

**GRUNDSÄTZE ZUM
EINSATZ VON SATELLITENGESTÜTZTEN VERFAHREN DER
RADARINTERFEROMETRIE ZUR ERFASSUNG VON
HÖHENÄNDERUNGEN**

Deutscher Markscheider-Verein e.V., Arbeitsgruppe Radarinterferometrie,
Herne 2013

Stand: 16.09.2013

Ausgabe: 18.11.2013

Copyright:

Deutscher Markscheider-Verein e.V.

Shamrockring 1

44623 Herne, GERMANY

Tel. +49 2323 15-4660

E-Mail: geschaeftsstelle@dmv-ev.de

Gliederung

1	Zielsetzung, Vorgehensweise.....	4
2	Vorschriften	5
3	Radarinterferometrie zur Erfassung von Höhenänderungen	5
4	Kurzbeschreibung des Messverfahrens	5
5	Grundüberlegungen bei der Planung eines Radarinterferometrieprojektes.....	7
5.1	Charakteristik der Höhenänderung.....	7
5.2	Sensoreigenschaften.....	7
5.3	Gebietseigenschaften.....	7
5.4	Bezugssystem	7
5.5	Validierung	8
6	Messung.....	8
6.1	Grundlegende Projektinformationen.....	8
6.2	Satellitendaten.....	8
6.3	Radarinterferometrische Auswertung.....	9
6.4	Qualitätskontrolle / Validierung.....	9

1 Zielsetzung, Vorgehensweise

In den letzten Jahren wurde die Technologie der Radarinterferometrie deutlich weiterentwickelt, so dass dieses Verfahren auch zur Bearbeitung markscheiderisch-geodätischer Aufgabenstellungen Eingang findet.

Diese Grundsätze beinhalten spezifische, praxisbezogene Informationen zu den Verfahren der satellitengestützten Radarinterferometrie zur Erfassung von Höhenänderungen.

Dabei wird auf die Anwendung der Radarinterferometrie für gesetzlich und behördlich vorgeschriebene markscheiderische Aufgaben, z.B. Übernahme von Messergebnissen in das Risswerk oder Überwachungen der Oberfläche nach § 125 BBergG und besondere betriebliche Nutzungen eingegangen.

Die Erarbeitung der Grundsätze erfolgte durch eine Adhoc-Arbeitsgruppe des Deutschen Markscheider-Vereins e.V. (DMV) im Zeitraum März 2011 bis Mai 2013.

Folgende Fachleute haben mitgewirkt:

Norbert Benecke, DMT GmbH & Co KG (Obmann)

Wolfgang Busch, TU Clausthal – Institut für Geotechnik und Markscheidewesen

Joachim Deutschmann, DMV e.V.

Andreas Frische, BezReg Arnsberg, Abt. 6 – Energie und Bergbau in NRW

Werner Guder, RWE Power AG

Jörg Heßlau, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen

Frank Hoffmann, Vattenfall Europe Mining AG

Andreas Reitze, Socon Sonar Control Kavernenvermessung GmbH

Volker Spreckels, RAG Deutsche Steinkohle AG

Karsten Zimmermann, DMT GmbH & Co KG

2 Vorschriften

Die Verfahren der satellitengestützten Radarinterferometrie eignen sich zur Erfassung von Höhenänderungen.

Damit sind diese Verfahren prinzipiell geeignet, um für markscheiderische und sonstige vermessungstechnische Arbeiten im Zusammenhang mit Tätigkeiten und Einrichtungen nach § 2 Bundesberggesetz (BBergG) sowie für Messungen zur Erfassung des vertikalen Anteils der Bodenbewegungen nach § 125 BBergG eingesetzt zu werden.

Verfahren der Radarinterferometrie sind Sonderverfahren nach § 8 Abs. 3 der Verordnung über markscheiderische Arbeiten und Beobachtungen der Oberfläche (Markscheider-Bergverordnung - MarkschBergV).

Zur Nutzung der Verfahren der Radarinterferometrie für markscheiderische und sonstige Tätigkeiten werden die folgenden Grundsätze herausgegeben, die den derzeitigen Stand der Technik berücksichtigen¹.

Die Einhaltung der diesbezüglichen Bestimmungen der MarkschBergV wird vermutet, soweit die Grundsätze beachtet werden.

3 Radarinterferometrie zur Erfassung von Höhenänderungen

Mit der satellitengestützten Radarinterferometrie lassen sich Höhenänderungen großflächig mit einer Genauigkeit im Sub-Zentimeterbereich unter Berücksichtigung der fachlichen Anforderungen an markscheiderisch-geodätische Deformationsmessungen, z.B. die Einbindung in ein übergeordnetes Referenznetz erfassen.

4 Kurzbeschreibung des Messverfahrens

Die satellitengestützte Radarinterferometrie ist ein fernerkundliches Messverfahren.

Sie nutzt verschiedene, im Orbit befindliche, aktive Radarsensoren zur Gewinnung von Radaraufnahmen.

Das Messverfahren lässt sich vereinfacht wie folgt skizzieren:

Von einem Seitensicht-Radarsensor werden Mikrowellenimpulse ausgesandt, von Elementen der bestrahlten Erdoberfläche teilweise reflektiert und von der Antenne des Radarsensors wieder empfangen. Gemessen werden die Rückstreuintensität und die Phasenlage der zurückgestrahlten Radarsignale.

Durch die Überlagerung von zwei Radaraufnahmen werden Interferogramme erzeugt, die als Messgröße die Phasendifferenz beider Aufnahmen enthalten.

¹ Bei Bedarf sind diese Grundsätze an den jeweiligen Stand der Technik anzupassen.

Aus dieser Phasendifferenz können Abstandsänderungen und daraus Höhenänderungen abgeleitet werden. Dazu müssen aus der Phasendifferenz noch verschiedene Signalanteile (aufgrund von z. B. Topographie, Atmosphäre, Rauschen) auf geeignete Weise eliminiert bzw. reduziert werden.

Durch die Verwendung eines großflächigen homogenen Digitalen Oberflächenmodells (DOM) oder Digitalen Höhenmodells (DHM) lassen sich aus diesen Informationen die Entfernungen zwischen dem Radarsensor und den rückstreuenden Objekten ermitteln. Die Auswahl des DOM / DHM und der Bodenauflösung richtet sich nach den Anforderungen der Aufgabenstellung.

Für die radarinterferometrischen Auswertungen müssen die auszuwertenden Signale zwischen zwei Radaraufnahmen des gleichen Gebietes räumlich und auch zeitlich korrelieren. Veränderungen der Rückstreuereigenschaften durch z.B. Vegetationswechsel, längere zeitliche Abstände der Aufnahmen oder auch starke Bodenbewegungsgradienten führen zu Dekorrelationen und damit zur systematischen Verfälschung der abgeleiteten Höhenänderung bis hin zur Nichtauswertbarkeit.

Wichtigste Voraussetzung für eine erfolgreiche interferometrische Auswertung von Radardaten ist folglich eine „feste“ Phasenbeziehung (Kohärenz, d. h. Ähnlichkeit) zwischen den zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgezeichneten Aufnahmen.

Zur Auswertung der Radaraufnahmen haben sich im Wesentlichen zwei unterschiedliche Verfahren bewährt. Zu nennen sind hier das Verfahren der differentiellen Radarinterferometrie (DInSAR) und das Verfahren der Persistent Scatterer Interferometrie (PSI).

Der Ansatz der DInSAR - Prozessierung ist flächenbezogen und nutzt die unmittelbare Nachbarschaft der Bildelemente. Als Ergebnis lassen sich rasterbezogene Höhenänderungen für den Zeitraum zwischen zwei Radaraufnahmen ableiten.

Das Verfahren der Persistent Scatterer Interferometrie (PSI) arbeitet punktbezogen und liefert Zeitreihen der Höhenänderungen für jeden PSI-Punkt. Voraussetzung ist die Auswertung von mindestens 20 bis 25 aufeinander folgenden Radaraufnahmen.

Persistent Scatterer (PS) sind Auflösungszellen mit einem oder mehreren dominanten Rückstreuern, deren Amplitude und Phase von den dominanten Objekten bestimmt wird. Das sind in der Regel künstliche Objekte mit sehr guten Rückstreuereigenschaften, die z.B. an und auf Bauwerken vorkommen oder speziell konstruiert wurden (z.B. Corner-Reflektoren).

Die Auswertungen können in Datenbanken integriert oder zu großflächigen Karten der Bodenbewegungen mit hoher zeitlicher und räumlicher Informationsdichte verarbeitet werden. Mit der satellitengestützten Radarinterferometrie kann grundsätzlich nur der Anteil der Bodenbewegungen in line of sight (LOS) - Richtung (in Richtung vom Radarsensor zur Erd- bzw. Geländeoberfläche) bestimmt werden. Daraus lässt sich die Größe der Höhenänderung ableiten.

5 Grundüberlegungen bei der Planung eines Radarinterferometrieprojektes

Bei der Planung eines radarinterferometrischen Projektes sind insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen:

5.1 Charakteristik der Höhenänderung

Die Charakteristik der Höhenänderung hat wesentlichen Einfluss auf die konkrete Ausgestaltung eines Radarinterferometrieprojektes. So erfordern z.B. schnelle, zeitlich nicht lineare Höhenänderungen, wie sie beim untertägigen Bergbau auftreten können, kurze Abstände zwischen den auszuwertenden Satellitenaufnahmen. Der erfolgreiche Einsatz des Verfahrens ist somit von der Wiederholungsrate des auszuwählenden Satellitensensors abhängig.

5.2 Sensoreigenschaften

Da bei den Interferogrammen nur Phasenwerte zwischen 0 und 2π vorkommen, darf die Höhenänderung zwischen zwei Aufnahmen und zwei benachbarten Bildpixeln nicht größer sein, als der halbe Phasenwert des Zyklus ($<\pi$).

Der Einsatz der Methode ist also neben der Wiederholrate auch von der verwendeten Wellenlänge und der Bodenauflösung des verwendeten Sensors abhängig.

5.3 Gebietseigenschaften

Die Informationsdichte in bebauten Gebieten hängt im Wesentlichen von der Bebauungsdichte und der Bodenauflösung des verwendeten Sensors ab. In diesen Gebieten eignen sich sowohl das DInSAR als auch das PSI-Verfahren.

In ländlichen Gebieten ist durch die Veränderung der Oberfläche infolge landwirtschaftlicher Tätigkeiten und der Vegetation mit einer höheren Dekorrelation zu rechnen. Hier eignet sich eher das DInSAR Verfahren

5.4 Bezugssystem

Der Lage- und Höhenbezug der Ergebnisse erfolgt durch das verwendete DOM / DHM.

Zur Überprüfung und Steigerung der Lagegenauigkeit wird die Verwendung geeigneter Corner-Reflektoren empfohlen, deren Lage und Höhe im verwendeten Referenzsystem bekannt sein muss.

5.5 Validierung

Bei der Validierung der radarinterferometrischen Ergebnisse mit Ergebnissen anderer Verfahren sind insbesondere folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Im Gegensatz zu den radarinterferometrischen Daten, die sich auf ein Flächenelement beziehen, sind vermessungstechnisch gewonnene Daten i.d.R. einem definierten Punkt zugeordnet.
- Insbesondere bei schnellen Veränderungen und zur Atmosphärenkorrektur sind auch die unterschiedlichen Zeitpunkte der Messungen mit den verschiedenen Verfahren zu beachten.

6 Messung

Die geforderte Genauigkeit (siehe auch MarksbergV) ist bei der Auswahl der zum Einsatz kommenden Radarsensoren und des radarinterferometrischen Auswerteverfahrens zu beachten.

Die erreichte Genauigkeit einer radarinterferometrischen Auswertung ist entsprechend den Anforderungen nachzuweisen. Insbesondere kann dieser Nachweis durch eine Validierung mit Referenzmessungen erfolgen.

Die radarinterferometrische Auswertung und die Ableitung der Höhenänderungen sind zu dokumentieren. Dabei sind mindestens folgende Angaben erforderlich:

6.1 Grundlegende Projektinformationen

- Aufgabenstellung mit Genauigkeitsanforderungen
- Beobachtungsbereich und Betrachtungszeitraum
- Namen der Ausführenden und der Kontrollierenden
- Auflistung der für die Auswertung genutzten Daten und Unterlagen, deren Herkunft sowie Nutzungsrechte

6.2 Satellitendaten

- Verwendetes Aufnahmesystem (Sensorträger, Sensor, Track, Elevation, Modus, Frequenzband, Wellenlänge, Bodenauflösung, Auflösung in LOS, Wiederholungsrate)
- Liste der verwendeten und nicht verwendeten Satellitenszenen mit Aufnahmedatum und Uhrzeit; Begründung für Nichtnutzung
- Datum der gewählten Referenzscene(n) mit Begründung der Auswahl

6.3 Radarinterferometrische Auswertung

- Beschreibung des Auswerteverfahrens
- Angabe relevanter Genauigkeits- und Qualitätsparameter
- Benutzte Software, eingesetzte Softwarekomponenten
- Informationen zur Qualität der Daten (Kohärenz, erkannte Dekorrelationseffekte, Topographie des Geländes, Abschattungen, etc.)
- Informationen zu den angebrachten Korrekturen: Orbitkorrekturen, Topographische Phase, Atmosphärenkorrekturen
- Informationen zur Georeferenzierung
- Angabe des gewählten Referenzpunktes; Begründung der Auswahl, Angaben zur Stabilität
- DHM-Datenquelle mit Nachweis der Nutzungsrechte, Aktualität, Bodenauflösung
- Dokumentation der relevanten Auswerteschritte
- Informationen zum genutzten Bezugssystem
- Nachweis der Überprüfung auf grobe Fehler
- Dokumentation weiterer Analyseschritte, z.B. Filterungen, Interpolationen
- Angaben über erreichte Genauigkeiten und Qualitäten
- Sachgerechte Darstellung der Ergebnisse

6.4 Qualitätskontrolle / Validierung

- Dokumentation der durchgeführten Qualitätskontrolle / Validierung
- Bewertung der Ergebnisse.