

## Stille Wächter über uns

Bessere Radarsatelliten für die kontinuierliche Erdbeobachtung

Unermüdlich nehmen Radarsatelliten die Erde ins Visier. Bis heute werden sie vor allem für Forschungszwecke eingesetzt. Mit neuen zivilen und militärischen Missionen soll sich das nun aber ändern.

Sie haben ihre Augen fast überall, Tag und Nacht: Radarsatelliten messen nicht nur die Bewegungen von Berghängen im Mattertal im Wallis, sondern auch die Fließgeschwindigkeit des Unteraargletschers oder die Verschiebung der Erdkruste nach einem Erdbeben wie etwa in der chinesischen Provinz Sichuan im vergangenen Jahr. Sie spüren Tankschiffe mit riesigen Ölfilmern im Schlepptau auf, die auf offener See illegal ihre Tanks reinigen. Und ihnen sind auch die riesigen Überschwemmungen im Irrawaddy-Delta in Burma 2008 nicht entgangen, obwohl das Gebiet von Wolken bedeckt war. Denn Radarsatelliten sind allwettertauglich und unabhängig vom Tageslicht. Während sie früher primär der Forschung dienten, werden sie heute zunehmend für zivile oder militärische Aufgaben genutzt. Davon zeugen die zahlreichen Starts von Radarsatelliten seit 2006; auch für die kommenden Jahre sind neue Missionen geplant.

### Regelrechte Arbeitstiere

Die bildgebenden Radarsatelliten senden Mikrowellen aus und empfangen die von der Erdoberfläche reflektierten Echos. Je nach Anwendung arbeiten die Satelliten mit Wellenlängen im X-, C- oder L-Band (siehe Tabelle). Schon 1978 wurde erstmals ein ziviler Satellit mit Synthetic Aperture Radar (SAR) ausgerüstet. Damit bei Radarsatelliten die räumliche Auflösung der Bilder in Flugrichtung möglichst gut ist, müssen sehr grosse Antennen verwendet werden. Diese werden bei SAR-Systemen künstlich – oder eben synthetisch – erzeugt: Die Momentaufnahme einer sehr grossen Antenne wird dabei durch viele Aufnahmen einer kleinen, entlang der Flugbahn des Satelliten bewegten Antenne ersetzt. So bleibt die räumliche Auflösung der SAR-Bilder in Flugrichtung auch dann sehr gut, wenn die Satelliten hoch über der Erde kreisen.

Weil die Mikrowellenstrahlung die Atmosphäre beinahe ungehindert durchdringen kann, sind die Systeme ausserdem praktisch wetterunabhängig. Diese Fähigkeit macht sie zu eigentlichen Arbeitstieren der Erdbeobachtung, denn bei Katastrophen oder Unfällen können sie rascher Bilder liefern als optische Aufnahmesysteme. Die Umlaufbahnen wählt man so, dass die Satelliten fast die gesamte Erdoberfläche nach und nach in zusammenhängenden Bildstreifen aufnehmen, bis nach einer gewissen Zeit wieder der gleiche Punkt überflogen wird. Die Wiederholrate verkürzt sich auf wenige Tage, wenn sich der Strahl der Radarantenne und damit die Blickrichtung zusätzlich steuern lässt, ein Gebiet also rascher wieder in Sichtweite des Radars kommt.

### Eine Frage der Wellenlänge

Der Vergleich mag überraschen, aber SAR-Satellitenaufnahmen erinnern den Laien oft an medizinische Ultraschallbilder. Auch wenn in der Diagnostik viel längere Wellen – oder gleichbedeutend: tiefere Frequenzen – als bei der Erdbeobachtung eingesetzt werden, gemeinsam ist den Aufnahmen ihr körniges Aussehen. Während sich auf der einen Aufnahme ein Fötus erkennen lässt, zeigt sich auf der anderen vielleicht eine unwirtliche Mondlandschaft: SAR-Sensoren werden nämlich auch auf Raumsonden eingesetzt. So kartierte etwa die Sonde Cassini 2004 mittels SAR den unter einem dichten Wolkenschleier verborgenen Saturnmond Titan.

Auf der Erde wird mit der SAR-Technik heute beispielsweise kontinuierlich das Meeresis auf Schifffahrtsrouten beobachtet. Auf solchen Bildern lässt sich nicht nur das Treibeis verfolgen,



Exklusiv für die NZZ hat der Satellit TerraSAR-X den Flughafen Zürich am 31. Januar 2009 erstmals ins Visier genommen. Das Bild wurde bei bewölktem Himmel aufgenommen.

sondern es können auch verschiedene Typen von Meeresis unterschieden werden. Dafür eignen sich Bilder im C-Band besonders gut, weil diese Mikrowellen je nach Beschaffenheit des Eises unterschiedlich stark zurückgestreut werden. Häufig für diesen Zweck eingesetzt werden der kanadische Radarsat-2 oder auch der Satellit Envisat der Europäischen Weltraumorganisation (ESA), mit dem diese unter anderem die Fläche des arktischen Meereises erfasst. Diese wird seit 1979 regelmässig mit Satelliten vermessen und erreichte im Spätsommer 2007 einen Rekord-Tiefstand.

Im Gegensatz zu den kanadischen und europäischen C-Band-Systemen setzt Japan mit seinem Satelliten Alos auf das L-Band. Die etwa viermal längeren Mikrowellen werden beispielsweise für Beobachtungen der Vegetation eingesetzt. Oft werden diese Wellen an der Erdoberfläche einfach gespiegelt; entsprechend dunkel erscheinen in den Bildern etwa Wiesen- oder Ackerflächen. Ist die Oberfläche rauer – wie zum Beispiel bei einem Wald –, wird die Strahlung diffus zurückgestreut. Auf Satellitenbildern, die im L-Band aufgenommen wurden, ist der Kontrast zwischen vegetationslosen oder -armen Oberflächen und Waldflächen darum sehr gross. So lassen sich zum Beispiel Rodungen des tropischen Regenwaldes gut nachweisen.

Ob L- oder C-Band: Werden vom gleichen Gebiet aus leicht unterschiedlichen Satellitenpositionen zwei SAR-Aufnahmen gemacht, lässt sich damit die Topografie vermessen. Spezialisten nennen das Verfahren SAR-Interferometrie. Vergleicht man die damit gewonnenen Höheninformationen mit bestehenden Geländemodellen, lassen sich Veränderungen an der Erdoberfläche messen. Das können Verschiebungen der Erdkruste nach einem Erdbeben sein, aber auch Hangrutschungen in den Bergen. Der grosse Vorteil dieser Methode liegt darin, dass sie Rutschungen mit Verschiebungen ab wenigen Zentimetern in den Bergen flächenhaft erfassen und überwachen kann, wie Hugo Raetzo vom Bundesamt für Umwelt (Bafu) sagt. Zum ersten Mal in der Schweiz flossen gegenwärtig für eine Hangrutschung im bündnerischen Val Lumnezia Resultate aus interferometrischen SAR-Messungen in die örtlichen Gefahrenkarten ein; diese müssen die Kantone bis 2011 flächendeckend erstellen. Mit Hilfe der Satellitenbilder hat Raetzo auch Felsbewegungen im Wallis nachweisen können, etwa beim Grossen Aletschgletscher oder im Mat-

tertal. Die SAR-Interferometrie sei – grossflächig angewandt – wesentlich günstiger als die Vermessung solcher Massenbewegungen im Gelände. Dies, obwohl sie aus technischen Gründen im Gebirge längst nicht überall eingesetzt werden kann.

### Potenzial nicht ausgeschöpft

Diese Anwendung ist noch lange nicht Standard. Sie ist hierzulande einer der wenigen Fälle, bei denen SAR-Beobachtungen Eingang in die Praxis gefunden haben. Das sei mit ein Grund, weshalb diese Form der Erdbeobachtung in der Schweiz so wenig bekannt sei, sagt Urs Frei vom Bereich Raumfahrt des Staatssekretariats für Bildung und Forschung. Gerade hinsichtlich der Früherkennung von Naturgefahren im Alpenraum – auch vor dem Hintergrund des Klimawandels – sowie bei Unwettern oder Überschwemmungen habe die SAR-Erdbeobachtung grosses Potenzial. Vielfach seien mögliche Anwendungen aber auch schlicht zu wenig im Bild über die zur Verfügung stehenden Satellitensysteme und deren Möglichkeiten. Verbesserungsbedarf ortet Frei indes auch bei den Aufnahmesystemen: Für zeitkritische Anwendungen, wie die rasche Analyse von Überschwemmungen, seien Satellitenbilder heute zu wenig oft oder nicht schnell genug verfügbar. Letzteres aber werde sich in den kommenden Jahren mit geplanten Satellitenmissionen sowie der Initiative Global Monitoring for Environment and Security (GMES) der EU verbessern (siehe Kasten).

Vielversprechend ist auch der in Deutschland in öffentlich-privater Partnerschaft entwickelte Satellit TerraSAR-X. Sein Name beschreibt, worum es geht: Untersuchungsobjekt ist die Terra – lateinisch für Erde –, SAR die Technologie, und X steht für das eingesetzte Mikrowellenband. Im sogenannten Spotlight-Modus macht das System Bilder von der Erdoberfläche mit einer Auflösung von 1 Meter. Der 2007 gestartete Satellit soll noch in diesem Jahr mit TanDEM-X eine Erweiterung bekommen und mit ihm eine Art Zwillingssatellit bilden: Das Satellitenpaar wird in fast identischen Umlaufbahnen placiert und die Erdoberfläche so interferometrisch vermessen. Auf diese Weise soll es bis 2013 ein neues Geländemodell der ganzen Welt erstellen. Aus methodischen Gründen ist die räumliche Auflösung in diesem interferometrischen Aufnahme-Modus geringer, als wenn die Satelliten normale Bilder der Erdoberfläche machen: Das neue Modell der Erdoberfläche soll horizontal eine Auflösung von 12 Metern erreichen, vertikal mit einer absoluten Genauigkeit von weniger als 10 Metern.

Ein solches Modell von vergleichbarer Qualität und Genauigkeit gibt es bis heute nicht. Davon profitieren könnte zum Beispiel die genannte Anwendung zur Untersuchung von Massenbewegungen in den Alpen. Das Satellitenduo eignet sich aber auch für andere Aufgaben: Es ist nämlich in der Lage, polarisierte Strahlung zu senden und zu empfangen, elektromagnetische Wellen also, die in ganz bestimmten Richtungen schwingen. An der Erdoberfläche werden – je nach ihrer Beschaffenheit – polarisierte Wellen unterschiedlich

gestreut. Deshalb können mit diesem polarimetrischen Messverfahren in den Bildern zum Beispiel verschiedene Arten von Vegetation oder Meeresis einfacher unterschieden werden.

Eine ähnliche Zwillingssatellitenmission zieht auch die amerikanische Raumfahrtagentur Nasa in Betracht. Die Mission DESDynI – in Anlehnung an das englische Wort «destiny», auf Deutsch Vorsehung – soll dereinst ebenfalls Bewegungen der Erdkruste etwa bei Erdbeben oder Vulkanausbrüchen messen. Damit die Vegetation solche Messungen möglichst wenig beeinträchtigt, soll die Mission – im Gegensatz zum deutschen System – im L-Band betrieben werden, wo die längeren Wellen die Vegetation einfacher durchdringen. Obwohl die USA die SAR-Technik in der Vergangenheit im Rahmen von Space-shuttle-Missionen sehr erfolgreich eingesetzt haben, fehlen ihnen solche Systeme heute in der zivilen Erdbeobachtung.

### Mehr Satelliten-Familien

Die Beispiele dieser Tandem-Missionen zeigen, dass die Entwicklung in Richtung Satelliten-Familien geht, die einzelne Gebiete auf der Erdoberfläche wesentlich häufiger aufnehmen können. Das macht man sich auch bei militärischen Missionen zunutze: So besteht zum Beispiel das deutsche Satelliten-Aufklärungssystem SAR-Lupe aus einem eigentlichen Satelliten-Quintett, das zwischen 2006 und 2008 im Weltraum positioniert wurde. Laut dem Hersteller soll die «Radar-Lupe» als eigentliches Vergrösserungsglas in der Lage sein, aus ihrer Umlaufbahn in 500 Kilometern Höhe Bilder mit einer Auflösung von weniger als 1 Meter aufzunehmen. Ähnlich aufgebaut wie SAR-Lupe ist das italienische System Cosmo-SkyMed. Das letzte Mitglied dieses Satelliten-Quartetts soll noch in diesem Jahr in die Umlaufbahn geschickt werden. Weil diese Satelliten – anders als SAR-Lupe – über gewisse polarimetrische Eigenschaften verfügen, lassen sich damit nicht nur natürliche Oberflächen, sondern auch künstliche Objekte im Rahmen der Aufklärung genauer identifizieren. Im Gegensatz zum deutschen Aufklärungssystem steht Cosmo-SkyMed nicht nur für die militärische Aufklärung, sondern auch für die zivile Erdbeobachtung im Einsatz.

Nur für zivile Anwendungen vorgesehen ist hingegen das Satellitenduo Sentinel-1 der ESA. Der erste dieser Satelliten soll ab Ende 2011 im Rahmen von GMES im Einsatz stehen, der zweite einige Jahre später folgen. In eine ähnliche Richtung geht Kanada: Auch dort ist eine – vorerst dreiköpfige – Satelliten-Familie geplant. Diese soll dereinst in der Lage sein, täglich von ganz Kanada Satellitenbilder aufzunehmen. Allen diesen Satelliten-Familien gemeinsam ist hoher Anspruch: Wie bei den militärischen Aufklärungssystemen sollen auch die zivilen Systeme in Zukunft hohe und schnelle Abdeckungsraten sowie eine rasche Verfügbarkeit der Daten sicherstellen. So will man zum Beispiel die Bilder von Sentinel-1 künftig schon eine Stunde nach Empfang der Daten für den Anwender zur Verfügung stellen können. Im Vergleich zu heute, wo die Bilder oft erst nach einigen Tagen bereitstehen, wäre das eine beachtliche Verbesserung.

Oliver Stebler

### GMES – eine europäische Initiative

O. S. Das Projekt Global Monitoring for Environment and Security (GMES) ist eine Initiative der EU und der Europäischen Weltraumorganisation ESA. Das Ziel ist ein autonomes europäisches Netzwerk für die Erfassung und Auswertung von Umweltdaten. Das Programm soll insbesondere der Land- und Meeresüberwachung und dem Notfall-Management dienen. Satellitendaten stehen dabei im Vordergrund. Kunden von GMES werden vor allem öffentliche Stellen, aber auch die Privatwirtschaft sein. Das System ist aber auch für die Überwachung der Sicherheit vorgesehen. Wie diese militärische Komponente von GMES dereinst aber aussehen soll, darüber gehen die Meinungen der Mitgliedsstaaten noch weit auseinander. Klar ist, dass die ESA im Rahmen von GMES verschiedene Satelliten-Familien bauen will, darunter die Radarsatelliten des Sentinel-1-Paares. Als Mitglied der ESA ist die Schweiz Partnerin von GMES. Das System befindet sich seit 2008 mit ersten Diensten in der Testphase; 2011 soll die operationelle Phase eingeleitet werden. Bis 2018 fördern die ESA und die EU die gemeinsame Initiative mit mindestens 2,975 Milliarden Euro.

### Eine Auswahl von SAR-Erdbeobachtungssatelliten

Satellit	Betreiber	Band <sup>1</sup>	Start
<b>Envisat</b>	European Space Agency (ESA)	C	2002
<b>Radarsat-2</b>	Canadian Space Agency (CSA) / MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd. (MDA)	C	2007
<b>Alos</b>	Japan Aerospace Exploration Agency (Jaxa)	L	2006
<b>TerraSAR-X</b>	German Aerospace Center (DLR) / EADS Astrium GmbH / Infoterra GmbH	X	2007
<b>TanDEM-X</b>		X	2009 geplant
<b>Cosmo-SkyMed 1</b>	Italian Space Agency (ASI) / Italian Ministry of Defence	X	2007
<b>Cosmo-SkyMed 2</b>		X	2007
<b>Cosmo-SkyMed 3</b>		X	2008
<b>Cosmo-SkyMed 4</b>		X	2009 geplant
<b>Sentinel-1 A</b>	European Space Agency (ESA)	C	2011
<b>Sentinel-1 B</b>		C	noch offen

<sup>1</sup> X-Band: Wellenlänge zirka 3 cm (Frequenz: 10 GHz); C-Band: zirka 6 cm (5 GHz); L-Band: zirka 24 cm (1,25 GHz).