

**Zeitschrift:** Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =  
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =  
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

**Herausgeber:** geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und  
Landmanagement

**Band:** 110 (2012)

**Heft:** 9

**Artikel:** Hangrutschungskartierung mittels Radar Interferometrie

**Autor:** Wegmüller, Urs / Strozzi, Tazio / Wiesmann, Andreas

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-309305>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 30.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Hangrutschungskartierung mittels Radar Interferometrie

Insbesondere durch die ERS-1, ERS-2 und ENVISAT ASAR Sensoren der Europäischen Raumfahrtagentur ESA hat sich in den letzten 20 Jahren die SAR Interferometrie Methode sehr stark entwickelt. Ein wichtiger Anwendungsbereich ist die Kartierung von Geländebewegungen. Innerhalb der Schweiz wird die SAR Interferometrie Methode vor allem für die Kartierung von Hangrutschungen eingesetzt. Hangrutschungsinformation wird momentan für die Erstellung der Gefahrenhinweiskarten durch die Kantone benötigt. Angesichts einer wahrscheinlichen Zunahme der Hangrutschungs- und Felssturzgefahren durch die Klimaerwärmung und daraus resultierenden sekundären Veränderungen, wie der Reduktion des Alpenen Permafrosts und des Gletscherrückzugs, kann mit einem zunehmenden Informationsbedarf gerechnet werden.

*Ces dernières années la méthode d'interférométrie SAR s'est fortement développée notamment grâce aux senseurs ERS-1, ERS-2 et ENVISAT ASAR de l'Agence Spatiale Européenne ESA. Un important domaine d'application consiste en la cartographie de mouvements de terrains. A l'intérieur de la Suisse la méthode d'interférométrie SAR est notamment utilisée pour la cartographie de glissements de terrains en pente. Les informations concernant les glissements de terrains sont d'actualité pour l'élaboration des cartes des dangers des cantons. Au vu de la probable augmentation des dangers de glissements de terrains en pente et de chutes de rochers due au réchauffement du climat et des changements secondaires en résultant tels que réduction du pergélisol alpin et retrait des glaciers on peut s'attendre à un besoin croissant en informations.*

Negli ultimi 20 anni si sono registrati grandissimi sviluppi nel metodo dell'interferometria SAR, riconducibili ai sensori ERS-1, ERS-2 ed ENVISAT ASAR dell'Agencia Spaziale Europea (ESA). Un campo d'applicazione fondamentale risiede nel cartografare i movimenti di terreno. In Svizzera il metodo dell'interferometria SAR è prevalentemente utilizzato per il monitoraggio delle frane di pendio, le cui informazioni sono richieste dai cantoni per l'allestimento delle carte dei pericoli. Per il futuro si può prevedere una maggiore richiesta di questo genere d'informazioni poiché il cambiamento climatico e i cambiamenti secondari concomitanti – come la diminuzione del permafrost e il ritiro dei ghiacciai – comporteranno un potenziamento dei pericoli di franamento e di crolli di massi di pareti rocciose.

*U. Wegmüller, T. Strozzi, A. Wiesmann, Ch. Werner, O. Frey, R. Caduff, A. Kos*

## Radar Interferometrie Methoden

Radar Instrumente sind aktive Sensoren im Mikrowellenbereich. Aktiv bedeutet dabei, dass ein Signal ausgesendet wird. Dieses elektromagnetische Signal wird von den Zielobjekten gestreut und ein Teil der gestreuten Wellen wird vom Empfän-

ger aufgezeichnet. Durch einige technische Kniffs, wie der Verwendung eines «Chirp Signals» und dem kohärenten Aufzeichnen der Signale entlang der so genannten «Synthetischen Apertur», gelingt es, sogar vom Satelliten aus mit einer ansprechenden Auflösung im Bereich von etwa 1 m bis 20 m räumlich abzubilden. Das Radarsignal ist kohärent, es werden sowohl die empfangene Signalintensität als auch die Signalphase aufgezeichnet. Entlang vom Ausbreitungspfad durchläuft die Phase pro Wellenlänge Dis-

tanz durch einen Phasenzklus. Bei den C-Band Sensoren (ERS, ENVISAT, Radar-sat) beträgt die Wellenlänge ca. 5.6 cm. Bei der interferometrischen Auswertung werden relative Phasendifferenzen zwischen zwei zu verschiedenen Zeiten aufgenommenen SAR Abbildungen aufgezeichnet. Die Empfindlichkeit der Systeme entspricht einem kleinen Bruchteil eines Phasenzklus, wodurch sehr kleine Phasendifferenzen erfasst werden können. Verschiebt sich zwischen zwei Aufnahmen die Geländeoberfläche, so führt dies zu einer leicht veränderten Distanz zwischen dem Radarsensor und dem entsprechenden Oberflächenelement, was im Interferogramm zu einer Phasenveränderung führt. Differentielle Interferometrie Auswertmethoden werden verwendet, um verschiedene Anteile der interferometrischen Phase zu separieren. Zur Interpretation von Geländebewegungen werden dabei die anderen Phasenteile so gut wie möglich modelliert und abgezogen. Die Abbildung 1 zeigt einen kleinen Ausschnitt aus einem georeferenzierten ERS-1/2 differentiellen Interferogramm im Aletsch-Gebiet. Die kleinräumigen Farbunterschiede (ein Farbzyklus entspricht in dieser Abbildung einem Phasenzklus) zeigen Verschiebungen an. Der Zeitunterschied zwischen den beiden Aufnahmen ist nur ein Tag, womit die beobachteten Bewegungen im Bereich cm/Tag bis zu einigen dm/Tag liegen. Konkret sind es hier die Gletscher, welche sich so schnell bewegen.

Um langsamere Bewegungen zu erfassen, werden längere Beobachtungsintervalle verwendet. Über veränderlichen Oberflächen, wie Wasser oder dichter Vegetation, dekoriert das Signal, womit die Methode nicht angewendet werden kann. Ein weiteres Problem in alpinem Gelände ist, dass ein Teil der Oberfläche entweder nicht gesehen wird (Abschattung) oder sich in der gleichen Schrägdistanz zum Sensor befindet wie andere Geländeteile («Layover»), womit das Signal ebenfalls nicht zuverlässig interpretiert werden kann. In Bereichen mit guter Kohärenz kann die Phase interpretiert werden. Dabei gilt es noch zu beachten, dass

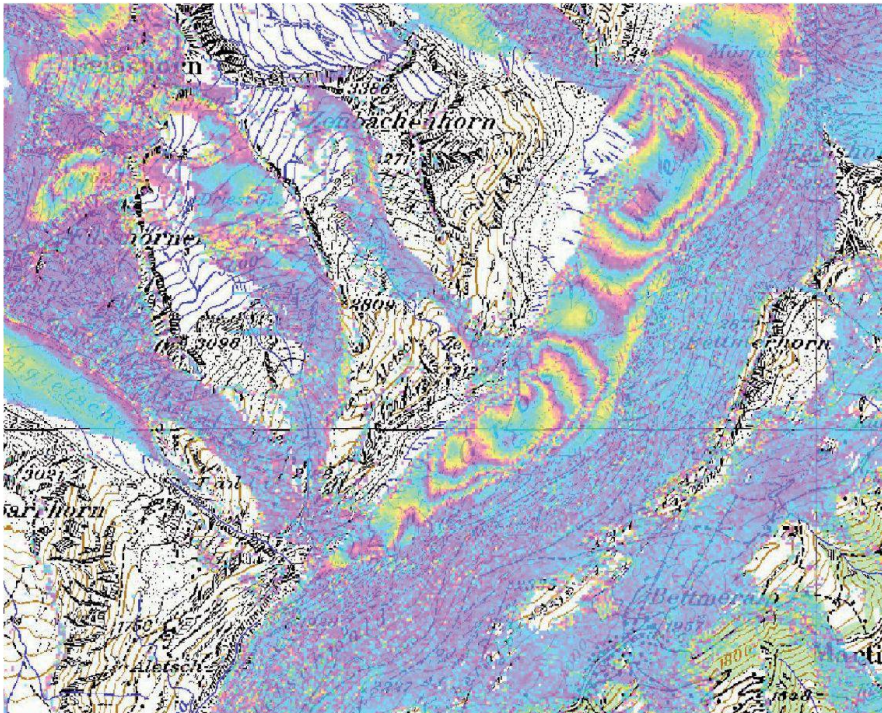


Abb. 1: Ausschnitt aus einem georeferenzierten ERS-1/2 differentiellen Interferogram im Aletsch-Gebiet. Die beiden verwendeten SAR-Szenen wurden am 7./8. März 1996 aufgenommen. Ein Farbzyklus entspricht in dieser Abbildung einem Phasenzyklus, respektive einer relativen Bewegung in der Radarblickrichtung von 2.8 cm. Die kleinräumigen Farbänderungen zeigen Gletscherbewegungen im cm/Tag bis einige dm/Tag an.

die SAR Bildwerte komplexen Zahlen entsprechen und damit die Phase zunächst nur Modulo  $2\pi$  bekannt ist. Im so genannten «phase unwrapping» wird versucht, den absoluten Zusammenhang der Phasen im differentiellen Interferogram zu bestimmen. Dazu werden von einem räumlichen Referenzpunkt ausgehend die durchlaufenen Phasenzyklen gezählt. Für Flächen von genügender Kohärenz, für welche das «phase unwrapping» erfolgreich durchgeführt werden konnte, erhält man relative Verschiebungswerte und, durch Division durch das Zeitintervall zwischen den beiden SAR Aufnahmen, relative Bewegungsraten. Die Hauptfehlerquelle ist dabei die Signalverzögerung in der Atmosphäre, welche räumlich und zeitlich variiert und deshalb die differentiellen Interferogramme beeinflussen kann. Solche relativen Signalverzögerungen in der Atmosphäre können bei den bestimmten Verschiebungswerten Fehler von mehreren cm

verursachen; mittlere verursachte Fehler sind typischerweise im Bereich von etwa einem halben cm.

Um langsamere Verschiebungsraten (z.B. 1 cm/Jahr) zuverlässig zu bestimmen, sind diese «atmosphärischen Fehler» ein grosses Problem. Um für einen Grossteil der Fläche eine gute Kohärenz zu haben, würde man gerne SAR Bildpaare mit einem kurzen Zeitintervall von z.B. 35 Tagen verwenden. Ein Fehler von 0.5 cm resultiert aber bereits in einem Verschiebungsratenfehler von ca. 5 cm/Jahr, womit langsame Geländebewegungen nicht zuverlässig bestimmt werden können. Um dieses Problem zu lösen, wurden Methoden entwickelt, welche nicht auf einem einzelnen Interferogramm basieren, sondern welche eine Vielzahl von interferometrischen Paaren berücksichtigen. Die Grundidee dabei ist, dass das Bewegungssignal mit einer zunehmenden kumulierten Beobachtungszeit linear zunimmt, sich die atmosphärischen Fehler aber wegen ihrer statistischen Unabhängigkeit nur mit der Wurzel aus der Anzahl Paare vergrössert, womit der Fehler der bestimmten Bewegungsrate deutlich reduziert werden



-5 mm/Jahr 0 +5 mm/Jahr  
Bewegungsraten in Blickrichtung

Abb. 2: Mittels «persistent scatterer interferometry (PSI)» aus ENVISAT ASAR Daten bestimmte Geländebewegungsraten (2002–2009) über einem Teil von Maribor, Slowenien, dargestellt in Google Earth.

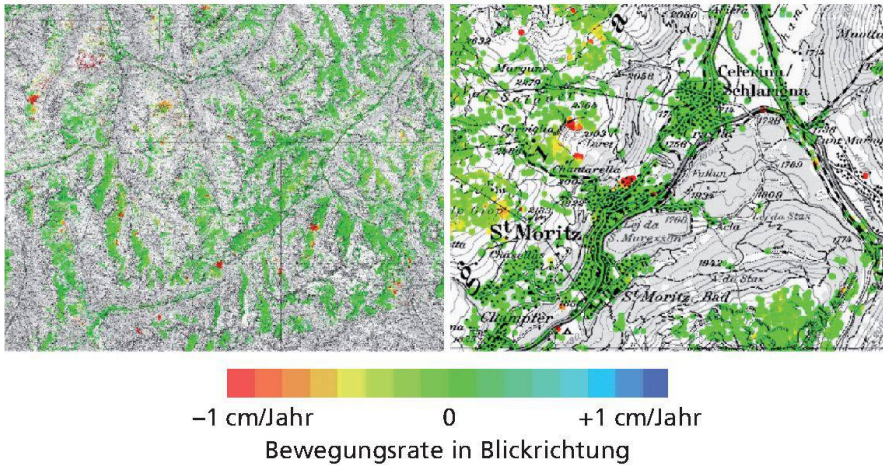


Abb. 3: Mittels «persistent scatterer interferometry (PSI)» aus ENVISAT ASAR Daten bestimmte Geländebewegungsraten (2002–2010) über Graubünden (links) sowie Ausschnitt davon über der Umgebung von St. Moritz.

kann. Bei Verwendung von 20 oder mehr über mehrere Jahre verteilte SAR-Szenen kann der Bewegungsratenfehler durchaus auf 1 mm/Jahr reduziert werden. Zudem erlaubt die Verwendung vieler Szenen auch Bewegungen zeitlich zu verfolgen.

Eine Bedingung für solche Auswertungen ist, dass die Kohärenz über eine lange Zeit erhalten bleibt. Oft ist das nur für feste Oberflächen, wie Felsen und für Infrastruktur, wie z.B. Gebäude, Dämme etc., der Fall. Eine oft angewandte Auswertungsmethode besteht deshalb darin, zuerst solche Flächen zu identifizieren und

dann die interferometrische Zeitreihen- auswertung nur für diese Gebiete durchzuführen. Die daraus resultierenden Bewegungskarten haben primär in überbauten Gebieten (Siedlungsgebiete, Industrie, ...) sowie oberhalb der Waldgrenze (wenig Vegetationsbedeckung) eine gute räumliche Abdeckung. Als Beispiel zeigt Abbildung 2 einen Ausschnitt aus einem im FP7 Projekt PanGEO (www.pangeoproject.eu) generierten Resultat über Maribor, Slowenien. Die bestimmten Bewegungsraten beschränken sich auf die überbauten Gebiete. Für bewaldete und landwirtschaftlich bewirt-

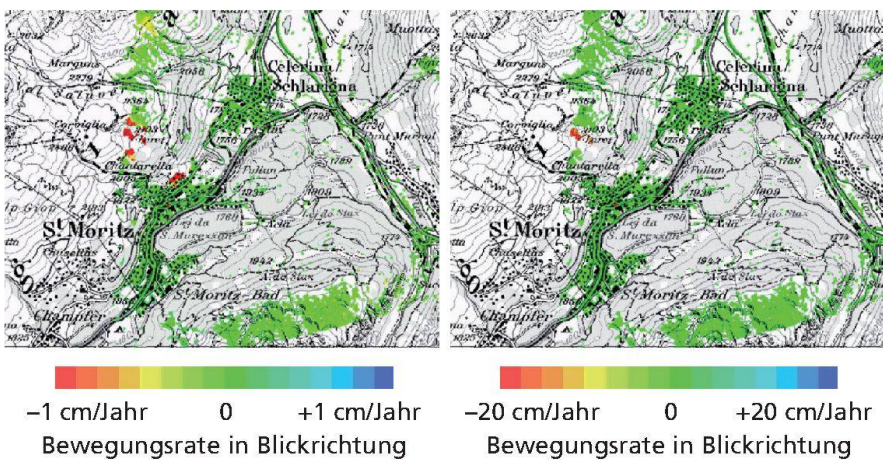


Abb. 4: Mittels «persistent scatterer interferometry (PSI)» aus Cosmo-Skymed Daten bestimmte Geländebewegungsraten (2009–2011) im Raum St. Moritz, dargestellt mit zwei verschiedenen Farbskalen, optimiert einerseits für langsame (links) und andererseits für schnelle (rechts) Bewegungen.

schaftete Flächen konnten keine Bewegungsraten bestimmt werden.

## Anwendungsbeispiele aus der Schweiz

Die Gamma Remote Sensing AG wendet SAR interferometrische Verfahren für vielerlei Bereiche, unter anderem für Geländebewegungsmessungen im Zusammenhang mit Erdbeben, Vulkanaktivität, Bergbau und Ölfeldüberwachungen, Permafrost und Tektonik an. In der Schweiz betreffen unsere diesbezüglichen Arbeiten vor allem Hangrutschungen, Felsbewegungen, Blockgletscher und Gletscher. Im Rahmen vom ESA Projekt TerraFirma (www.terrafirma.eu.com) werden bereits seit mehreren Jahren PSI-Anwendungen entwickelt und angewandt. Ein Schwerpunkt der Arbeiten der Gamma Remote Sensing AG ist dabei das Erstellen von Hangrutschungsinventaren für wesentliche Teile der Schweizer Alpen. Dazu werden vor allem SAR-Daten der ERS-1/2 und ENVISAT ASAR Satelliten verwendet. Als Beispiel für diese Arbeiten zeigt Abbildung 3 ein in TerraFirma erstelltes großflächiges Hangrutschungsinventar-Produkt sowie einen kleinen lokalen Ausschnitt davon.

Mit TerraSAR-X und Cosmo-Skymed stehen nun seit einigen Jahren auch hochauflösende X-Band SAR Satelliten zur Verfügung. Ein im FP7 Projekt Doris (www.doris-project.eu) aus einem Stapel von Cosmo-Skymed Datensätzen abgeleitetes Resultat wird in Abbildung 4 gezeigt. Durch die bessere räumliche Auflösung des Systems kann eine verfeinerte räumlich Abdeckung erzielt werden. Zudem konnten wir in diesem Beispiel schnelle Bewegungen im Bereich von 20 cm/Jahr erfassen. Im FP7 Projekt Doris werden unter anderem die Möglichkeiten der erwähnten neueren Satelliten SAR Sensoren erfasst.

Wie die gezeigten Beispiele bestätigen, hat die Satelliten SAR Interferometrie ein gutes Potenzial, eine Übersicht über Geländeinstabilitäten zu gewinnen. Für identifizierte Bereiche kann bis zu einem gewissen Grad auch eine Überwachung

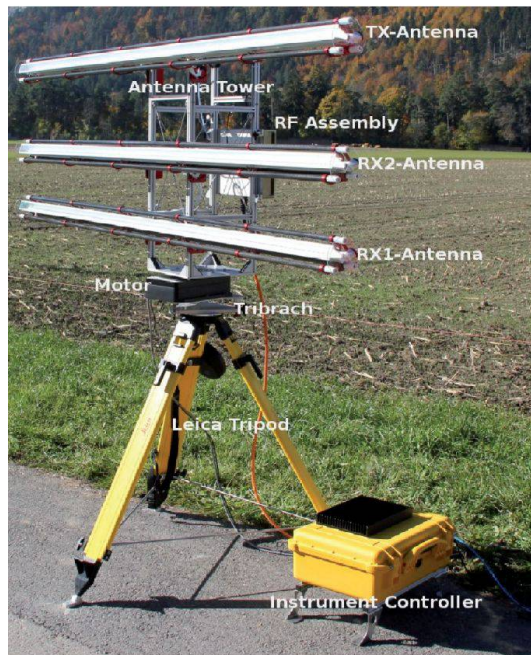


Abb. 5: GAMMA Portable Radar Interferometer (GPRI).

durchgeführt werden, z.B. um die Bewegungsraten im Jahresrhythmus zu erfassen. Durch die Abhängigkeit von den Satellitenorbits ist diese Methode aber eher weniger für Echtzeitüberwachungen geeignet, da es nur bei einem Satellitenüberflug neue Daten gibt, also zum Beispiel nur alle 11 Tage. Zudem kann es einige Tage dauern bis die Daten verfügbar

sind. Im Weiteren gibt es Gefahrengebiete, welche wegen ihrer Ausrichtung oder der Bewegungsrichtung vom Satelliten aus gar nicht oder nur eingeschränkt erfasst werden können. Anhand solcher Einschränkungen der satellitenbasierten SAR Interferometrie haben wir das Bedürfnis nach unabhängigeren, flexibler einsetzbaren terrestrischen Messungen erkannt und begonnen, entsprechende Sensoren zu entwickeln und einzusetzen. Das GAMMA Portable Radar Interferometer (GPRI) ist ein portables terrestrisches interferometrisches KU-Band FM-CW Radar mit realer Apertur (Abb. 5). Als Plattform benutzt das GPRI entweder ein Stativ oder kann direkt auf einem Vermessungspeiler oder Fels montiert werden. Durch die zwei Meter langen Antennen ist die seitliche Auflösung 0.4 Grad, was in einer Distanz von einem km ungefähr 8 m entspricht. Durch das FM-CW Prinzip mit einer 200 MHz Bandbreite ist die Distanzauflösung ca. 0.8 m. Die Empfindlichkeit für Verschiebungen in der Blickrichtung ist deutlich besser als ein mm, womit kohärente Verschiebungen von 1 mm und mehr zuverlässig gemessen werden können. Gletscherbewegungen können damit innert weniger Stunden bestimmt werden (Abb. 6a). Für die Kartierung von langsameren Bewegun-

gen, wie z.B. Hangrutschungen, werden mehrere GPRI-Kampagnen durchgeführt, sodass die Verschiebung zwischen den Kampagnen mindestens einige mm beträgt. Ein Beispiel für eine Hangrutschungsmessung mit dem GPRI ist in Abbildung 6b dargestellt. GPRI Messungen wurden am 27. Juni 2011 und am 9. September 2011, also mit zweieinhalb Monaten Zeitintervall, durchgeführt.

## Ausblick

In den vergangenen Jahren haben die beschriebenen Radar-Interferometrie-Methoden in der Schweiz eine gute Akzeptanz gefunden. Das Bundesamt für Umwelt, mehrere Kantone, Infrastrukturbetreiber, Geologie-Büros und Forschungsinstitute an Universitäten setzen diese Methoden ein. Die Versorgung durch geeignete Satellitendaten ist durch mehrere geplante Missionen, insbesondere durch Sentinel-1 der ESA, sichergestellt. Terrestrische Radar Messungen werden ebenfalls zunehmend eingesetzt.

## Dank

Diese Arbeiten wurden durch die ESA (Projekt Terrafirma), Projekte im 7. EU Forschungsrahmenprogramm (PanGEO, DORIS) sowie das Staatssekretariat für Bildung und Forschung, Bereich Raumfahrt (Begleitmassnahmen Zusammenarbeit Raumfahrt 2008–2011) unterstützt. Für die verwendeten Satelliten SAR Daten verdanken wir die ESA (ERS-1/2, ENVISAT ASAR) und ASI (Cosmo-Skymed).

Urs Wegmüller  
Tazio Strozzi  
Andreas Wiesmann  
Charles Werner  
Othmar Frey  
Rafael Caduff  
Gamma Remote Sensing AG  
CH-3073 Gümligen  
wegmuller@gamma-rs.ch

Andrew Kos  
Terrarsense Switzerland AG  
CH-9470 Werdenberg

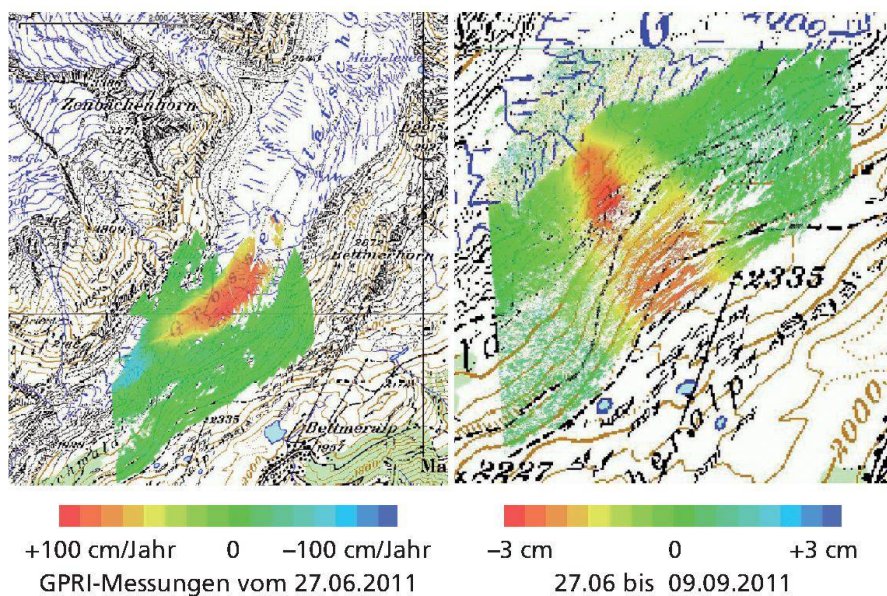


Abb. 6: GPRI-Messungen für eine schnelle Bewegung (links, grosser Aletschgletscher) und eine langsame Bewegung (rechts, Aletschwald-Rutschung).