

MASSENBEWEGUNGEN UNTER BEOBACHTUNG

Die Fernerkundung bietet dank neuen Sensoren immer mehr Möglichkeiten, Naturgefahrenprozesse wie Rutschungen und Felsstürze zu überwachen. Nach dem Bergsturz von Randa oder während des Felsabbruchs am Eiger lieferten entsprechende Instrumente wertvolle Informationen. Für grossflächige Analysen kommen vermehrt satellitengestützte Verfahren zum Einsatz.

Die systematische Erhebung und Überwachung von Naturgefahren ist in einem dicht besiedelten Land wie der Schweiz von zentraler Bedeutung. Einerseits werden dadurch wichtige Grundlagen für die Raumplanung geliefert, andererseits dient es der Sicherheit von Menschen und Sachwerten. Die Bundesgesetze über den Wald und den Wasserbau verlangen Grundlagen für das Management von Naturgefahren. Dazu gehören u. a. auch Gefahren- und Intensitätskarten.

Zu den wichtigsten geologischen Massenbewegungen zählen Rutschungen, Felsstürze und Steinschlag. Die Beurteilung der Intensität dieser Massenbewegungen basiert im Wesentlichen auf Energien und Geschwindigkeiten. Für Rutschungen sind die Geschwindigkeit und deren Variation wichtig. Deshalb wird versucht, die mittlere Geschwindigkeit von Rutschzonen – und wenn möglich auch Beschleunigungen und Phasen geringer Aktivität – zu erfassen.

Punktuell werden in der Schweiz Rutschungen mit klassischen Methoden der Geodäsie vermessen (z. B. Distanz- und Höhenmessungen von verschiedenen Punkten im Gelände). Daraus ergeben sich aber keine flächendeckenden Informationen über die Aktivität von Rutschungen. Vor allem in gebirgigen und peripheren Gebieten wäre der Aufwand dafür zu gross.

Mit neuen Scanningmethoden können seit einiger Zeit nun aber Informationen über grössere Gebiete erhoben werden. Dabei sind insbesondere Satellitendaten interessant, weil diese mit einer Aufnahme bis zu 10 000 km² grosse Gebiete abdecken können. Die Entwicklung und der Einsatz neuer Sensoren sowie die heute verfügbaren computergestützten Rechenleistungen bieten neue Möglichkeiten, Massenbewegungen zu analysieren und zu beobachten. Moderne Methoden basieren häufig auf Radar- oder Lidar-Sensoren (Lidar steht für Light Detection and Ranging). Je nach Instrument und Einsatzort werden dabei terrestrische, luft- oder satellitengestützte Aufnahmen erzeugt. Angesichts der unterschiedlichen Genauigkeit, Verfügbarkeit und Kosten liegt das grosse Potenzial – je nach Fragestellung – in einer geschickten Kombination verschiedener Methoden. Im folgenden Artikel wird insbesondere auf die Methode der Radarinterferometrie sowie das Laserscanning (Lidar) eingegangen.

RADARINTERFEROMETRIE

Die Entwicklung der Radartechnologie war bisher zu einem grossen Teil militärisch sowie sicherheitstechnisch motiviert. Dies liegt daran, dass Radarwellen auch in der Nacht eingesetzt werden können und diese vergleichsweise wenig durch atmosphärische Einflüsse gestört werden. Zunehmend werden Radar- oder Mikrowellen mit Frequenzen zwischen 1 und 20 GHz aber auch für die Beobachtung von Geländebewegungen verwendet. Dabei kommen je nach Rutschgeschwindigkeit verschiedene Frequenzen zum Einsatz. Bei der Radarinterferometrie handelt es sich um eine Weiterentwicklung der herkömmlichen Radar-

01 Bergsturz bei Randa von 1991. Aufnahme vom 19. Juni 2005

(Foto: KEYSTONE/Alessandro Della Bella)

02 Durch Radarinterferometrie erzeugtes Bild des Bergsturzes von Randa 14 Jahre nach dem Ereignis. Die Bewegungen in der Anrisszone betragen 1–1.3 cm/Jahr, diejenigen auf dem Schuttkegel 1–3 cm/Jahr. Die Distanz zwischen Gerät und Schuttkegel/Anrisszone betrug 700–1600 m

(Grafik: Bafu, SAR-Processing: Lisalab)

03 Radarmessgerät von Gamma, das seit 2009 im Mattertal im Rahmen eines Forschungsprojektes im Einsatz ist. Das überwachte Gebiet liegt in der linken Bildhälfte im Mischabelgebiet. Im Hintergrund von rechts nach links: Klein-Matterhorn, Breithorn, Pollux, Castor, Monte-Rosa-Massiv (Foto: H. Raetzo)



01

technologie, wie sie etwa bei Schiffen eingesetzt wird. Dabei wird ein bestimmtes Gebiet von zwei leicht unterschiedlichen Positionen aus abgebildet. Dadurch kann die Lage von Punkten und Objekten im Untersuchungsgebiet berechnet werden. Erfolgt dies in zeitlichen Abständen, lassen sich Verschiebungen im Gelände erfassen.

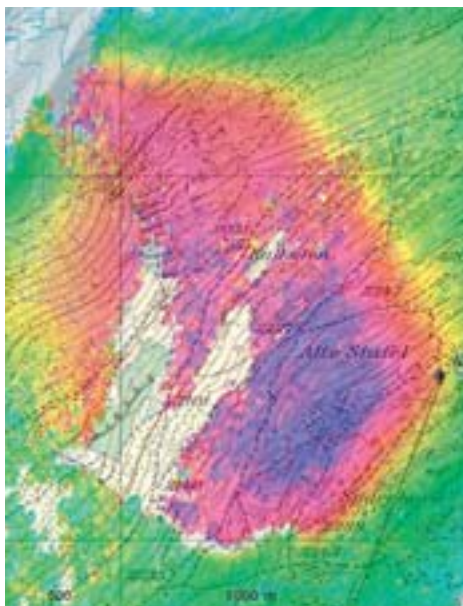
Terrestrische Radaraufnahmen setzen einen topografisch günstigen Standpunkt voraus. Je nach Geschwindigkeit der zu messenden Bewegungen kommen verschiedene Sensortypen zum Einsatz. Vorteile der bodengestützten Systeme sind die flexible Einsatzmöglichkeit sowie die schnelle Verfügbarkeit. Radargeräte werden am Boden deshalb für lokale Überwachungen von Rutschungen und steilen Felswänden eingesetzt. Dabei sind die hohe Genauigkeit – im Millimeterbereich – sowie die gute Auflösung als Pluspunkte zu nennen. Zum Einsatz kamen solche Geräte u. a. nach dem Bergsturz von Randa (Abb. 2), beim Felssturz 2007 im Val d'Infern (Calancatal) oder im Juni 2006 nach dem Felssturz auf die A2 bei Gurtellen zur Überwachung der Abbruchstelle.



02



03

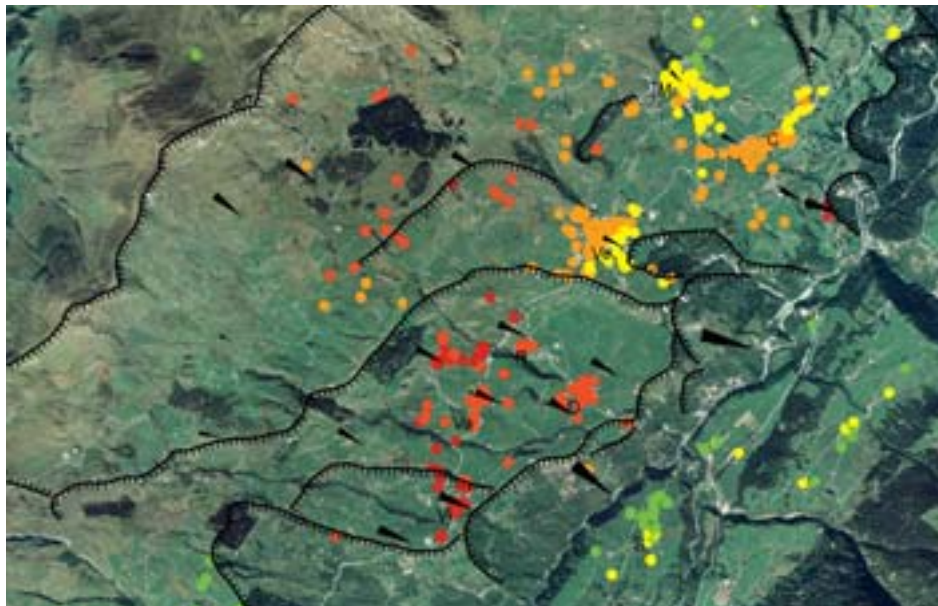


04

04 Hochauflösendes Satellitenradarbild einer tiefgründigen Rutschung im Aletschgebiet. Rote und violette Flächen zeigen Verschiebungen von einigen Zentimetern an, die grünen Flächen sind während dieser Aufnahmen vom Sommer 2008 stabil. Die Bewegungen haben sich als Folge des Rückzugs des Aletschgletschers verstärkt (Grafik: Bafu, SAR-Processing: Gamma RS, PK25 © swisstopo DV351.5)

05 Satellitenradaranalyse mit der Reflektorenmethode im Rutschgebiet des Lugnez.¹ Die Farbpunkte bezeichnen die Hangbewegungen. Dunkelrot: mehr als 6 cm/Jahr, hellrot: 4–6 cm/Jahr, orange: 2–4 cm/Jahr, gelb: bis 2 cm/Jahr, grün: keine Bewegung

Zum Vergleich sind die Vermessungsdaten des Kantons Graubünden mit unterschiedlich grossen, schwarzen Pfeilen dargestellt (Grafik: Bafu, Orthofoto Swissimage © swisstopo DV043734)



05

LUFT- UND SATELLITENGESTÜTZTE RADARAUFNAHMEN

Luft- und satellitengestützte Systeme haben den Vorteil, dass sie flächig über grosse Gebiete einsetzbar sind. Im Gegensatz zu den Satelliten, die auf festen Umlaufbahnen kreisen, kann mit Flugzeugen oder Helikoptern näher an ein Untersuchungsgebiet herangeflogen werden. Daraus resultiert eine höhere Auflösung.

Sollen ganze Länder untersucht werden, so sind die Kosten von luftgestützten Radarmethoden im Vergleich zu Satelliten jedoch deutlich höher. In der Schweiz sind deshalb momentan keine luftgestützten Radarsysteme zur Überwachung von Rutschungen im Einsatz. Bei der Überwachung aus dem All senden Satelliten Radarwellen zur Erdoberfläche, von wo diese reflektiert werden. Befindet sich ein Hang in Bewegung, so verändert sich die Distanz zwischen dem Satelliten und der Erdoberfläche von einer Messperiode zur nächsten.

MEHRERE TAUSEND RUTSCHZONEN IN DEN ALPEN KARTIERT

Werden Radardaten von Satelliten ausgewertet, so können dank neuen Methoden ganze Regionen oder Länder systematisch erfasst, beurteilt und verglichen werden. Die Erhebungen lassen sich flächendeckend und insbesondere auch für nicht oder nur schwer zugängliche Gebiete durchführen. Zudem haben solche Analysen, wenn sie für grosse Gebiete erfolgen, ein sehr gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis.

Die satellitengestützte Methode hat aber auch gewichtige Nachteile. So ist etwa die Verfügbarkeit der Daten eingeschränkt. Bewegungen in nordsüdlicher Richtung werden aufgrund der Umlaufbahnen der Satelliten und der Ausrichtung der Antennen weniger gut erfasst als solche in westöstlicher Richtung. In sehr steilen Gebieten ist eine Anwendung schwierig. Bei Bedeckung mit Schnee oder Vegetation sowie bei atmosphärischen Veränderungen können Störungen auftreten, wobei hochfrequente Radarwellen sensibler sind.

Satellitenradardaten stehen seit Anfang der 1990er-Jahre für zivile Anwendungen in grossen Teilen Europas zur Verfügung. Das Bundesamt für Umwelt nutzt im Rahmen einer Kooperation mit der Europäischen Weltraumagentur ESA diverse Satellitendaten systematisch.

Dank der Anwendung eines neuen Datenmodells für Massenbewegungen wurden beispielsweise mehrere tausend Rutschzonen in den Schweizer Alpen erfasst und kartiert. In die Analyse wurden auch Blockgletscher (Bewegungen von Schutt und Eis) und Solifluktion (Bodenbewegungen in Permafrostgebieten) mit einbezogen. Dies ermöglicht erstmals die Vergleichbarkeit von Rutschaktivitäten sowie die Beurteilung der entsprechenden Gefahren. Diese Erhebung stellt einerseits eine wichtige Grundlage zur Erkennung von Gefahren dar, andererseits kann auf dieser Basis nun eine systematische Überprüfung von Rutschzonen geplant werden. Speziell im Hochgebirge und im Permafrost wird dies angesichts der Klimaerwärmung immer wichtiger.

RADARSATELLITEN DER ESA

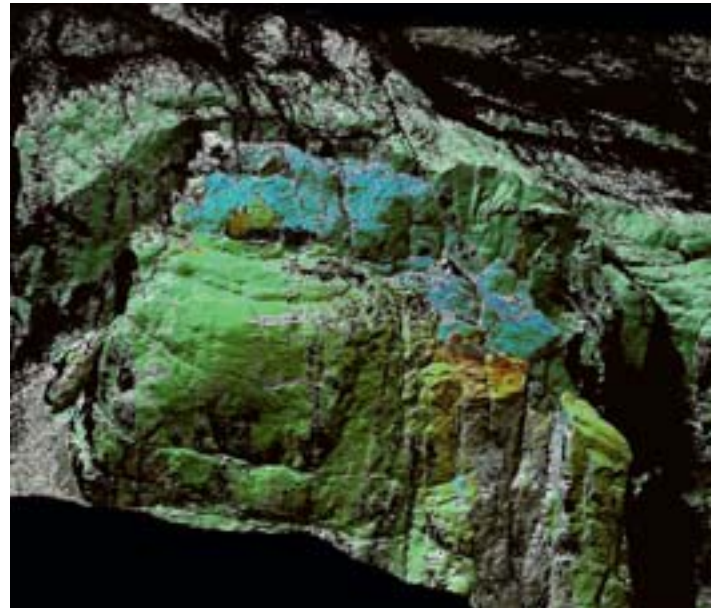
Die Europäische Weltraumagentur (ESA) schoss 1991 den Radarsatelliten ERS1 ins All. Später folgten ERS2 und ENVISAT. Eine Radaraufnahme dieser Satelliten deckt eine Fläche von zirka 10 000 km² pro Bild ab. Die Entwicklung der Satellitenradartechnologie schreitet rasch voran, was neue Möglichkeiten eröffnet. So können etwa geometrische und topografische Nachteile von Sensoren der ersten Generation mit neuen, orientierbaren Radarsensoren wettgemacht werden. Radarsensoren der dritten Generation sind seit wenigen Jahren im Einsatz und haben eine höhere räumliche und zeitliche Auflösung, womit sich die Analysemöglichkeiten bei der Überwachung von Rutschungen deutlich verbessern.



06

06 Aufnahme der Ostflanke des Eigers. 2006 löste sich ein 2 Mio. m³ grosses Felspaket. Der grösste Teil stürzte auf den Unteren Grindelwaldgletscher und verursachte die Bildung des Gletschersees (Foto: H. Raetzo)

07 Bodengestützte Lidar-Aufnahme der Ostflanke des Eigers im Jahr 2006. Rot: 50 cm Verschiebung talwärts, dunkelblau: 50 cm Verschiebung gegen hinten, dunkelgrün: keine Verschiebung. Am unteren Bildrand ist der Untere Grindelwaldgletscher zu sehen (Grafik: T. Oppikofen, IGAR, Université de Lausanne)



07

LASERSCANNING

Zur Beobachtung von Massenbewegungen eignet sich eine weitere Methode: das Laserscanning oder abgekürzt Lidar. Treffen Laserstrahlen auf eine Oberfläche, so werden sie reflektiert, und der Empfänger misst das rückgestrahlte Signal. Terrestrische Lidar-Geräte werden bei Massenbewegungsgefahren in der Regel vor dem zu beobachtenden Gebiet aufgestellt. Moderne Geräte können einige tausend Meter weit messen, wobei die Signalqualität mit der Distanz abnimmt. Sie generieren ein sehr detailliertes Bild mit bis zu 400 Punkten pro m². Auf eine Distanz von 50m kann eine Genauigkeit von 0.6 bis 15mm erreicht werden.² Im Fall des Felsabbruchs am Eiger wurde 2006 auf diese Weise die dreidimensionale Bewegungsdynamik erfasst (Abb. 7).

Luftgestützte Laserscannersysteme werden von Flugzeugen und Helikoptern aus eingesetzt. Die Höhengenaugigkeit der erzeugten Bodenpunkte liegt in flachem Gelände üblicherweise bei 10 bis 20 cm. Moderne Systeme sind in der Lage, Laserpunktdichten von einigen Punkten pro m² zu erzeugen. Die Auflösung von satellitengestützten Lidar-Aufnahmen ist geringer; deshalb finden solche in der Schweiz für Rutschanalysen keine Anwendung. Lidar-Analysen sind günstiger als Radarmessungen. Sie bieten zudem den Vorteil einer sehr guten dreidimensionalen Erfassung von Rutschzonen. Im Vergleich zum Radar sind aber die geringere Genauigkeit der Distanzmessung, die grössere Störanfälligkeit bei atmosphärischen Veränderungen und die kleinere Reichweite anzuführen.

In der Schweiz stellt das Bundesamt für Landestopografie (swisstopo) ein auf der Basis von Lidar-Daten erstelltes Höhenmodell mit Auflösungen bis zu einem Meter flächendeckend bis 2000m ü. M. zur Verfügung (DTM-AV). Höhenmodelle mit einer solchen Genauigkeit sind für die Analyse von Massenbewegungen sehr wertvoll.

DIGITALE LUFTBILDER

Als sehr nützlich haben sich in jüngster Zeit auch digitale Luftbilder erwiesen. Solche Luftbilder werden von swisstopo in Abständen von jeweils drei Jahren erstellt. Die Auflösung beträgt heute 25 cm (im Hochgebirge 50 cm). Diese hochauflösenden Digitalbilder eignen sich für die Erstellung von Orthofotos (entzerrte Luftbilder). Digitalbilder lassen sich aber auch für die Erstellung von Höhenmodellen sowie fotogrammetrische Analysen verwenden. Für die Beobachtung von Massenbewegungen sind solche digitalen Bilder sehr nützlich, etwa bei optisch erkennbaren Veränderungen nach spontanen Rutschungen.

Anmerkungen

1 H. Raetzo et al. (2006): Monitoring of Lumnez landslide with ERS and ENVISAT SAR data. ESA ENVISAT Symposium, Montreux

2 H. Ingensand (2006): Meteorological aspects in terrestrial laser-scanning technology. 3rd IAG / 12th FIG Symposium, Baden

Hugo Raetzo, Dr. sc. nat., Geologe, Abteilung Gefahrenprävention, Bundesamt für Umwelt, hugo.raetzo@bafu.admin.ch