

Radar-Interferometrie im Einsatz für die Stabilitätsüberwachung von grossflächigen Felswänden

Andreas Wiesmann¹, Ueli Gruner²

Key Words: radar interferometry, rock movement, terrestrial radar.

Zusammenfassung

Die Radar-Interferometrie kann bei einer Überwachung von Terrainbewegungen nicht nur satellitengestützt, sondern auch terrestrisch mittels eines portablen Radargerätes eingesetzt werden. Dieses Radarscanning bringt z. B. bei Stabilitätsüberwachungen von grossflächigen Felswänden sehr genaue Bewegungsinformationen im mm-Bereich. Das Verfahren wird zur Zeit in der Schweiz an mehreren Stellen als Hilfsmittel zur Frühwarnung von Felsbewegungen im Bereich von wichtigen Verkehrsverbindungen eingesetzt.

Abstract

Radar interferometry is widely used for monitoring terrain movement from space. With the availability of portable terrestrial radar interferometers this technique is now also applied locally. The terrestrial radar interferometry allows to image the movement along the line of sight of large rockwalls with in mm accuracy. This new technique is currently used at several locations in Switzerland as an early warning system to detect rock movements along important traffic lines.

1. Einleitung

Während satellitengestützte Radar-Interferometrie zur Messung von Geländebewegungen heute im grossen Stil angewendet wird, sind die terrestrischen Radarmessungen noch eine Randerscheinung. Ein Grund für den bisher eher spärlichen Einsatz von Bodenradar ist einerseits die geringe Anzahl von Messgeräten mit entsprechend relativ hohen Kosten, andererseits fehlten jedoch auch Erfahrungen v. a. aus der Praxis. In den letzten Jahren konnten nun an vielen Stellen der Alpen Testserien durchgeführt werden, unter anderem auch an sich merkbar bewegenden Felspartien. Dank diesen Erfahrungen werden die Geräte heute auch vermehrt in der Praxis als Frühwarnungsmittel bei möglichen Bewegungen an grossflächigen Felswänden eingesetzt. Nachfolgend werden erste Praxiserfahrungen mit dem Gerät GPRI (Gamma Portable Radar Interferometer, Fig. 1) vorgestellt.

2. Grundlagen

Das GPRI arbeitet bei 17.1 – 17.3 GHz, hat also eine Wellenlänge von ca. 1.7 cm und ist somit geeignet, in einem Bildpaar Verschiebungen im Bereich von Millimetern bis Zentimetern zu messen. Die Arbeitsfrequenz ist durch internationale Abmachungen gegeben. Eine Detailbeschreibung des GPRI ist in Werner et al. (2008) und Wiesmann et al. (2008) zu finden.

Bei einem abbildenden Radarsystem wird

¹ Gamma Remote Sensing AG, Worbstrasse 225, CH-3073 Gümligen [wiesmann@gamma-rs.ch]

² Kellerhals + Haefeli AG, Kapellenstrasse 22, CH-3011 Bern [ueli.gruner@k-h.ch]

jedem Punkt des abgebildeten Gebietes – im vorliegenden Fall einer Felswand – entsprechend seinem Abstand zum Radar-Gerät eine Position in der Bildebene zugeordnet. Das Ergebnis ist ein zweidimensionales Bild des Testgebietes. Beim GPRI wird eine Dimension durch die Distanz zum Beobachtungspunkt definiert (Range) und die andere Dimension durch die mechanische Rotation der Antennen generiert (Azimuth). Dabei wird nicht nur die Intensität des zurückgestreuten Signals aufgezeichnet, sondern auch die Phaseninformation. In der Radar-Interferometrie werden zwei Aufnahmen von (fast) identischer Position gemacht. Die relative Phasendifferenz der zwei Aufnahmen ist im Wesentlichen die Summe der Phasenänderungen, verursacht durch die Topografie, die Verschiebung des Ziels (Felswand) zum Beobachter und der Atmosphäre.

Ist die Aufnahme position identisch, so ist der topografische Aspekt vernachlässigbar. Ist hingegen der Zeitunterschied zwischen den Aufnahmen sehr klein, ist der Verschiebungsterm vernachlässigbar. Damit sich eine interpretierbare Phasendifferenz (in der Folge kurz Phase genannt) ergibt, darf sich das Streuverhalten des Bildpunkts nicht zu stark ändern. Ansonsten spricht man von zeitlicher Dekorrelation und einem Streuer mit kleiner Kohärenz. Beispiele für Objekte mit tiefer Kohärenz sind Büsche, Bäume etc. Die Empfindlichkeit für Verschiebungen ist proportional zur Wellenlänge des Signals.

3. Geländemodell

Zur Visualisierung für den Geologen werden die Radardaten mit einem Geländemodell georeferenziert. Es erlaubt, die Bereiche mit detektierten Felsbewegungen im Feld genauer zu erkennen und daraus Schlüsse zu ziehen (z. B. allfällige Begehungen vor Ort, Erstellen eines 3D-Modelles etc.). Das Geländemodell wird in der Regel beim ersten Radarscanning mit einem Laserscanner aufgenommen.

4. Technische Angaben für den Einsatz

Messdistanzen

Das GPRI wird in der Regel bei Messdistanzen zwischen 0.1 km und 3 km (bis 4 km) eingesetzt. Für Gletscherbeobachtungen wurde das Instrument aber auch schon bis auf eine Distanz von 7 km verwendet.

Sensitivität und Messgenauigkeit

Die Sensitivität des Instruments ist sehr hoch. Bei idealen Bedingungen und kleinen Distanzen kann bis in den sub-mm-Bereich gemessen werden. Im Feld ist die Messgenauigkeit im mm-Bereich und hängt von der Situation, der Kohärenz des Signals im Zielgebiet, der Anzahl Aufnahmen und von atmosphärischen Einflüssen ab. Die Genauigkeit kann durch eine höhere Messfrequenz verbessert werden. Je grösser die Distanz, desto grösser werden die atmosphärischen Einflüsse (Thermik).

Messintervall

Das Messintervall ist abhängig von den zu erwartenden Verschiebungen (zeitlich und räumlich) und der zeitlichen Dekorrelation des Objekts. Während bei Fels mit Bewegungen von einigen mm/y eine Messung pro Jahr ausreichend sein kann, muss ein Gletscher mit einer Fliessgeschwindigkeit von 150 m/y im Sommer wegen dem schmelzenden Schnee an der Oberfläche im Minutenintervall gemessen werden. Das Messintervall muss also von Fall zu Fall beurteilt werden. Allenfalls muss zu Beginn eher häufig gemessen werden, damit der ideale Messrhythmus gefunden werden kann. Ideal ist die Erfassung von Verschiebungen im Bereich von Millimetern bis wenigen Zentimetern.

Räumliche Empfindlichkeit

Die räumliche Empfindlichkeit ist abhängig von der Messdistanz. Bei einer Distanz von 1 km liegt die Grösse eines einzelnen Bildpunktes bei rund 6 m², bei einer Distanz von 2 km bei rund 12 m².

Dauereinsatz

Das GPRI kann im Fall einer Notfallüberwachung, z. B. bei einem akut absturzgefährdeten Felsbereich, auch in einem Dauereinsatz eingesetzt werden (z. B. mehrere Messungen pro Stunde; Fig. 2). Die maximale Aufnahme-frequenz beträgt bei fixem Betrachtungswinkel mehrere tausend Messungen pro Sekunde.

Messstandort

Das Instrument kann sowohl auf einem Stativ als auch auf einer fixen Vorrichtung betrieben werden. Eine fixe Position ist notwendig, wenn für das Stativ keine stabile Auflage vorhanden ist, und empfiehlt sich auch für das Monitoring bei längeren Messintervallen, um die Genauigkeit der Repositionierung zu verbessern.

5. Datenlieferung

Die Messdaten werden auf einer Karte dargestellt, auf der die entsprechenden Verschiebungswerte in Bewegungsrichtung erkennbar sind (Fig. 2). Für einzelne ausgewählte Punkte können Zeitserien der Verschiebungskomponente in Betrachtungsrichtung erstellt werden.

Das Gerät hat eine Steuerungseinheit, die einen autonomen Betrieb erlaubt und via Internet angesprochen werden kann. Die Netzwerkfähigkeit erlaubt den Einsatz von existierender Hardware (WIFI/GSM Modem), um das Instrument aus Distanz zu betreiben und auf die Messdaten zuzugreifen.

6. Referenzbeispiel

Das GPRI wurde bereits verschiedentlich in einzelnen Testgebieten in den Alpen eingesetzt. Ein repräsentatives Beispiel stellt die testmässige Überwachung einer sich talwärts bewegenden Felswand in Preonzo (Kanton Tessin) im Frühling 2010 dar (vgl. auch Willenberg et al. 2009). Fig. 2 zeigt die Verschiebungskarte der Messungen vom 18.

Mai bis 3. Juni 2010 und die Zeitreihen von drei ausgewählten Punkten über den Beobachtungszeitraum von 39 Tagen. Die maximal gemessene Geschwindigkeit betrug 6.7 mm/Tag in Beobachtungsrichtung, was mit den Messergebnissen anderer Überwachungssysteme übereinstimmt. Im unteren Teil in Fig. 2 (rechts) sind Setzungsbewegungen eines früheren Felssturzes erkennbar.

7. Einsatzbeispiele

Ziele

Das GPRI wird heute an verschiedenen Stellen als Frühwarninstrument bei bestehenden Infrastrukturanlagen eingesetzt. Die Stabilitätsüberwachung mittels eines Radarscannings wird bis jetzt vorwiegend dort verwendet, wo an grossflächigen Felswänden allfällige Bewegungen in grosser Genauigkeit (mm-Bereich) erfasst werden sollen. Damit kann man möglichst frühzeitig Informationen über allfällige Deformationen von grösseren Felspartien erhalten. Bisher mussten für eine Überwachung in dieser Genauigkeit aufwändige Einzelmessungen gemacht werden (z. B. optisch auf Distanz oder auch händisch vor Ort). Häufig konnten damit allerdings, v. a. bei grossflächigen Überwachungsgebieten, nur sektorielle Bereiche erfasst bzw. überwacht werden. Weniger geeignet ist das Radarscanning allerdings auf Grund der räumlichen Empfindlichkeit für den Einsatz bzw. die Erfassung von kleineren Felsinstabilitäten von wenigen Kubikmetern.

Beispiele

- Im Beispiel Simmenfluh (Kanton Bern) wird eine Felswand von gesamthaft fast 0.5 km² Fläche von zwei fixen Messstellen im Talboden aus überwacht. Das Schadenpotenzial ist hier einerseits eine Kantonsstrasse, andererseits die Nationalstrasse A6, welche in Richtung Zweisimmen führt (Fig. 1). Während die kleineren Abbrüche (m³-Bereich) von Palisaden

oder Schutznetzen aufgefangen werden können, werden grosse Kubaturen durch diese Schutzvorrichtungen nicht zurückgehalten. Bewegungen auch geringeren Ausmasses von solchen Partien sollen nun frühzeitig durch das Radarscanning erfasst werden.

- Ein weiteres Überwachungsgebiet stellen die gegen 100 m hohen Felswände bergseits der Nationalstrasse A8 auf der Berner Seite des Brünigpasses dar, wo die Messungen bereits seit 2007 in der Regel einmal jährlich durchgeführt werden. Seit 2011 wird eine ebenfalls fast 0.5 km² Fläche umfassende und bis zu 600 m hohe Felswand bei Innertkirchen im Berner Oberland überwacht, wo eine im Talboden liegende internationale Gasleitung vorbeiführt.

Kosten

Die Kosten für die Basismessung liegen je nach Lage des Standortes im Bereich von rund CHF 12'000 bis 15'000. Eine Folgemessung ist ca. 25% günstiger.

Verdankungen

Dem Kanton Tessin (Giorgio Valenti) wird für die Unterstützung der Radarmessungen in Preonzo gedankt. Ein Dank geht auch an Andrew Kos (Terrarsense, Werdenberg) für die Erstellung des Geländemodells (Preonzo) und an Tazio Strozzi, Charles Werner und Rafael Caduff (Gamma Remote Sensing AG) für Mitarbeit an Gerät und bei der Datenakquisition.



Fig. 1: Blick auf die Simmenfluh (Kanton Bern) mit dem Radargerät GPRI im Vordergrund. Unten an der Felswand ist die Nationalstrasse A6 erkennbar.

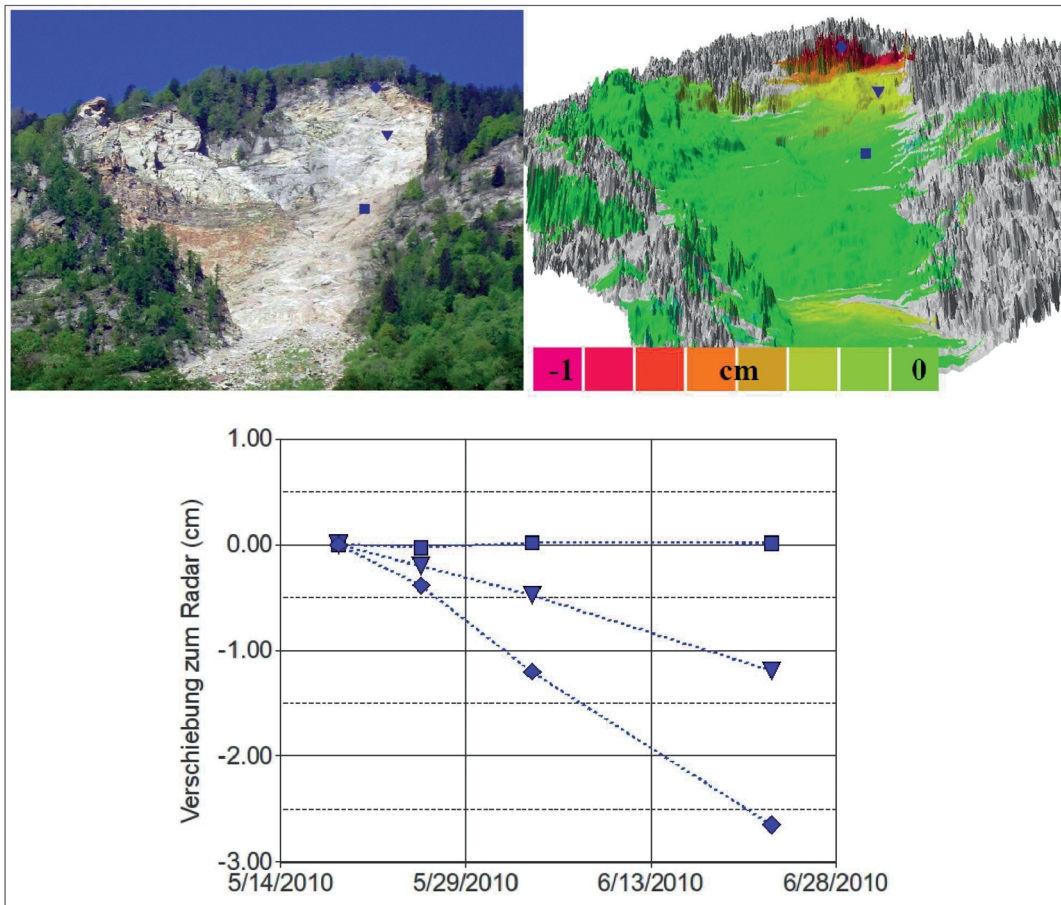


Fig. 2: Beispiel Preonzo (Kanton Tessin): Foto des Testgebietes (links) und 3D-Visualisierung der Verschiebung zwischen dem 18. Mai und dem 3. Juni 2010 (rechts) mit Lage der drei Messpunkte. Mitte unten: Ganglinien der Verschiebung der drei Messpunkte.

Literatur

- Werner, C., Strozzi, T., Wiesmann, A. & Wegmüller, U. 2008: GAMMA's portable radar interferometer. Proc. 13th FIG/4th IAG, Lisbon, Portugal.
- Wiesmann, A., Werner, C., Strozzi, T. & Wegmüller, U. 2008: Measuring deformation and topography with a portable radar interferometer. Proc. 13th FIG/4th IAG, Lisbon, Portugal.
- Willenberg, H., Eberhardt, E., Loew, S., McDougall, S. & Hungr, O. 2009: Hazard assessment and runout analysis for an unstable rock slope above an industrial site in the Riviera valley, Switzerland. Landslides (2009) 6, 111–116.