

Anwendung der Radarinterferometrie in der Landesvermessung NRW

VINCENT GEFELLER, BERND KRICKEL & JENS RIECKEN

Das Erdbeobachtungsprogramm Copernicus der Europäischen Raumfahrtbehörde (ESA) stellt mit den Satelliten Sentinel-1A und -1B wiederkehrend (12 bzw. 6 Tage) flächendeckende Radardaten der Erdoberfläche kostenlos zur Verfügung. Mittels der Radarinterferometrie bietet dieses Messverfahren enormes Potenzial zur räumlichen und zeitlichen Verdichtung der Höhenänderungsinformation. Die nordrhein-westfälische Landesvermessung (Bezirksregierung Köln/Geobasis NRW) nutzt die kostenlosen Radardaten daher künftig zur Ableitung eines „Bodenbewegungskataster NRW“ und zur Qualitätssicherung des amtlichen Raumbezugs 2016.

Darauf aufbauend bieten die Ergebnisse der Radarfernerkundung die potentielle Planungsgrundlage für das zukünftige Präzisionsnivellement. Die Radarinterferometrie könnte somit das klassische terrestrische Messverfahren ergänzen und/oder in Teilen auch ablösen. Die Landesvermessung sieht daher – neben der messtechnischen Innovation – insgesamt auch wirtschaftliche Vorteile in dem Fernerkundungsverfahren.

Mit dem Beitrag sollen die methodischen Stärken sowie das wirtschaftliche Potenzial der Radarinterferometrie für die Aufgabenwahrnehmung im geodätischen Raumbezug und die Optimierung interner Prozesse aufgezeigt werden.

1. Bodenbewegungen in NRW

In Nordrhein-Westfalen bewirken insbesondere der Steinkohlenbergbau und der Braunkohletagebau großflächige, anthropogen verursachte Bodenbewegungen mit unmittelbaren Auswirkungen auf den geodätischen Raumbezug. Als Teil des gesetzlichen Auftrags der Landesvermessung (§ 9 (1) VermKatG NRW i.V.m. § 4 (3) DVOzVermKatG NRW) werden seit den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts die sogenannten Leitnivellements (Präzisionsnivellements) zur Überwachung von Vertikalbewegungen und zur Aktualisierung von Höhen in den durch Bergbautätigkeit verursachten Bodenbewegungsgebieten durchgeführt (HEITMANN ET AL. 2012). Abbildung 1 zeigt die aktuellen Leitnivellements für die jeweiligen Bodenbewegungsgebiete.

Die Bodenbewegungsgebiete mit einer jährlichen Höhenänderung von mehr als +/-3 Millimeter bedecken weite Teile der Landesfläche Nordrhein-Westfalens. Die Messungen in diesen Gebieten mittels Präzisionsnivellement verursachen, je nach Länge der Messstrecke und zeitlichem Turnus, hohe Kosten. Die Methode liefert punktuelle Höhenänderungen entlang von Messlinien, hingegen flächenhafte Information über das Bodenbewegungsverhalten nur durch Interpolationsverfahren approximiert werden können. Eine Ausdehnung

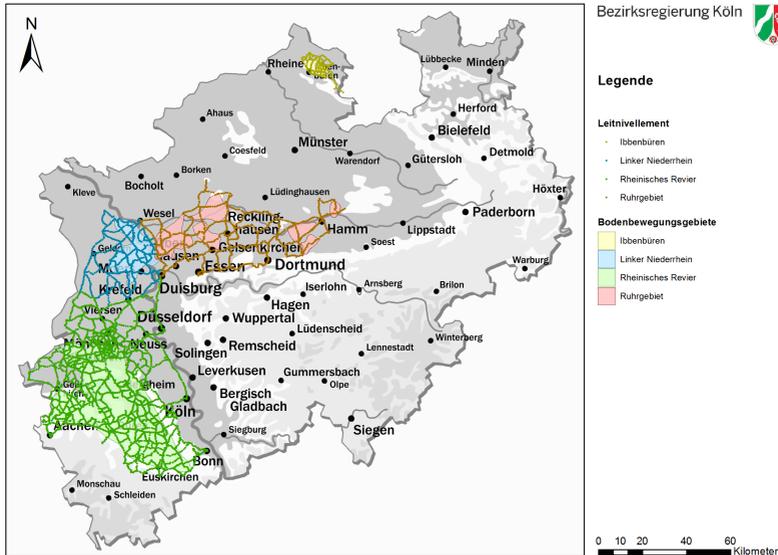


Abbildung 1: Leitnivellements und Bodenbewegungsgebiete in NRW

des Leitnivellements außerhalb der bekannten Bodenbewegungsgebiete ist aufgrund finanzieller und personeller Kapazitäten nicht realisierbar. Daher ist im Großteil Nordrhein-Westfalens eine Aussage über aktuelle Vertikalbewegungen nicht möglich.

Aus dieser Motivation heraus untersuchte Geobasis NRW von 2015 bis 2019 – in einem vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur geförderten Forschungsprojekt – die Nutzung der Fernerkundungsmethode Radarinterferometrie zur Detektion und zum Monitoring großräumiger Bodenbewegungen unter Verwendung von Sentinel-1A-Satellitendaten.

2. Radarinterferometrie

Die satellitengestützte Radarinterferometrie ist ein fernerkundliches Messverfahren und entwickelt sich aufgrund der großflächigen Abdeckung und hohen Genauigkeit zunehmend zu einem Standardverfahren bei der Erfassung von Bodenbewegungen. Die wiederkehrenden Radarmessungen (Synthetic Apertur Radar, SAR) erfolgen aus nahezu identischer Aufnahmeposition, wodurch sich eine Überlagerung (Interferenz) der Radarsignale ergibt. Die Radarinterferometrie (Interferometrisches SAR, InSAR) setzt die Phasenwerte zweier SAR Aufnahmen pixelweise in Differenz. Das Ergebnis wird als Phasendifferenzbild oder auch Interferogramm bezeichnet und beschreibt die Veränderung zwischen den zwei Aufnahmezeitpunkten in Blickrichtung (Line-of-sight, LOS) des Sensors (WALTER 2012).

Diese eindimensionale LOS-Messung beschreibt die dreidimensionale Verformungen der Erdoberfläche in Höhe (Vertikal) und Lage (West-Ost- und Nord-Süd-Richtung) jedoch nur unzureichend.

Die polare Umlaufbahn des Sensors ermöglicht die Messung aus einer aufsteigenden (ascending) und einer absteigenden (descending) Flugrichtung. Durch den rechtsblickenden Radarsensor erfolgen daher zwei unabhängige Messungen, eine aus westlicher und eine aus östlicher Richtung. Unter Hinzunahme der Flug- und Blickwinkel ermöglicht dies eine Dekomposition der Bodenbewegungen in seine West-Ost- und Vertikal-Komponente (Höhenänderung). Eine verlässliche Aussage zur dritten Bewegungsrichtung ist aufgrund der geringen Sensitivität für die Nord-Süd-Komponente nicht möglich (FUHRMANN & GARTHWAITE 2019).

Für die Beobachtung langfristiger Höhenänderungen und der Bildung von Zeitreihen lässt sich dieses Messprinzip auf große Aufnahmestapel erweitern. Hierbei wird eine Vielzahl an Interferogrammen zwischen den einzelnen SAR-Kombinationen gebildet. Eine bewährte radarinterferometrische Auswertemethode ist die Persistent Scatterer Interferometry (FERRETTI ET AL. 1999). Bei diesem Verfahren werden die Veränderungen an einzelnen langzeitstabilen Punktstreuern in den Radarszenen bestimmt. Dabei handelt es sich um Objekte in der Realität, die aufgrund ihrer Signalarückstreuungseigenschaften (Größe, Form, Ausrichtung, etc.) das Radarsignal des Satelliten kohärent reflektieren.

Abhängig von der Bodenauflösung des Sensors (z. B. Sentinel-1 = 5 m x 20 m) enthält jedes Pixel daher eine Vielzahl an rückstreuenden Elementen, deren Phasenrückstreuungszentrum mit einer gewissen Lageunsicherheit behaftet ist. Daraus ergibt sich eine Pseudopunktschärfe, die im Kontext amtlich-geodätischer Daten zu Fehlinterpretationen führen kann. Aufgrund dessen hat die nordrhein-westfälische Landesvermessung mit dem „Bodenbewegungskataster NRW“ ein räumlich und zeitlich generalisiertes Produkt konzipiert, welches den hohen Qualitätserwartungen an amtliche Geobasisdaten Rechnung trägt.

3. Bodenbewegungskataster NRW

Das Projekt Bodenbewegungskataster NRW ist im Rahmen des Förderprogramms „Entwicklung und Implementierungsvorbereitung von Copernicus Diensten für den öffentlichen Bedarf in Deutschland“ entstanden. Um das Potenzial dieser Datenquelle auch in der Landesvermessung künftig zu nutzen, ist in Zusammenarbeit mit der TU Clausthal ein entsprechendes Konzept zur „Erhebung, Qualifizierung, Weiterverarbeitung und Präsentation“ entwickelt worden (RIECKEN & BUSCH 2015).

Entsprechend der in Abbildung 2 dargestellten Prozesskette erfolgt die Datenerhebung im Rahmen des Erdbeobachtungsprogramm Copernicus. Die Radarsensoren der Satelliten Sentinel-1A (seit 2014) und Sentinel 1B (seit 2016) erfassen wiederkehrend (alle 12 bzw. 6 Tage) und flächendeckend die Erdoberfläche. Die Daten stehen den Anwendern über ein Onlineportal kostenlos und zur freien Nutzung bereit (ESA 2019).

Aufbauend auf den Erkenntnissen des Pilotprojekts, wird die Qualifizierung der Radardaten künftig durch Geobasis NRW erfolgen. Das Konzept sieht hierzu eine Aufteilung der Landesfläche in einzelne Segmente vor, von denen jedes Segment als eigenständige

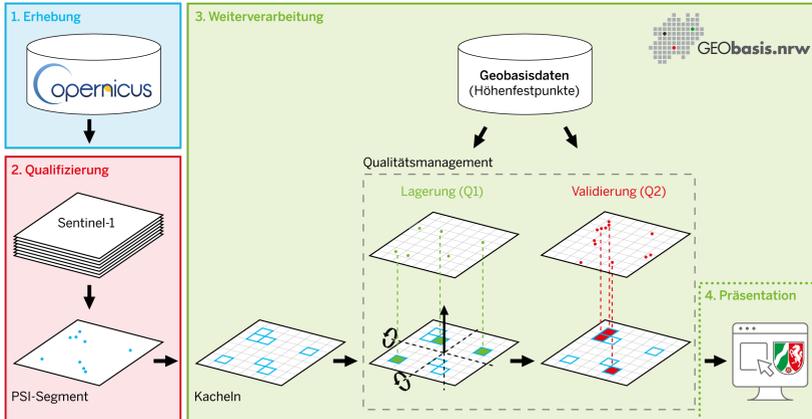


Abbildung 2: Prozesskette des Bodenbewegungskataster NRW

PSI-Auswertung prozessiert wird. Eine räumliche Überlappung der einzelnen Segmente dient zudem der gegenseitigen Ergebnisvalidierung im Qualitätsmanagement. Ferner wird, infolge der genannten LOS-Problematik, der gesamte Prozess künftig für mehrere Aufnahmerichtungen durchgeführt. Eine solche Multi-Geometrie-Auswertung ermöglicht eine Dekomposition der Bodenbewegungsanteile in ihre West-Ost- und Vertikal-Komponente (Höhenänderung).



Abbildung 3: Symbolbild für Web-Dienst des Bodenbewegungskatasters NRW

Für die Weiterverarbeitung werden die PSI-Höhenänderungen anschließend in ein Kachelmodell (250 m x 250 m) überführt und pro Kalenderjahr ein Höhenänderungswert abgeleitet. Ein zweistufiges Qualitätsmanagement lagert die Ergebnisse im amtlichen Raumbezug (Q1) und validiert diese anschließend anhand terrestrischer Referenzdaten (Q2). Die Höhenänderungen des Bodenbewegungskatasters sollen künftig als Web-Dienst öffentlich zugänglich gemacht werden (Abbildung 3). Die Darstellung der Kacheln erfolgt in farblich abgestuften Klassen. Eine Darstellung der einzelnen PSI-Punkte erfolgt hingegen nicht. Damit wird die Quelle einer möglichen Fehlinterpretation ausgeschlossen und dem Datenschutz Rechnung getragen (HAMMERSCHMIDT 2014).

4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Das wirtschaftliche Potenzial der Radarinterferometrie für die Landevermessung NRW lässt sich durch Hochrechnung der Nivellementkosten quantifizieren. Als Referenz dient ein landesweiter PSI-Datensatz aus dem „Bodenbewegungsdienst Deutschland (BBD)“, welcher der Bezirksregierung Köln von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) zur Verfügung gestellt wurde.

Um eine Aussage über die räumliche Abdeckung der beiden punktuellen Messmethoden treffen zu können, erfolgt die Analyse auf Basis der Kacheln des Bodenbewegungskatasters. Die Kacheln bilden zugleich die Grundlage für eine quantitative Gegenüberstellung.

| Bodenbewegungsgebiete (BBG) | Kacheln [100%] | Leitnivellement | | Radarinterferometrie | | Faktor |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-------------|----------------------|-------------|-----------|
| | | Absolut | Relativ [%] | Absolut | Relativ [%] | |
| Ibbenbüren | 632 | 80 | 12,7 | 401 | 63,4 | 5 |
| Linker Niederrhein | 5.194 | 389 | 7,5 | 3.170 | 61,0 | 8 |
| Rheinisches Revier | 26.927 | 2.473 | 9,2 | 11.207 | 41,6 | 5 |
| Ruhrgebiet | 7.771 | 314 | 4,0 | 5.096 | 65,6 | 16 |
| BBG gesamt | 40.343 | 3.259 | 8,1 | 19.623 | 48,6 | 6 |
| NRW gesamt | 549.539 | 6.874 | 1,3 | 233.517 | 42,5 | 33 |

Tabelle 1: Gegenüberstellung der räumlichen Informationsdichte aus Leitnivellement und Radarinterferometrie

Die Tabelle 1 zeigt die kachelbasierte Informationsdichte für die Auswertemethoden Nivellement und Radarinterferometrie (spaltenweise) sowie die unterschiedlichen Bodenbewegungsgebiete (zeilenweise).

Die Ergebnisse zeigen eine deutliche räumliche Informationsverdichtung durch die Radarinterferometrie gegenüber dem klassischen Leitnivellement. In den bekannten Bodenbewegungsgebieten liegt diese um den Faktor 6. Ferner kommt es durch die jährliche Aktualisierung des Bodenbewegungskatasters zu einem zeitlichen Informationsgewinn um den Faktor 5. Die Radarinterferometrie liefert somit in den Bodenbewegungsgebieten von NRW eine insgesamt 30-fach höhere Informationsdichte.

Bezogen auf eine hypothetische Verdichtung des Nivellements, entspricht dies jährlichen Kosten von über 2 Millionen EUR. Diese Hochrechnung quantifiziert das wirtschaftliche Potential der Radarinterferometrie für die Landesvermessung in NRW. Hinzu kommt der Informationsgewinn außerhalb der bekannten Bodenbewegungsgebiete (Faktor 33), welcher sich mit klassischen Methoden auf einen jährlichen Kostenaufwand von rund 12 Millionen EUR belaufen würde.

5. Fazit

Die Erkenntnisse aus dem Pilotprojekt „Bodenbewegungskataster NRW“ haben bestätigt, dass die „Anwendung der Radarinterferometrie in der Landesvermessung NRW“ einen enormen Mehrwert liefert. Als Ergebnis dessen wird im Rahmen der gesetzlichen Aufgaben ein neues Produkt der Landesvermessung NRW definiert. Das Anwendungspotenzial der als Nebenprodukt abgeleiteten West-Ost-Komponente gilt es noch zu analysieren.

Literatur

- EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA) (2019): Sentinel-1. Abgerufen am 01. August 2019 von <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>
- FERRETTI, A., PRATI, C., ROCCA, F. (2001): Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, S. 8-20.
- FUHRMANN, T. & GARTHWAITE, M. C. (2019): Resolving Three-Dimensional Surface Motion with InSAR: Constraints from Multi-Geometry Data Fusion. *Remote Sensing*.
- HAMMERSCHMIDT, S. (2014): Geodaten als personenbezogene Daten. In: *Geodaten und Open Government - Perspektiven Digitaler Staatlichkeit*, Deutsches Forschungsinstitut für öffentliche Verwaltung, Speyer 2014, S. 90
- RIECKEN, J. & BUSCH, W. (2015): Bodenbewegungskataster - Implementierungsansatz eines künftigen Produktes der Landesvermessung NRW. *Tagungsband GeoMonitoring 2015*, S. 15-24.
- WALTER, D. (2012): Systematische Einflüsse digitaler Höhenmodelle auf die Qualität radarinterferometrischer Bodenbewegungsmessungen. *Schriftenreihe des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie*, Heft 21.

Kontakt

VINCENT GEFELLER

BERND KRICKEL

JENS RIECKEN

Bezirksregierung Köln
Muffendorfer Str. 19-21
53177 Bonn