten Landoberfläche. Zu den weiteren Anwendungsbereichen zählen u.a. die Kartierung weltweiter Wald- und Siedlungsflächen, die Erfassung von Klimawandelfolgen wie Gletscherschmelze, die Überwachung von Bodenbewegungen sowie die Bereitstellung von Daten zur zeitnahen Notfallkartierung.

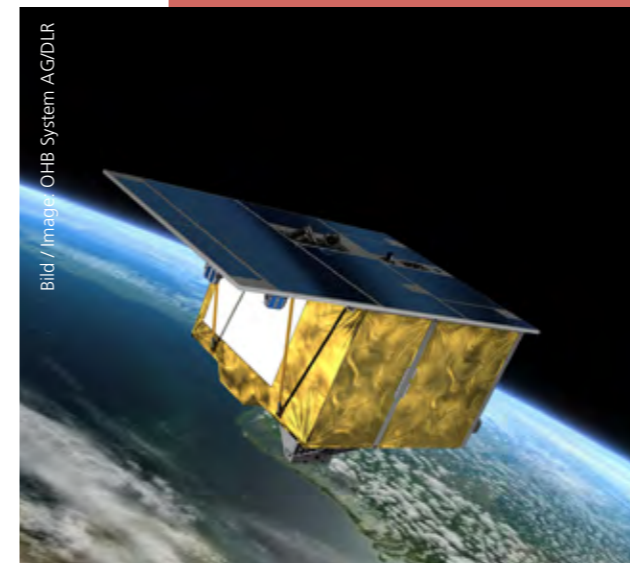
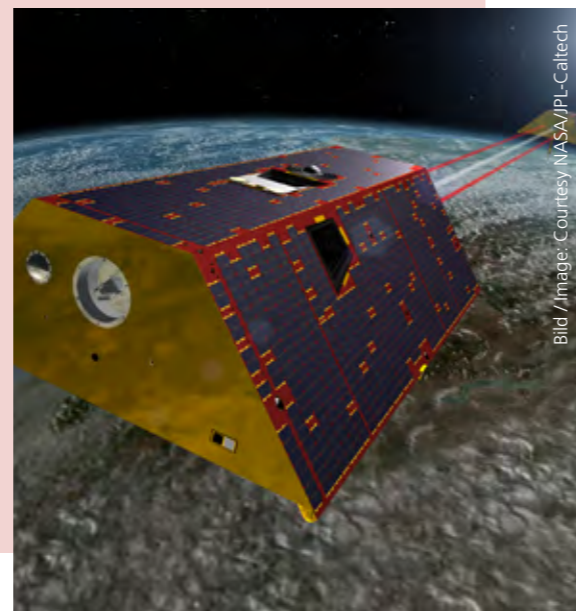
The German **TerraSAR-X** mission, consisting of the **TerraSAR-X** satellite and the almost identical **TanDEM-X** satellite, is equipped with high-resolution synthetic aperture radar (SAR) that can acquire data regardless of weather conditions, cloud cover or absence of daylight. In 2016, the pair of radar satellites provided the data for the most accurate elevation model of Earth's entire land surface to date. Other areas of application include the mapping of global forest and settlement areas, recording the effects of climate change such as glacier melt, monitoring surface movement and providing data for rapid mapping during emergency situations.



GRACE

Die **GRACE**-Mission (Gravity Recovery and Climate Experiment) und die Nachfolge-mission **GRACE-FO** (GRACE Follow-on), beides gemeinsame Missionen von DLR/GFZ und der NASA, haben mit ihren jeweils zwei baugleichen Satelliten zum Verständnis des Klimawandels beigetragen. Die Satelliten können die jahreszeitlichen Schwankungen im Wasserbudget der Kontinente oder die Veränderungen der Eismenge in Arktis und Antarktis bestimmen. Auf dieser Basis unterstützt **GRACE-FO** die großräumigen Klimamodelle zur Bestimmung der globalen Wasserbilanz und zur Veränderung des Meeresspiegels. Eine Fortsetzung der Kooperation mit der NASA über das Konzept **GRACE-I** befindet sich derzeit in Vorbereitung.

The Gravity Recovery and Climate Experiment (**GRACE**) mission and the successor GRACE Follow-on (**GRACE-FO**) were joint missions by DLR/GFZ and NASA that helped improve our understanding of climate change using two identical satellites each. The new satellites can determine seasonal fluctuations in the water balance of continents or changes in the volume of ice in the Arctic and Antarctic. On this basis, **GRACE-FO** assists large-scale climate models in the determination of the global water balance and the detection of changes in sea level. A continuation of the collaboration with NASA through the **GRACE-I** concept is in preparation.



EnMAP

EnMAP (Environmental Mapping and Analysis Programme) soll ab 2022 qualitativ hochwertige, hyperspektrale Bilddaten mit 242 spektralen Kanälen im Bereich der von der Erde reflektierten Sonnenstrahlung mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung liefern. Die Hauptziele der Mission sind das Messen, die Ableitung und das Analysieren von zahlreichen Parametern, welche entscheidende Prozesse an der Erdoberfläche beschreiben. Anwendungsbereiche umfassen unterschiedliche ökologische Fragestellungen und reichen von der Landwirtschaft über die Geologie bis hin zur Erforschung von Küsten- und Binnengewässern.

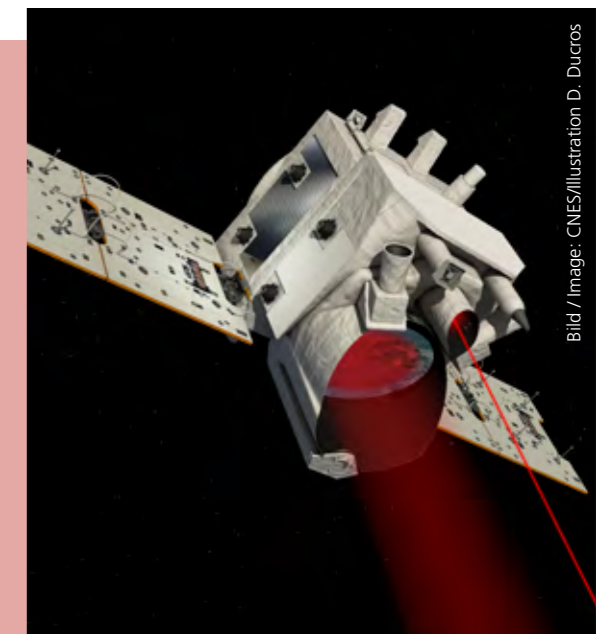
The Environmental Mapping and Analysis Programme (**EnMAP**) should deliver from 2022 on high-quality hyperspectral image data with high spatial and temporal resolution in 242 spectral bands covering wavelengths characteristic of the solar radiation reflected by Earth. The main objectives of the mission are to measure, investigate and analyse an array of parameters that describe major processes taking place on Earth's surface. Areas of application include tackling a range of environmental issues and fields such as agriculture, geology and the study of coastal and inland waters.



MERLIN

MERLIN soll ab 2027 einen LIDAR-Sensor (Light Detection And Ranging) als aktives Messsystem nutzen. Er sendet Lichtstrahlen aus, die von der Erde reflektiert und von einem Sensor wieder aufgefangen werden. Durch das atmosphärische Methan wird das Licht geschwächt, so dass auf diese Weise die Methankonzentration gemessen werden kann. Diese aktive Methode erlaubt Messungen ohne Sonnenlicht und daher auch ganzjährig in Polarregionen, in denen große Methanemissionen aus Gashydraten und auftauenden Permafrostböden erwartet werden. Deutsche Unternehmen und Forschungsinstitute liefern die Technologien für das LIDAR-Instrument.

MERLIN should use from 2027 a light detection and ranging (lidar) sensor as an active measuring system. The lidar system will emit rays of light that are reflected by Earth and then detected again by a sensor. Atmospheric methane reduces the intensity of the light in a specific way that allows researchers to measure the methane concentration in the air the light passed through. The active emission of light used in this method enables measurements to be carried out even in the absence of sunlight. This allows the mission to carry out operations all year round in polar regions, where scientists expect to detect major methane emissions from gas hydrates and thawing permafrost soil. German companies and research institutions have provided the technology for the lidar instrument.





METImage

METImage ist ein multispektrales, abbildendes Radiometer für meteorologische Anwendungen, welches auf den Satelliten des EUMETSAT Polar System - Second Generation (EPS-SG) zum Einsatz kommen soll. METImage wird unter anderem wichtige Informationen über Wolken, Wolkenbedeckung, Landoberflächen, Ozean-, Eis- und Landoberflächentemperaturen zur Verfügung stellen und damit einen wichtigen Beitrag zu Fragen der Wetter- und Klimavorhersage leisten.

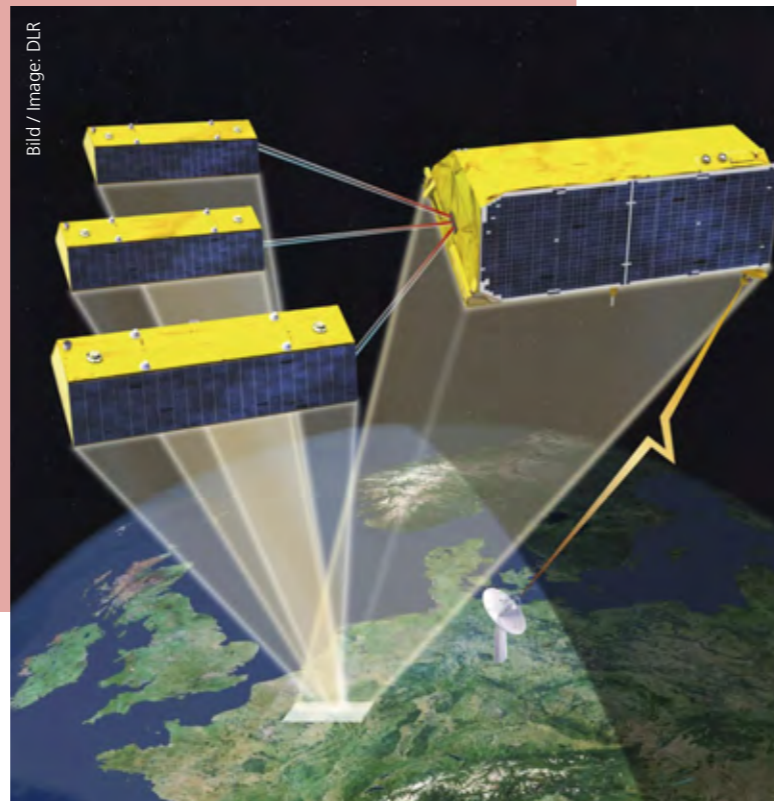
METImage is a multispectral imaging radiometer for meteorological applications. It will be integrated on EUMETSAT Polar System Second Generation (EPS-SG) satellites. METImage will provide crucial information about clouds, cloud cover, land surfaces, and about ocean, ice and land surface temperatures, among other things. As such, it will make a key contribution towards resolving issues in weather and climate forecasting.



HRWS

Mit dem Zukunftsprojekt **HRWS** (High Resolution Wide Swath) soll die erfolgreiche deutsche Radarlinie fortgesetzt werden. Erstmals sollen ein Haupt- und drei nachfolgende Satelliten in Formation fliegen. Damit können Höhenmodelle und Bildprodukte mit deutlich besserer Auflösung produziert und kommerziell genutzt werden, um den Sektors in Deutschland erneut in einer öffentlich-privaten Partnerschaft zwischen dem Bund und der Industrie zu stärken. Erstmals ist hier eine gleichrangige Projektpartnerschaft zwischen dem Bundeswirtschaftsministerium, dem Bundesverteidigungsministerium und der Industrie geplant. Das Konzept enthält ebenso einen innovativen New-Space-Ansatz mit einem KMU-Anteil von mehr als 20 Prozent.

Germany's successful radar system will undergo further progress in the **High Resolution Wide Swath (HRWS)** project. The project will see a primary satellite and three companion satellites fly in formation for the first time. This will allow elevation models and image products to be produced at a significantly improved resolution and put to commercial use, providing new impetus for Germany's service sector through a public-private partnership between the federal government and industry. The project also marks the first partnership conducted on equal footing by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, the Federal Ministry of Defence and German industry. The concept includes an innovative approach to New Space, with over 20 percent involvement by SMEs.



Copernicus

Copernicus ist das Erdbeobachtungsprogramm der Europäischen Union, das sie in Partnerschaft mit der Europäischen Weltraumorganisation ESA umsetzt. Es dient der Sammlung und Auswertung von Fernerkundungsdaten der Erde, die vollständig, offen und frei zugänglich sind. Deutschland ist größter Partner des europäischen Copernicus-Programms, federführend ist das Bundesministerium für Digitales und Verkehr.

Copernicus is the European Union's Earth observation programme. It is implemented in partnership with the European Space Agency (ESA). Copernicus is used to acquire and evaluate complete, open and freely accessible Earth observation remote sensing data. Germany is the major contributor to the European Copernicus programme. The Federal Ministry for Digital and Transport is primarily responsible for Copernicus within Germany.



Sentinel-1

Die **Sentinel-1**-Satelliten tragen ein C-Band-Radarinstrument mit synthetischer Apertur (SAR), das Daten über die Land- und Wasseroberflächen liefert. Die hochauflösenden Aufnahmen mit hoher Wiederkehrzeit werden für die Überwachung des Schiffsverkehrs und der Eisausbreitung, der Erkennung von Ölerschmutzungen sowie für die Vermessung von Hochwasser und Bodenbewegungen benötigt. Die Mission umfasst bisher zwei Satelliten, die gleichzeitig um die Erde kreisen.

The **Sentinel-1** satellites are equipped with a C-band synthetic aperture radar (SAR) instrument that provides data about land and water surfaces. Its frequent, high-resolution images are used to monitor shipping traffic and the extent of sea ice, detect oil spills and measure flooding and ground movements. The mission currently comprises two satellites orbiting Earth 180 degrees apart.



Sentinel-2

Die **Sentinel-2**-Satelliten haben mit ihren multispektralen Radiometern – den leistungsfähigsten ihrer Art – die Landbedeckung und -nutzung sowie Veränderungen von Ökosystemen im Blick. Mit 13 Kanälen und einer Auflösung von bis zu zehn Metern decken sie alle fünf Tage jeden Punkt der Landoberfläche ab. Dank der vielen Kanäle können verschiedene Pflanzen-, Böden- und Gewässereigenschaften unterschieden werden. Außerdem erfassen die Radiometer die Qualität von Binnengewässern und den Nährstoffgehalt von Äckern als Schutz vor Überdüngung.

The multispectral radiometers on the **Sentinel-2** satellites monitor land cover and use, as well as changes to ecosystems. With 13 spectral bands and a resolution of up to 10 metres, they observe Earth's entire land surface every five days. The many channels make it possible to distinguish between plant, soil and water properties. In addition, the radiometers record the quality of inland waters and the nutrient content of fields, with a view to preventing over-fertilisation.





Bild / Image: ESA/ATG medialab

Sentinel-3

Auf **Sentinel-3** sind drei unterschiedliche Instrumente zur Beobachtung der Land- und Ozeanoberflächen untergebracht, um Ozeanvorhersagen zu treffen sowie die Umwelt- und Klimaüberwachung zu unterstützen: Ein optisches Instrument mit 21 Spektralkanälen erzeugt mittelaufgelöste Aufnahmen und bildet innerhalb von zwei Tagen die ganze Welt ab. Ein Radiometer deckt mit neun Spektralkanälen auch den Infrarotbereich ab und erzeugt niedrig aufgelöste Bilder. Ein Radaraltimeter vermisst hochgenau die Land-, Eis- und Meeresoberfläche.

The **Sentinel-3** satellites are equipped with three different instruments for the observation of land and ocean surfaces. These observations facilitate ocean forecasting and support environmental and climate monitoring. An optical instrument with 21 spectral bands generates medium-resolution images and maps the entire world within two days. A radiometer with nine spectral bands covers infrared wavelengths and generates low-resolution images. A radar altimeter surveys land, ice and sea surfaces with high precision.



Sentinel-4

Sentinel-4 ist eine Spektrometer-Nutzlast im ultravioletten, sichtbaren und nahen infraroten Bereich. Das Instrument soll die Treibhausgase Methan und Kohlenstoffmonoxid, die Luftqualität, Ozon und die Solarstrahlung in der Atmosphäre kontinuierlich überwachen. Die Instrumente werden auf den „Sounder“-Satelliten der dritten Generation von Meteosat (MTG-S) integriert.

Sentinel-4 is a spectrometer payload for ultraviolet, visible and near-infrared wavelengths. The instrument is designed to continuously monitor the levels of the greenhouse gases methane and carbon monoxide, air quality, ozone and solar radiation in the atmosphere. The instruments will be integrated into Meteosat Third Generation Sounder (MTG-S) satellites.



Bild / Image: Carnil/ESA



Bild / Image: Carnil/ESA

Sentinel-5

Sentinel-5 ist ein Spektrometer im ultravioletten, sichtbaren, nah- und kurzwelligen Infrarotbereich. Es überwacht global die Treibhausgase Methan und Kohlenstoffmonoxid, die Luftqualität, Ozon und die Solarstrahlung sowie Aerosole in der Atmosphäre. Ähnlich wie sein direkter Vorläufer Sentinel-5 Precursor glänzt die Mission mit höherer räumlicher Auflösung und Empfindlichkeit. Die Instrumente werden auf den polar-umlaufenden „MetOP second Generation“-Satelliten von EUMETSAT integriert.

Sentinel-5 will carry a spectrometer for ultraviolet, visible, near infrared and shortwave infrared wavelengths. It will monitor the levels of the greenhouse gases methane and carbon monoxide, air quality, ozone and solar radiation in the atmosphere around the globe. Like its immediate predecessor, the Sentinel-5 Precursor, the mission is notable for its high spatial resolution and sensitivity. The mission's instruments will be integrated into EUMETSAT's MetOp Second Generation (Metop-SG) polar-orbiting satellites.



Sentinel-6

Sentinel-6 ist eine Satellitenmission zur hochpräzisen Messung der Topographie der Meeresoberflächen. Der Satellit wird den Abstand zur Meeresoberfläche auf wenige Zentimeter genau messen und in einem Zehn-Tages-Rhythmus kartieren. Er wird Höhenveränderungen der Meeresoberflächen dokumentieren und Meeresströmungen beobachten. Die gewonnenen Daten sind entscheidend für die Ozean-Modellierung und die Vorhersage des Meeresspiegelanstiegs.

Sentinel-6 is a satellite mission for the high-precision measurement of the topography of sea surfaces. The satellite will measure its distance from the sea surface to within just a few centimetres and produce a map of the results every 10 days. It will document changes in sea level and observe ocean currents. The data acquired will be crucial for ocean modelling and predicting rises in sea level.



Bild / Image: Carnil/ESA

Sentinel-5 Precursor

Sentinel-5P ist mit einem Spektrometer ausgestattet, das den Gehalt von Schwefeldioxid, Ozon, Formaldehyd, Stickstoffdioxid, Kohlenmonoxid, Methan und Aerosolen sowie Parameter zur Höhe, Verteilung und zum Rückstrahlvermögen von Wolken misst. Verglichen mit früheren Instrumenten liefert es mehr als das 100-fache an Messpunkten pro Flächeneinheit. Luftverschmutzungen und deren Ursachen lassen sich dadurch sehr genau belegen. Mit Sentinel-5P können neben großen Quellen wie Kohlekraftwerken, Raffinerien oder Vulkanausbrüchen nun auch kleinere Quellen innerhalb urbaner Regionen erfasst werden, die die Verkehrs- und Energiemuster von Siedlungen offenbaren.

Sentinel-5P is equipped with a spectrometer for studying clouds that measures their sulphur dioxide, ozone, formaldehyde, nitrogen dioxide, carbon monoxide, methane and aerosol content, as well as parameters related to their height, distribution and albedo. It has a resolution over 100 times greater than previous instruments. This allows it to accurately demonstrate the existence and causes of air pollution. Sentinel-5P can identify even small sources of pollution within a city and thus reveal the traffic and energy usage patterns of settlements in addition to capturing major sources such as coal-fired power plants, refineries and volcanic eruptions.

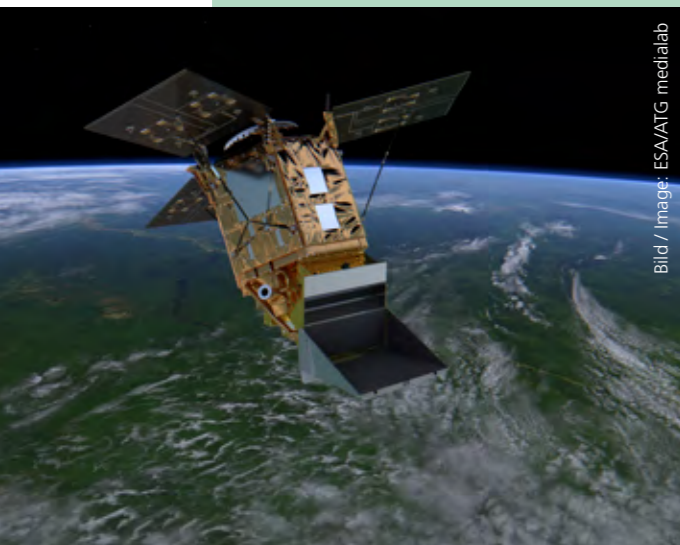


Bild / Image: ESA/ATG medialab



Bild / Image: OHB System AG

CO2M

Copernicus Anthropogenic Carbon Dioxide Monitoring (CO2M) ist die wichtigste aller neuen „Wächtermissionen“. Mit ihren Instrumenten überwachen die drei Satelliten die Kohlenstoffdioxid- (CO₂), Methan- (CH₄) und zusätzlich die Stickstoffdioxid- (NO₂) Emissionen mit einer präzisen, globalen Abdeckung. Alle drei Tage liefern sie ein vollständiges Bild dieser Treibhausgase, die einen immensen Einfluss auf den Klimawandel haben. Bislang gibt es keinen Satelliten, der die drei wichtigsten Treibhausgase im operativen Betrieb mit einer so genauen räumlich-zeitlichen Auflösung misst. Damit wird CO₂M zu einem bedeutenden Baustein für die im Pariser Klimaabkommen vereinbarte Berichterstattung aller unterzeichnenden Staaten.

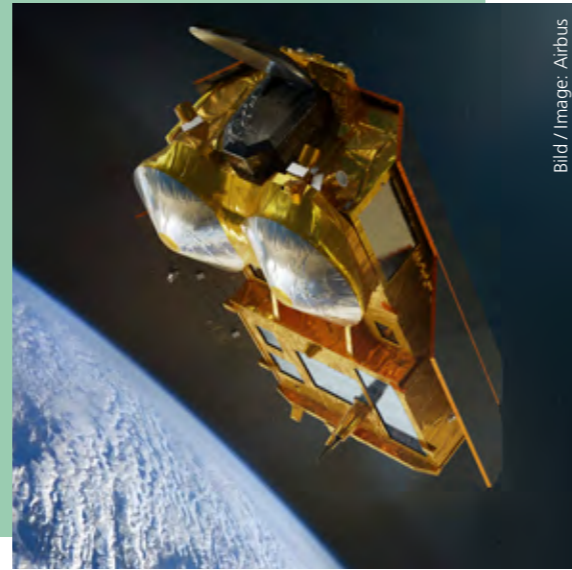
The **Copernicus Anthropogenic Carbon Dioxide Monitoring (CO2M)** mission is the most important of the new monitoring missions. The instruments on the three satellites will be used to monitor carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrogen dioxide (NO₂) emissions with global coverage and high precision. Every three days, the mission will provide a complete picture of these greenhouse gases, which have a large impact on climate change. Until now, no satellite has been capable of monitoring the three most harmful greenhouse gases at such precise spatial and temporal resolutions. This makes CO₂M an important tool for the reporting required of all signatory states to the Paris Climate Agreement.



CRISTAL

Copernicus polar Ice and Snow Topographic Altimeter (CRISTAL) ist der Schnee- und Eisbedeckung über Land und Wasser auf der Spur. Die zwei Satelliten werden die Mächtigkeit der polaren Eisschilde und großen Berggletscher sowie die Dicke von Meereis messen. Außerdem werden diese Eiswächter die Entwicklung des Meeresspiegels und der Wellenhöhe beobachten und somit unser Wissen über das Wechselspiel zwischen Eisschmelze und Meeresspiegelerhöhung erweitern. Damit leisten auch sie einen Beitrag zur Überwachung der Umweltparameter im Sinne der Beschlüsse des Pariser Klimaabkommens.

The **Copernicus polar Ice and Snow Topographic Altimeter (CRISTAL)** mission will study snow and ice coverage on land and water. The two satellites will measure the thickness of polar ice sheets, large mountain glaciers and sea ice. The ice monitor will also observe changes in sea level and wave height and thus improve our understanding of the interplay between ice melt and rises in sea level. In doing so, it will contribute towards the monitoring of environmental parameters in line with the resolutions of the Paris Climate Agreement.



ROSE-L

Radar Observation System for Europe L-band SAR (ROSE-L) ist mit ihren Radarinstrumenten vor allem der Veränderung von Biomasse auf der Spur. Aus den Messungen von ROSE-L werden zum Beispiel Pflanzen- und Waldkarten sowie Daten über die Verteilung der Vegetation und der Bodenfeuchte abgeleitet. Aber auch Bodenbewegungen und Höhenmodelle sind wichtige Produkte. Die Mission charakterisiert die Bedeckung der Landoberfläche und unterstützt maritime Dienste.

The **Radar Observation System for Europe L-band SAR (ROSE-L)** mission will primarily use its radar instruments to study changes in biomass. Vegetation and forest maps and data about the distribution of vegetation and ground moisture can all be derived from measurements made using ROSE-L. Other important products include data on ground movement and elevation models. The mission will characterise land surface coverage and provide support to maritime services.



LSTM

Land Surface Temperature Monitoring (LSTM) soll die Oberflächentemperatur über Land und Küste mit thermalen Infrarotinstrumenten überwachen. Dadurch werden Rückschlüsse möglich, wie viel Wasser verdunstet und wie diese Evaporation global verteilt ist. Vor allem die Landwirtschaft wird von diesen Daten profitieren. Aber auch Brände können von LSTM aufgespürt und beobachtet werden. Die Missionsdaten versprechen ein hohes Potenzial für die kommerzielle Nutzung.

The **Land Surface Temperature Monitoring (LSTM)** mission will monitor surface temperatures of land and coastal regions using thermal infrared instruments. This will make it possible to draw conclusions about water evaporation and its global distribution. Such data will prove particularly useful for agriculture. LSTM will also be used to detect and observe fires. The mission data will have great potential for commercial applications.



CHIME

Copernicus Hyperspectral Imaging (CHIME) überwacht mit seinem Hyperspektral-Instrument die Landoberfläche und Binnengewässer, um die Europäische Union mit Daten zur Veränderung der Naturgüter zu versorgen und gleichzeitig Anwendungen der Landwirtschaft zum Beispiel im Bereich Pflanzengesundheit und Ertragsvorhersagen, im Umweltschutz oder bei der Gewinnung mineralischer Rohstoffe zu unterstützen. Damit leistet CHIME einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung und Biodiversität. Mit seinem Hyperspektral-Instrument ist diese Mission auch eine ideale Ergänzung und Fortführung zur deutschen EnMAP-Mission.

The **Copernicus Hyperspectral Imaging (CHIME)** mission will use its hyperspectral instrument to monitor the land surface and inland waters to provide the European Union with data about changes to natural resources. At the same time, it will support applications in agriculture, such as in plant health monitoring and yield forecasting, and in environmental protection and the extraction of mineral resources. In doing so, CHIME is contributing towards sustainable development and the preservation of biodiversity. The mission's hyperspectral instrument also makes it an ideal complement and successor to the German EnMAP mission.



CIMR

Copernicus Imaging Microwave Radiometry (CIMR) liefert jeden Tag frische Informationen über Ausdehnung und Rückzug des Meereises in unseren Polregionen. Die Aktualität dieser Daten ist sehr wichtig, denn gerade an den Polen verändert sich das Klima extrem schnell. Damit werden die Meereiswächter zu einem zentralen Bestandteil einer Arktis-Strategie der Europäischen Union. Die Mission misst zudem die Oberflächentemperatur der Meere. Ihre Daten finden damit in der Klimaforschung ebenso Anwendung wie bei operationellen Eisdiensten.

The **Copernicus Imaging Microwave Radiometry (CIMR)** mission will provide new information about the spread and retreat of the sea ice in Earth's polar regions every day. It is vital that these data are up to date, as the climate is changing extremely quickly at the poles. This capability to monitor sea ice is set to become a central component of the European Union's Arctic policy. The mission will also measure the surface temperature of the sea and provide data for climate research and the operations of ice services.



Earth Explorer: Earth Explorers:

Die sogenannten Earth Explorer-Satelliten sind die Basis des von Wissenschaftlern formulierten Forschungsprogramms „Living Planet“ der ESA. Eines der Ziele ist es, unser Wissen über den Klimawandel zu vertiefen. Deutschland beteiligt sich mit etwa 170 Millionen Euro (ca. 26 Prozent) an dem aktuellen dreijährigen Programmabschnitt (Stand: Februar 2022).

The so-called Earth Explorer satellites form the backbone of ESA's Living Planet Programme. One of its aims is to expand our knowledge of climate change. Germany is contributing around 170 million euros to this three year programme period, approximately 26 percent of its total funding (status February 2022).



Bild / Image: ESA/AOES Medialab

GOCE

GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer) hat mit bisher unerreichter Präzision das Schwerefeld der Erde vermessen und das bisher genaueste Modell dieses Feldes erstellt – eine Grundlage für alle zukünftigen geowissenschaftlichen Anwendungen weltweit. GOCE hat außerdem wichtige Daten für die Ozeanographie und die Erforschung des Meeresspiegels geliefert und damit einen Beitrag zur Erforschung des Klimawandels geleistet.

The **Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer (GOCE)** measures Earth's gravity field with unprecedented precision and has helped researchers create the most accurate model of it to date, providing a basis for future geoscientific applications worldwide. GOCE has also contributed to climate change research by providing important data for oceanography and the study of sea levels.



SMOS

SMOS ist ein Pionier der Meeresforschung aus dem All. Der Satellit lieferte erstmalig Daten für globale Karten der Bodenfeuchte und des Salzgehaltes der Ozeane. Sie helfen uns dabei, den Zusammenhang von Klimasystem und Wasserkreislauf besser zu verstehen. Auch die mittelfristige Wettervorhersage wird mit Datenprodukten unterstützt. Deutsche Forschergruppen ergänzen die Missionsdaten durch weitere Datenprodukte sowie durch Bodenmessungen und Modellvergleiche, um zusätzliche Informationen über das Meer eis zu gewinnen.

The **Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS)** mission is a pioneer of marine research from space. The satellite has provided data for global maps showing soil moisture and the salinity of oceans for the first time. These data help improve our understanding of the relationship between the climate system and the water cycle. Medium-term weather forecasting is also supported by such data products. German research groups are supplementing the mission data with further data products, soil measurements and model comparisons to gain more information about sea ice.



Bild / Image: ESA/AOES Medialab

CryoSat-2

CryoSat-2 sammelt mit seinen beiden Synthetic-Aperture-Radar-Antennen Daten über die Dicke der polaren Eisschichten und des Meereises sowie ihrer saisonalen und langfristigen Veränderungen. Nur so werden Forschungsarbeiten zu den Zusammenhängen zwischen Eisschmelze, Klimawandel und Meeresspiegelanstieg möglich. Das Übertreffen der Ziele und die guten wissenschaftlichen Ergebnisse führten zu mehreren Missionsverlängerungen.

With its two synthetic aperture radar antennas, **CryoSat-2** collects data relating to the thickness of polar ice sheets and floating sea ice and the seasonal and long-term variations they experience. This is the only way of conducting research into the relationships between ice melt, climate change and rises in sea level. The mission has surpassed all its initial objectives and has helped researchers obtain excellent scientific results. It has been extended several times as a result.



Bild / Image: Carril/ESA

Swarm

Swarm ist eine Konstellation von drei Satelliten. Sie liefert die bisher genaueste Vermessung des Erdmagnetfeldes und seiner zeitlichen Veränderungen. Daraus sollen neue Einblicke in den Aufbau und die Prozesse im Erdinneren und in der oberen Atmosphäre gewonnen werden. Zusätzlich profitieren viele verschiedene Anwendungsgebiete wie Weltraumwettervorhersage und Navigation von der Mission. In Zusammenspiel mit CryoSat-Messdaten können auch Klimazeitreihen zu Magnetfelddaten aufgestellt werden.

Swarm is a constellation of three satellites. It provides the most accurate measurement of Earth's magnetic field and how it changes over time. The constellation aims to provide new insights into the structures and processes present in Earth's interior and in the upper atmosphere. The mission has already proven beneficial to many different fields, including space weather forecasting and navigation. Climate time series for magnetic field data can also be realised in conjunction with CryoSat measurement data.



Bild / Image: Carril/ESA

Aeolus

Aeolus beobachtet die globalen Windfelder mit einer weltweit einheitlichen Genauigkeit. Bisher konnten solche Daten nur durch Wetterballone oder durch Verkehrsflugzeuge entlang ihrer Flugrouten gesammelt werden. Aeolus verwendet ein neues Messverfahren auf Basis starker Laser-Pulse Europas erste LIDAR-Mission im Erdorbit. Der Windwächter konnte damit eine Lücke im meteorologischen Beobachtungsnetzwerk schließen und die numerische Wettervorhersage besonders die mittelfristige erheblich verbessern. Deshalb bereiten Eumetsat und die ESA nun eine operationelle Windlidarmission vor.

Aeolus observes wind fields across the entire globe with consistent accuracy. Previously, such data could only be collected by weather balloons or airliners travelling along their flight routes. Aeolus uses a new measurement method based on strong laser pulses. It is Europe's first lidar mission in Earth orbit. This wind monitoring satellite closed a gap in the meteorological observation network and significantly improved numerical weather prediction models, especially for medium term forecasts. As a result, Eumetsat and ESA are now preparing an operational wind lidar mission.



Bild / Image: Carril/ESA

EartCARE

EarthCARE untersucht die Zusammenhänge und Wirkungen von Wolken und Aerosolpartikeln auf den Strahlungshaushalt der Erde. Wolken, Aerosole und deren Wechselwirkungen sorgen in Klimamodellen für große Unsicherheit. EarthCARE wird Wolkenbildungsprozesse genau erfassen und so die numerische Wettervorhersage weiter verbessern.

The **Earth Clouds, Aerosol and Radiation Explorer (EarthCARE)** will examine the relationships between clouds and aerosol particles and their effects on Earth's radiation balance. Clouds, aerosols and the interactions between them are a source of great uncertainty in climate models. EarthCARE will precisely record cloud formation processes and thus help to improve numerical weather prediction models.



Bild / Image: Carni/ESA

BIOMASS

BIOMASS wird mit seinem P-Band Synthetic Aperture Radar den globalen Biomassegehalt der Vegetation besser als je zuvor bestimmen. So soll der Satellit dabei helfen, den globalen Kohlenstoffkreislauf besser zu verstehen und damit den Treibhausgas-effekt und dessen Auswirkung auf das Klima präziser vorauszusagen.

BIOMASS will determine the global biomass content of vegetation more accurately than ever before thanks to its P-band synthetic aperture radar system. The satellite is expected to improve our understanding of the global carbon cycle and thus enable more precise predictions related to the greenhouse gas effect and its impact on the climate.

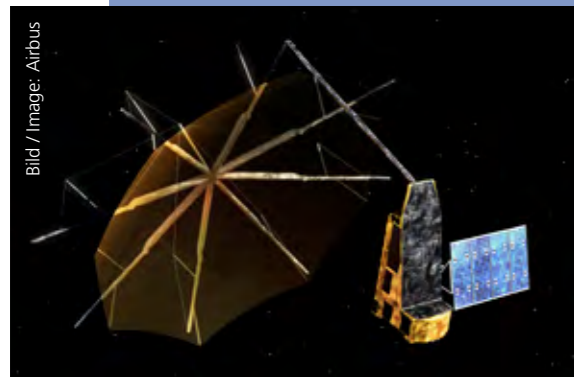


Bild / Image: Airbus

FLEX

FLEX (FLUorescence EXplorer) wird mithilfe eines abbildenden Spektrometers die von Pflanzen ausgestrahlte Lichtmenge messen und so vor allem ihre Wachstumsparameter beziehungsweise den Vegetationsstress beobachten: Unter welchen ökologischen Bedingungen entwickeln sich Pflanzen großflächig? FLEX wird dabei helfen, diese Frage zu beantworten und so auch Information über Nahrungsmittelwachstum liefern – ein wichtiger Umstand bei schnell wachsender Erdbevölkerung und Migrationsbewegungen.

The **FLuorescence Explorer (FLEX)** will use an imaging spectrometer to measure the faint light emitted by plants undergoing photosynthesis and, crucially, observe their growth and vegetation stress. Which ecological conditions allow plants to flourish on a large scale? FLEX will help to answer this question and thus provide information about food growth – an important factor in view of Earth's growing and moving population.



Bild / Image: Thales Alenia Space

Forum

Forum soll als neuestes Mitglied in der Earth Explorer-Familie helfen, die Strahlungsbilanz der Erde wesentlich besser zu bestimmen und so möglichst exakte Daten für künftige Vorhersagen zur Klimaänderung aus Modellen liefern. Forum untersucht die Strahlungsbilanz der Erde und Wasserdampfprofile in der oberen Troposphäre, damit wir die Kopplung zwischen Wasser- und Energie-Kreislauf im Klimasystem besser verstehen. Außerdem ist Forum den Strahlungseffekten von Zirruswolken in Abhängigkeit ihrer Höhe, Dicke und Mikrophysik auf der Spur. Nur wenn wir genau wissen, wie diese Wechselwirkung zwischen Strahlung und Wolken funktioniert, werden wir die Temperaturentwicklung der Erdoberfläche und damit die künftige Klimaänderung präziser verstehen – ein Gebiet, bei dem bislang wichtige Daten fehlen.

As the newest member of the Earth Explorer family, Forum aims to help more accurately determine Earth's radiation balance and thus provide climate change models with the most precise data possible for generating their predictions. Forum examines Earth's radiation balance and water vapour profiles in the upper troposphere, granting us a better insight into the link between water and energy cycles in the climate system. In addition, Forum tracks the effects of cirrus clouds on radiation and how this depends on their height, thickness and microphysical properties. Only if we know exactly how this interaction between radiation and clouds works will we be able to understand temperature trends on Earth's surface and thus future climate change with greater precision. This is an area in which researchers have previously lacked crucial data.

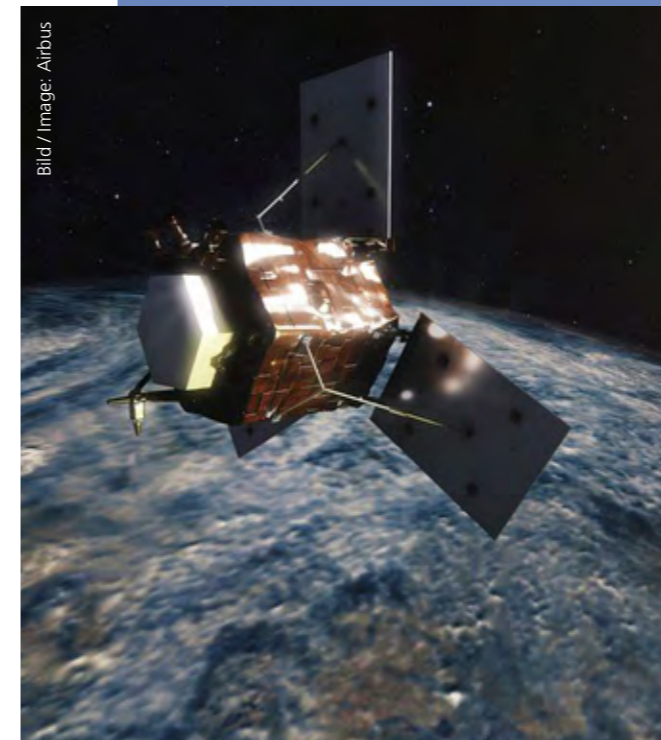


Bild / Image: Airbus

Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Es betreibt Forschung und Entwicklung in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr sowie in den Querschnittsbereichen Sicherheit und Digitalisierung. Die im DLR angesiedelte Deutsche Raumfahrtagentur setzt die Raumfahrtstrategie der Bundesregierung um. Mit ihren mehr als 330 Mitarbeitenden in Bonn integriert die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR die deutschen Raumfahrtaktivitäten auf nationaler und europäischer Ebene und vertritt im Auftrag der Bundesregierung die deutschen Raumfahrtinteressen weltweit. Zu ihren Aufgaben gehören insbesondere die Konzeption und Umsetzung des nationalen Raumfahrtprogramms sowie die Steuerung der deutschen Beiträge für die Europäische Weltraumorganisation ESA und im Forschungsrahmenprogramm Horizon Europe der Europäischen Kommission. Zudem arbeitet die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR eng mit der EU-Raumfahrtprogrammagentur EUSPA (European Union Agency for the Space Programme) und der Europäischen Organisation zur Nutzung meteorologischer Satelliten (EUMETSAT) zusammen.

The German Space Agency at DLR

The German Aerospace Center (Zentrum für Luft- und Raumfahrt; DLR) is the Federal Republic of Germany's research centre for aeronautics and space. The organisation also conducts research in the areas of energy, transport, security and digitalisation. Within DLR the German Space Agency implements the Federal Government's space strategy. More than 330 employees based in Bonn coordinate all of the German space activities at national and European levels and represents German space interests worldwide on behalf of the Federal Government. The tasks of German Space Agency at DLR include the planning and implementation of the national space programme and the management of Germany's contributions to the European Space Agency (ESA) and the European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT).
DLR.de/GermanSpaceAgency

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

 twitter.com/DLR_SpaceAgency

 [youtube.com/DLR_SpaceAgency](https://www.youtube.com/DLR_SpaceAgency)

 vimeo.com/dlrspaceagency



Impressum | Imprint

Herausgeber | Publisher:
Deutsche Raumfahrtagentur im DLR | German Space Agency at DLR

Redaktion | Editorial office: Paul Feddeck (ViSdP) (responsible according to the press law), Elisabeth Mittelbach (Teamleitung, Imprimatur) (Team Leader, imprimatur), Martin Fleischmann (Redaktionsleitung und Autor) (Editor in Chief and author)

Königswinterer Straße 522–524, 53227 Bonn
Telephone +49 (0) 228 447-0

Druck | Printing: Kern GmbH, In der Kolling 120, 66450 Bexbach, <https://www.kern.gmbh/>
Gestaltung | Design: bplUSD, Am Kabellager 11–13, 51063 Köln, www.bplUSD.de
Übersetzung | Translation: EJR-Quartz BV, Legewerfsteeg 8, 2312 GW Leiden, The Netherlands

Nachdruck nur mit Zustimmung des Herausgebers und Quellenangabe. Alle Bilder DLR, soweit nicht anders angegeben. Namentlich gekennzeichnete Artikel geben nicht unbedingt die Meinung der Redaktion wieder. Erscheinungsweise vierteljährlich, Abgabe kostenlos. | Content reproduction allowed only with the prior permission of the publisher and must include a reference to the source. All images are owned by DLR unless otherwise stated. Articles marked by name do not necessarily reflect the opinion of the editorial staff. Published quarterly, distribution free of charge.

Titelbild | Cover image: Der europäische Satellit Aeolus ist nach dem griechischen Gott des Windes benannt und ist der erste Satellit, der Windfelder global und dreidimensional vermessen kann. Damit wird der Aeolus die Wettervorhersage und Klimamodelle verbessern. An dem ESA-Satelliten sind auch zahlreiche deutsche Partner wie OHB in Bremen, Tesat-Spacecom in Backnang, Airbus in Ottobrunn sowie diverse KMU und Forschungseinrichtungen beteiligt. (ESA) | The European satellite Aeolus is named after the Greek god of winds. Aeolus is the first satellite mission to acquire profiles of Earth's wind on a global scale. These observations are being used to improve weather forecasts and climate models. A lot of German partners like OHB in Bremen, Tesat-Spacecom in Backnang, Airbus in Ottobrunn as well as divers SME's and scientific institutes are participating in this ESA mission. (ESA)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR hat ihren Sitz im Südosten der Bundesstadt Bonn. Aus dem Weltraum lassen sich der Rhein und zwei Brücken der Beethoven-Stadt gut erkennen, in der auch wichtige Institutionen wie die Vereinten Nationen (UN), das Europäische Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage (EZMW) sowie viele Bundesministerien vertreten sind (IKONOS).

The German Space Agency at DLR is based in the south-east of the federal city of Bonn. The Rhine river and two bridges of the Beethoven city can be clearly seen from space, where important institutions such as the United Nations (UN), the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMW) and many federal ministries are also represented (IKONOS).

