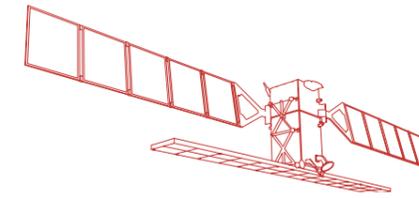


Sentinel-2-Aufnahme vom Großraum Berlin am 12. September 2015 als Falschfarbenkomposit. Die Darstellung der im Infraroten aufgenommenen Wellenbereiche in roten Farbtönen macht die Unterschiede in der Vegetation besonders gut sichtbar.

Bild: Copernicus Sentinel data (2015)/ESA

# COPERNICUS: ERDBEOBACHTUNG 4.0



Die Erde im Blick:  
Mit dem Sentinel-Programm beginnt ein neues Kapitel

Von Gunter Schreier

**25.** April 2015, 11:56 Uhr Ortszeit: Das Dach der Welt, der Himalaya, aufgeworfen durch die indische Kontinentalplatte, die hier unter der eurasischen Platte abtaucht, wird von einem der stärksten Erdbeben seit Jahrzehnten erschüttert. Das Epizentrum des Bebens liegt 80 Kilometer nordwestlich der nepalesischen Hauptstadt Kathmandu. Internationale Hilfsorganisationen machen sich auf, die Versütteten zu bergen und den Verletzten zu helfen. Auch das DLR hilft. Eingefallene Gebäude, zerstörte Baudenkmale und unzugängliche Täler werden mit Hilfe aktueller Satellitenbilder rasch kartiert. Spezialist für diese Arbeiten im DLR: das Zentrum für Satellitengestützte Kriseninformation (ZKI) am Erdbeobachtungszentrum (EOC) in Oberpfaffenhofen. Das ZKI kann diesmal auch auf sehr hochauflösende Luftbilder der nepalesischen Hauptstadt zurückgreifen, die bei einer DLR-Flugkampagne im Januar 2014 aufgenommen wurden.

Die Daten des DLR machen nicht nur die massiven Zerstörungen, sondern auch deren Ursache sichtbar. Die Wissenschaftler und Ingenieure am EOC berechnen den durch das Beben verursachten Bodenversatz (siehe Abbildung am Ende des Beitrags) und zeigen, dass große Teile des Landes innerhalb weniger Sekunden um mehrere Meter verschoben wurden. Hierfür vergleichen sie von Satelliten aufgezeichnete Radarsignale der Region vor und nach dem Beben. Dank solcher interferometrischer Verfahren können Bewegungen im Zentimeter-Bereich – bei kontinuierlicher Beobachtung sogar im Millimeter-Bereich – gemessen werden. Die Daten stammen diesmal jedoch nicht von dem vielfach bewährten deutschen Satellitengespinn der Mission TanDEM-X, sondern von dem europäischen Radarsatelliten Sentinel-1, der erst vor eineinhalb Jahren in seine Umlaufbahn gebracht wurde.

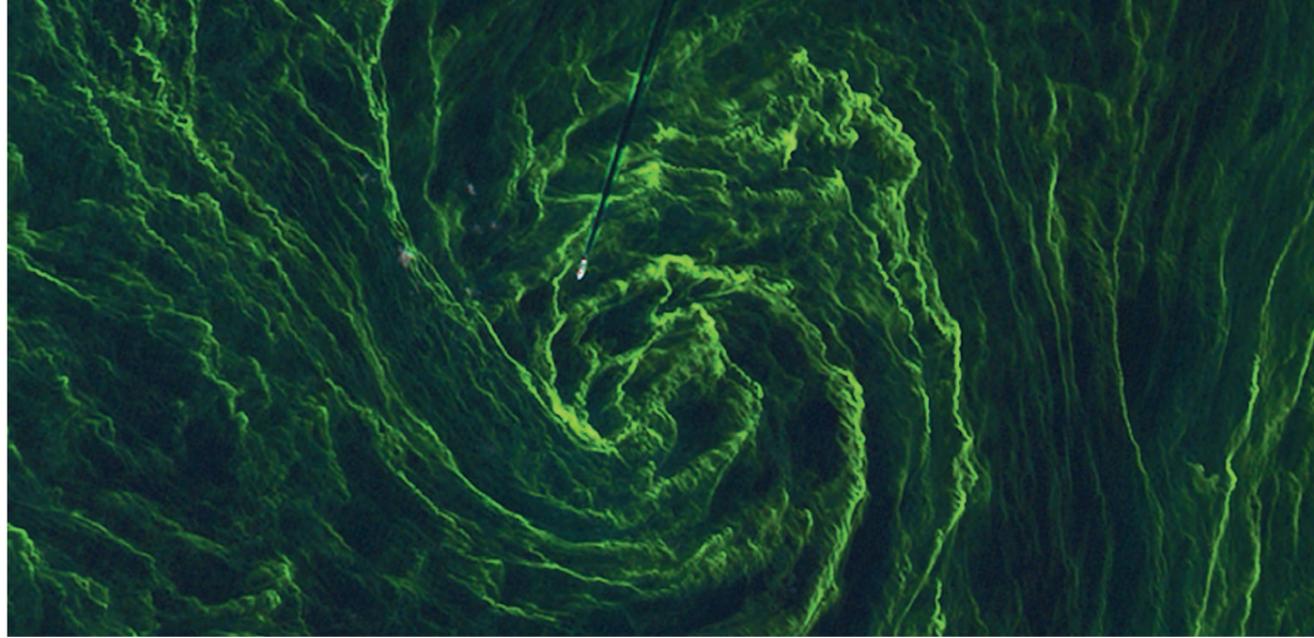
Sentinel-1 ist der erste Satellit einer ganzen Flotte, die im Rahmen des europäischen Copernicus-Programms in Betrieb genommen wurde. Er markiert einen Meilenstein in der europäischen Erdbeobachtung. Denn an die Stelle von zeitlich befristeten, nationalen oder europäischen Einzelmissionen tritt nun eine langfristig finanzierte und auf Kontinuität ausgelegte europäische Gesamtstrategie. Diese berücksichtigt neben den Sentinels auch die verschiedenen nationalen Erdbeobachtungsmissionen und die bodengebundenen In-situ-Daten. Damit wird erstmals eine verlässliche und langfristig verfügbare Datenbasis geschaffen, mit der Wissenschaft, Behörden und Firmen in Zukunft planen können.

## Erweiterter Nutzerkreis

Bislang war es für Planungs- oder Katastrophenschutzbehörden unklar, ob ihre Arbeitsgrundlagen – spezielle Satellitendatentypen und Erdbeobachtungsmissionen – auch in den nächsten

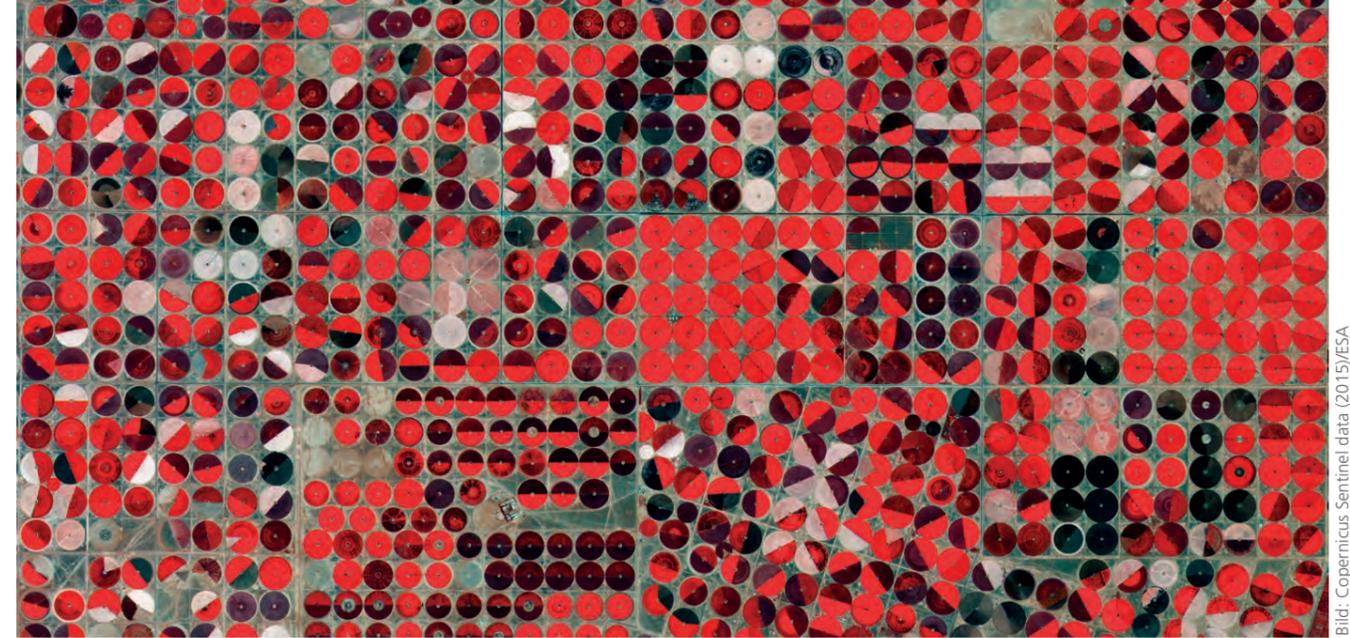


Das oberbayerische Voralpenland mit München am linken Bildrand auf einer Aufnahme von Sentinel-2 (13. August 2015)



Algensturm in der Ostsee auf einer Sentinel-2-Aufnahme vom 4. September 2015. Ein Schiff passiert das Auge des Sturms, es ist als kleiner weißer Punkt erkennbar.

Bild: Copernicus Sentinel data (2015)/ESA



Wüste in Saudi-Arabien mit landwirtschaftlicher Nutzung. Die Kreisflächen auf der Sentinel-2-Aufnahme stammen von Bewässerungssystemen; die Bewässerung rotiert um die zentrale Wasserzufuhr.

Bild: Copernicus Sentinel data (2015)/ESA

## DIE HIMMLISCHEN WÄCHTER

Es gibt sechs Sentinel-Missionen im Copernicus-Programm. Jeweils zwei Satelliten einer Sentinel-Mission werden dabei gleichzeitig im Orbit sein.

**Sentinel-1:** C-Band-Radar mit synthetischer Apertur (SAR) zur Beobachtung der Ozeane, Polgebiete und von Landflächen bei jeder Bewölkung, Tag und Nacht; Start: 3. April 2014.

**Sentinel-2:** Optisches Instrument mit 13 Spektralkanälen mit maximal 10 Meter Auflösung und 290 Kilometer breiten Aufnahmestreifen, kontinuierliche Kartierung der Landoberflächen der Erde; Start: 23. Juni 2015.

**Sentinel-3:** Mehrere Instrumente zur Beobachtung des Landes und der Ozeane, Hauptinstrument mit 21 Spektralbändern und einer Auflösung von 300 Metern, Abdeckung der gesamten Erde mit zwei Satelliten in weniger als zwei Tagen; Start des ersten Sentinel-3: geplant für Dezember 2015.

**Sentinel-4:** Nutzlast auf dem geostationären Meteosat-Satelliten der dritten Generation (MTG) zur Beobachtung der Spurengase in der Atmosphäre; Start: geplant ab 2018.

**Sentinel-5:** Atmosphären-Nutzlast polar umlaufender Satelliten der zweiten MetOP-Generation; Start: geplant ab 2019.

Als Überbrückung der Beobachtungslücke bis dahin dient der **Sentinel-5-Precursor**; Start: geplant für 2016.

**Sentinel-6:** Radaraltimeter zur Vermessung der Meere; Start: geplant ab 2019.

Jahren oder Jahrzehnten noch zur Verfügung stehen werden. Mit Copernicus ändert sich das. Vorbild sind die europäischen Wettersatelliten, die 1983 mit der Gründung von EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites; Europäische Organisation für die Nutzung meteorologischer Satelliten) in ein kontinuierliches europäisches Programm überführt wurden. Aber nicht nur Meteorologen brauchen Informationen von Satelliten. Neben dem Katastrophenmanagement möchten auch andere Behörden und Dienste auf aktuelle Satellitendaten, beispielsweise für Land- und Forstwirtschaft, Städteplanung, Umwelt- und Naturschutz, vielfältige Planungsaufgaben, sichere Schifffahrt und anderes mehr zugreifen. Mit der kontinuierlichen Datenversorgung durch Copernicus erweitert sich der Nutzerkreis immens. Kommerzielle Anbieter von Geoinformationsdienstleistungen können erstmals diesen verlässlichen und kostenfreien Datenzugang nutzen, um neue Informationsdienste zu entwickeln, die sie auf dem Markt anbieten können. Und natürlich profitiert auch die Wissenschaft von langfristigen Datenreihen. Vegetation und Landbedeckung können künftig über Jahrzehnte hinweg mit den Daten der Sentinel-Satelliten vermessen werden und liefern so wichtige geowissenschaftliche Parameter und Indikatoren. Nicht nur für die Erforschung des globalen Wandels, sondern auch für den Umgang mit den Veränderungen sowie für das Management knapper werdender Ressourcen ist das von unschätzbarem Wert.

Copernicus ist neben dem europäischen Satellitennavigationssystem Galileo das zweite große Programm der Raumfahrtstrategie, die von der europäischen Kommission 2004 beschlossen wurde. Die Europäische Weltraumorganisation ESA und zum Teil auch EUMETSAT sind im Copernicus-Programm mit der Entwicklung und dem Betrieb der Satelliten und der Bodeninfrastruktur betraut. Teile der Bodeninfrastruktur werden im Auftrag der ESA von Einrichtungen in den Mitgliedsstaaten betrieben. So auch am EOC im DLR Oberpfaffenhofen.

Copernicus führt auch die langjährigen Datenreihen fort, die bis 2012 von der ESA-Erdbeobachtungsmission ENVISAT (Environmental Satellite, Umweltsatellit) und zuvor von ERS-1 und ERS-2 (European Remote Sensing Satellite) geliefert wurden. Mit seinem Radar, seinen optischen Systemen und seinen Atmosphärensensoren waren auf der ENVISAT-Plattform bereits Vorläufer der heutigen Copernicus-Messgeräte vertreten. Statt

jedoch wie früher alle Sensoren auf einen großen Forschungssatelliten zu platzieren, sieht Copernicus sechs dedizierte Missionen vor. Diese werden als Sentinels (englisch für Wächter) bezeichnet. Jeweils zwei Sentinels einer Serie sollen parallel betrieben werden.

### Aktuelle Dienste

Um die Nutzung der neuen Satellitendaten im planerischen, politischen und wirtschaftlichen Tagesgeschäft in Europa zu fördern, wurden zunächst sechs Kerndienste ins Leben gerufen. Durch die Kommission beauftragte Konsortien erzeugen aus dem ständigen Strom an Sentinel-Daten Karten zur aktuellen Landnutzung, Übersichten über Naturschutzgebiete, tagesaktuelle Prognosen zur Luftverschmutzung und vieles mehr. Das EOC ist mit seiner wissenschaftlichen Expertise vielgefragter Partner bei solchen Copernicus-Diensten. Die Ergebnisse der Dienste werden von Organisationen, wie der Europäischen Umweltagentur in Kopenhagen (EEA), den Bürgern Europas und der Welt frei und öffentlich über das Internet zur Verfügung gestellt.

Für einige der Anwendungen ist Zeit ein kritischer Faktor. So nutzt die Europäische Behörde für maritime Sicherheit in Lissabon Sentinel-1-Daten, um Ölflecken zu detektieren und deren Verursacher an den Küsten Europas dingfest zu machen. Die Küstenwache benötigt die Informationen wenige Minuten nach ihrer Aufnahme, um mit entsprechenden Maßnahmen aktuell reagieren zu können. Die zentralen Empfangs- und Prozessierungseinrichtungen des Copernicus-Bodensegments können diese Geschwindigkeit nicht immer realisieren. Daher empfangen einige ESA-Mitgliedsstaaten die Sentinel-Daten direkt über eigene Bodenstationen und prozessieren sie nahe Echtzeit zu den gewünschten Informationen.

Auch das EOC des DLR empfängt und verarbeitet die Sentinel-Daten in Echtzeit, das geschieht am DLR-Standort in Neustrelitz in Mecklenburg-Vorpommern. Diese Sentinel-1-Daten bilden dabei nicht nur eine wichtige Informationsquelle für die Forschungsstellen Maritime Sicherheit des DLR in Bremen und Neustrelitz, sondern sie stehen ebenso Partnern aus Wissenschaft und Industrie zur Verfügung.

### Free & Open

Die Sentinels liefern innerhalb weniger Tage ein Gesamtbild der Erde mit einer maximalen geometrischen Auflösung von bis zu zehn Metern. Für viele globale Monitoring-Aufgaben ideal, doch noch zu gering aufgelöst, um beispielsweise im Rahmen humanitärer Zwecke Flüchtlingslager oder Städte zu kartieren. Hier beschafft das Copernicus-Programm Daten von kommerziellen Satellitenmissionen, die für kleinere Ausschnitte

eine höhere Auflösung liefern können. Diese werden zumeist von Firmen oder in einer „Public Private Partnership“ mit staatlichen Einrichtungen betrieben, wie die DLR-Missionen TerraSAR-X und TanDEM-X zusammen mit Airbus.

Im Gegensatz zu diesen meist kommerziellen „Copernicus Contributing Missions“ sind die Daten und Produkte der Sentinel-Satelliten grundsätzlich kostenfrei und für alle Nutzer offen zugänglich. Um die Entscheidung für diese „Free & Open“-Datenpolitik wurde politisch hart gerungen. Letztlich waren aber der Druck aus der Wissenschaft, die klare Abgrenzung zu den kommerziellen Missionen und die positiven Erfahrungen in den USA mit einer ähnlichen Politik ausschlaggebend. In den USA stieg nicht nur die wissenschaftliche Nachfrage nach globalen Daten sprunghaft an. Nach der Freigabe der Landsat-Daten haben viele kommerzielle Geoinformations-Firmen und Dienstleister auf diese freie Datenquelle gesetzt und neue Märkte erschlossen. Die Datenpolitik „Free & Open“ wird deshalb auch im Copernicus-Programm als ein gangbarer Weg gesehen.

„Free & Open“ heißt, dass grundsätzlich alle Sentinel-Daten über Internetportale weltweit für Wissenschaftler und kommerzielle Anbieter zur Verfügung stehen. Herausforderung dabei ist, dass die Copernicus-Nutzer schnell genug auf die Daten zugreifen und die enormen Datenmengen verarbeiten können. Google und Amazon können beides. Sie speichern bereits die über die ESA-Portale frei zugänglichen Sentinel-Daten und stellen diese inklusive gewaltiger Rechenkapazität den Nutzern ihrer Infrastruktur weltweit zur Verfügung. Es bleibt abzuwarten, wie sich dieses Engagement der Internet-Giganten weiter entwickelt. In Europa besteht diesbezüglich Nachholbedarf: sowohl an leistungsfähigen Datennetzen als auch an großen, global agierenden Internetfirmen mit fast unbegrenzten Speicher- und Rechnerkapazitäten.

Nach dem Start des ersten Sentinel-Satelliten im April 2014 wurde den Verantwortlichen für das Copernicus-Programm in Brüssel klar, dass es nicht reicht, Satellitendaten zu erzeugen und die Dienste in der Europäischen Union prioritär mit Daten zu versorgen, sondern dass es notwendig ist, den Zugang dazu für alle Nutzer zu erleichtern und technisch attraktiv zu machen. Und schließlich können erst in Kombination mit großer Rechen- und Speicherkapazität (beispielsweise im Cloud Computing) die Copernicus-Daten für neue Anwendungen effektiv genutzt werden. Erste, nationale und kommerzielle Ansätze für dieses „Big Data“ in der Erdbeobachtung gibt es bereits, auch in Deutschland. Die Europäische Kommission hat parallel begonnen, diese nationalen Bestrebungen zu harmonisieren, um damit die informations- und datentechnischen Herausforderungen in Copernicus zu meistern.



Bild: Copernicus Sentinel data (2015)/ESA

Wunderschönes Detail des Jungersen Gletschers, der in den nordgrönländischen Nordenskiöld Fjord fließt. Das Satellitenbild (Sentinel-2) zeigt die Gletscherbewegung.

## Neue Ära

Mit Copernicus beginnt eine neue Ära der Erdbeobachtung. Dies wurde am Earth Observation Center des DLR früh erkannt. Im Wettbewerb mit anderen europäischen Einrichtungen hat es sich deshalb von Beginn an bei Copernicus auch um Aufgaben im sogenannten Nutzlastbodensegment beworben. Technisch steht dieser Begriff für alle Funktionen, mit denen die Sentinel-Daten empfangen, verarbeitet, archiviert und verteilt werden. Als Processing and Archiving Center (PAC) war das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) im EOC bereits für die ESA-Missionen ERS-1, ERS-2 und ENVISAT tätig. Bei Copernicus übernimmt das DFD nun diese Aufgaben für Sentinel-1, Sentinel-3/Land und für den Sentinel-5-Precursor. Alle Daten dieser Copernicus-Missionen laufen über das DLR Oberpfaffenhofen, werden dort für spätere Langzeitauswertungen über viele Jahre gesichert und gelangen von Oberpfaffenhofen aus an die Verteilerknoten im Internet.

Um diesen Datenschatz für die Wissenschaft im DLR und für nationale Anwendungen zu erschließen, wurde parallel im EOC die Initiative für ein „German Copernicus Center“ ins Leben gerufen. Zusammen mit Partnern aus der Industrie hat das EOC einen Vorschlag zur Nutzung der Copernicus-Daten konzipiert. Zentrale Idee ist dabei, die enormen Datenmengen und ihre Verarbeitung örtlich zusammenzubringen und so den zeit- und kostenintensiven Datentransfer zu umgehen. Die Langzeitdatensicherung der wertvollen Daten spielt dabei eine Schlüsselrolle. „Big Data“ am DLR und das Zusammenspiel mit Partnern sind die Antwort auf die Herausforderungen in der Erdbeobachtung. Als Testplattform für ein solches Szenario dient die interne Cloud des EOC,

die „GeoFarm“. Im Projekt OPUS – gefördert vom Bayerischen Wirtschaftsministerium – wird als Vorbereitung auf solche Nutzungsszenarien die Zusammenarbeit mit kommerziellen Partnern bei daten- und rechenintensiven Prozessen bereits erprobt.

Alle Sentinel-Daten – aktuelle wie historische – sollen künftig in diesem Copernicus-Zentrum zusammen mit entsprechenden Rechnerkapazitäten verfügbar sein. Das Deutsche Satellitendatenarchiv (D-SDA) im DFD soll dabei die Langzeitarchivierung und den Zugriff auf alle Sentinel-Daten sicherstellen. Nutzer müssen dann nicht erst Terabyte an Daten auf ihre Rechner herunterladen, sondern können ihre Algorithmen auf die Rechner des künftigen Zentrums spielen und diese zusammen mit den Daten nutzen. Was der Nutzer letztlich zurückbekommt, sind die Ergebnisse. Und auch diese kann er auf der Plattform mit anderen Nutzern teilen, wenn es gewünscht ist. So logisch sich diese Vorgehensweise anhört, so oft auch über Cloud Computing gesprochen wird, so viele technische Herausforderungen und rechtliche Fragen müssen dabei noch angegangen und geklärt werden. Das Erdbeobachtungszentrum des DLR arbeitet an diesen Herausforderungen und entwickelt neue Methoden des „Big Data“ in der Erdbeobachtung: intelligente Algorithmen, effiziente Prozessoren und eine schnelle Verarbeitung von Copernicus-Daten für Umwelt und Sicherheit. Kurzum: Erdbeobachtung 4.0.

Diplom-Geophysiker **Gunter Schreier** koordiniert als stellvertretender Direktor des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums im DLR in Oberpfaffenhofen die Geschäftsentwicklung, insbesondere von Copernicus.

Bild: ESA/P. Carril



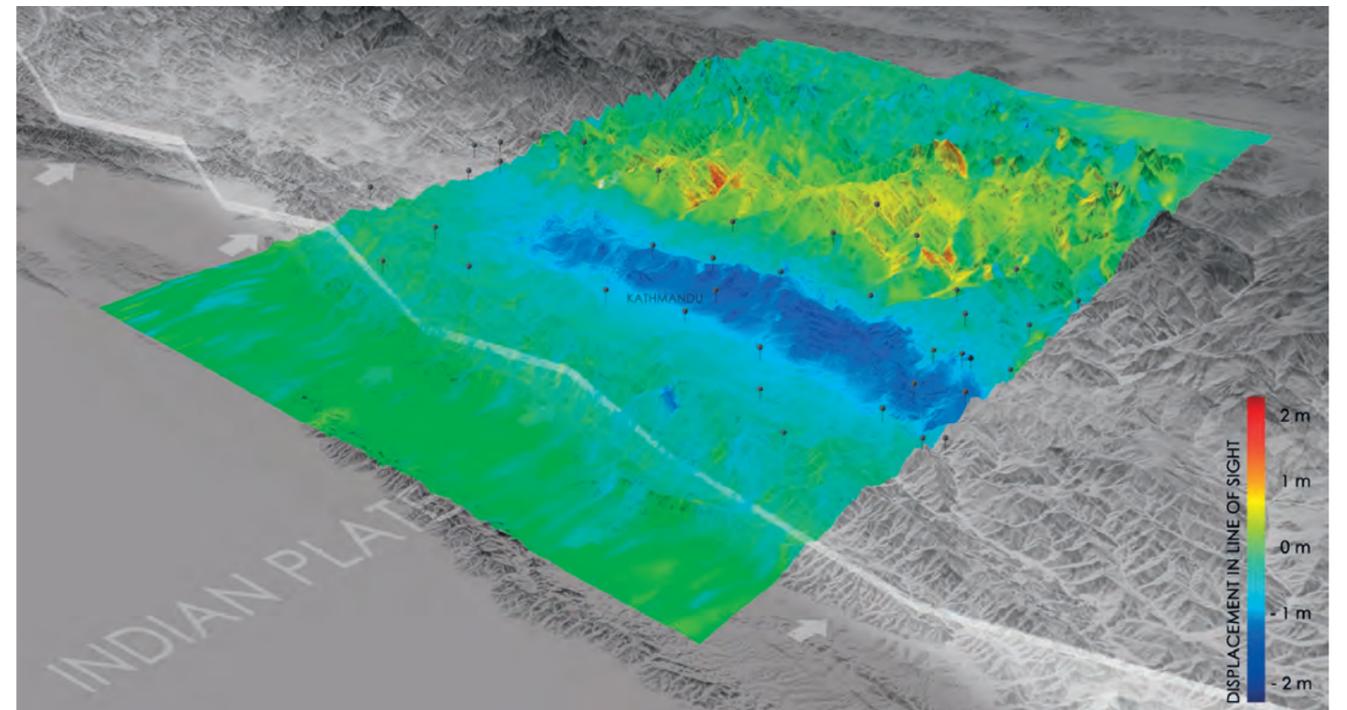
Sentinel-1

Bild:ESA/ATG medialab



Sentinel-2

Nach dem Erdbeben in Nepal am 25. April 2015: Das Sentinel-1-Interferogramm zeigt die Veränderungen. Die entstandenen Deformationen sind farbig kodiert. Nahe der Plattengrenze bewegte sich der Erdboden nach oben (blauer Bereich), weiter nördlich davon sind die damit zusammenhängenden Absenkungen (rot-gelber Bereich) zu sehen – eine Gegenbewegung, wie sie oft bei Beben an Subduktionszonen auftritt.



## DIE KERNDIENSTE VON COPERNICUS

### Landüberwachung

Informationen und Daten von der lokalen bis zur globalen Ebene bezüglich der Landoberfläche als Basis für thematische Karten und für die Prognose sowie Planung zukünftiger Entwicklungen in den Bereichen Umwelt und Landnutzung.

### Überwachung der Meeresumwelt

Daten und Produkte zum Schutz der Meere, von Seewegen und Küstenregionen, Bestandteil zum Beispiel bei Wetter- und Klimavorhersagen.

### Katastrophen- und Krisenmanagement

Der Copernicus Emergency Management Service (EMS) bietet Übersichts- und Planungsinformationen für die Entsendung von Hilfskräften und für deren Unterstützung vor Ort.

### Überwachung der Atmosphäre

Bereitstellung von Daten zur globalen Verteilung atmosphärischer Spurenstoffe, insbesondere zur Verteilung von Spurengasen und Aerosolen (Feinstaub).

### Überwachung des Klimawandels

Noch in der Detaillierungsphase: Produkte und Informationen zur Überwachung des Klimawandels.

### Sicherheit

Noch in der Detaillierungsphase: Produkte und Informationen zur Sicherung der zivilen Sicherheit.