

Bergbaumonitoring im südlichen Ruhrgebiet

TOBIAS RUDOLPH, PETER GOERKE-MALLET, ARTJOM JANZEN,
ANDREAS MÜTERTHIES, KIAN PAKZAD, VOLKER SPRECKELS,
SEBASTIAN TEUWSEN, LUCAS VEHLING & CHIA-HSIANG YANG

Der verantwortungsbewusste Umgang mit alt- und nachbergbaulichen Strukturen umfasst den Aufbau und die Entwicklung eines integrierten Risikomanagementsystems. Daher ist es wichtig, aktuelle Informationen über die bergbaulichen Elemente, ihren Zustand und mögliche Auswirkungen auf die Tagesoberfläche mittels verschiedener Monitoringmethoden zu ermitteln. Die Überwachung mittels Methoden der satellitengestützten Erdbeobachtung generiert Sensordaten, die mit in-situ Datensätzen zu validieren sind.

Im Projekt „Gemeinsames Monitoring im Altbergbau“ wurden für die Altgesellschaften des Steinkohlenbergbaus im südlichen Ruhrgebiet in einer ersten Projektphase die Elemente des Alt- und Nachbergbaus, die möglichen Ereignisse und die Parameter zur Detektion und die Möglichkeit der Messung der Ereignisse integriert betrachtet. In der aktuell laufenden zweiten Projektphase werden Radardaten des EU-Copernicus Programmes genutzt, um Bodenbewegungen mittels radarinterferometrischer PSI- und DSI-Methoden zu detektieren. Hierbei kommen innovative Methoden zur frühzeitigen Integration der Oberflächennutzung zur Anwendung, um so eine bessere Klassifizierung und Signifikanzanalyse der Bodenbewegung zu erreichen. Der Auswerteprozess wird zusätzlich mit alt- und nachbergbaulichen in-situ Daten angereichert.

Das Projekt „Gemeinsames Monitoring im Altbergbau“ bietet somit zukünftig die Möglichkeit alt- und nachbergbauliche Fragestellungen im Rahmen eines integrierten Risikomanagementsystems zu beantworten.

Einleitung

Durch den Aufbau und die Weiterentwicklung von Systemen zum Risikomanagement im Alt- und Nachbergbau nehmen die Bergbaugesellschaften und die zuständigen Behörden ihre bergrechtliche Verantwortung für die Hinterlassenschaften des Bergbaus wahr. Die Beurteilung von Risiken setzt sowohl eine adäquate Datengrundlage als auch verlässliche Beobachtungen, Transparenz und ein Prozessverständnis der sich vollziehenden Prozesse voraus (MELCHERS, C. ET AL. 2019).

Gemeinsam mit den Altgesellschaften des Steinkohlenbergbaus an der Ruhr erarbeiten das Forschungszentrum Nachbergbau (FZN) der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA) und sein Partner die Firma EFTAS die wissenschaftlichen und praktischen Grundlagen für ein innovatives Monitoring für alt- und nachbergbauliche Elemente.

Das Forschungszentrum Nachbergbau hat vor diesem Hintergrund Überlegungen zu einem gemeinsamen Vorgehen aller Bergwerkseigentümer im Hinblick auf das Monitoring

des Alt- und Nachbergbaus angestellt. Das angedachte Ziel besteht in der Entwicklung eines abgestimmten, revierübergreifenden sowie einheitlichen Monitoring-Systems, welches im Weiteren auch die speziellen Belange des jeweiligen Bergwerkseigentümers berücksichtigt. Die Phase 1 beinhaltet die Untersuchung, Erarbeitung und Bewertung verfügbarer Verfahren der im Alt- und Nachbergbau zu monitorierenden Parameter und Elemente. In der Phase 2 werden die Verfahren, deren Potentiale besonders interessant sind, einer genaueren Analyse im Rahmen von Praxisanwendungen unterzogen. Eine wesentliche Aufgabe wird in der Untersuchung der Leistungsfähigkeit der satellitengestützten Fernerkundung bestehen (GOERKE-MALLET, P. ET AL. 2017).

Das Erdbeobachtungsprogramm Copernicus der Europäischen Union stellt den Nutzern kostenfreie räumlich und vor allem zeitlich hochaufgelöste Daten zur Verfügung, die zur Optimierung der Beobachtung der Tagesoberfläche im Umfeld von altbergbaulichen Elementen genutzt werden können. Für ein besseres Verständnis und zu einer zuverlässigen Bewertung der Fernerkundungsdaten bedarf es einer intensiven Einbeziehung der terrestrischen Referenz.

Insgesamt bietet insbesondere die Kombination unterschiedlicher Monitoring-Verfahren die Möglichkeit einer entscheidenden Verbesserung des Risikomanagements.

Untersuchungsgebiet

Das Projekt nimmt im Wesentlichen die altbergbaulichen Strukturen des Steinkohlenbergbaus im südlichen Ruhrgebiet in den Blick. In diesem großräumigen Testgebiet sind



Abbildung 1: Projektgebiet im südlichen Ruhrgebiet.

praktisch alle alt- und nachbergbaulichen Elemente zu finden, deren Zustand und Auswirkungen auf die Tagesoberfläche es mit satellitengestützten Verfahren zu untersuchen

gilt. In einem besonderen Fokus stehen die deckgebirgsfreien Bereiche des flözführenden Ruhrkarbons, also die Zone südlich der Bundesautobahn BAB40. Dieses Gebiet weist hinsichtlich seiner Eigenschaften sowohl ländliche als auch urbane Strukturen auf. Die Vielzahl der Tagesöffnungen des alten Bergbaus, die tagesnahen Abbauflächen und die hieraus resultierenden lokalen Ereignisse, wie zum Beispiel Tagesbruchvorkommen, Wasserausbrüche etc., bilden die Grundlage für die Bewertung der Anwendbarkeit der Methoden bei spezifischen Ereignisausprägungen.

Methodik

Durch den Aufbau und die Weiterentwicklung von Systemen zum Risikomanagement im Alt- und Nachbergbau nehmen die Altbergbaugesellschaften und die zuständigen Behörden ihre Verantwortung für die bergbaulichen Hinterlassenschaften wahr. Die Beurteilung von Risiken setzt verlässliche Beobachtungen, Transparenz und ein Verständnis der sich vollziehenden Prozesse voraus. Im Rahmen des Risikomanagements haben alle Bergwerkeigentümer bereits proaktive Monitoringmaßnahmen in ihren jeweiligen Zuständigkeitsbereichen etabliert.

Um im Rahmen des Projekts zu der Entwicklung eines abgestimmten, revierübergreifenden, einheitlichen Monitoring-Systems zu kommen, ist eine Prozess-Analyse erforderlich. In einem ersten Schritt wurde ein 3D-Monitoringkubus bestehend aus allen Altbergbauelementen und Ereignissen mit Relevanz für ein Monitoring, den zu beobachtenden Parametern und den potentiellen Monitoring-Verfahren aufgebaut. Neben Feldvergleichen, terrestrischen Vermessungen und in-situ-Messungen werden fernerkundliche und weitere Verfahren in die Betrachtung einbezogen.

Die Elemente des Alt- und Nachbergbaus mit Bedeutung für die Standsicherheit der Tagesoberfläche sind:

- Schächte
- Pingen
- Tagesüberhauen
- Tages- und oberflächennahe Abbauflächen
- Wasserlösestollen
- Stollenbäche (Röschen)
- Ausbisslinien Flöz/Tektonik
- Unstetigkeiten
- Bergehalden
- Schlammteiche
- Tagesanlagen

- Polderflächen
- Rohrleitungen, eingerdet
- Bunker
- Erdfälle

Besonderes Augenmerk benötigen die der tagesnahen Elemente aber auch die Unstetigkeiten im Untergrund, die sich bis an die Tagesoberfläche fortsetzen, da hierdurch unter anderem Bodenbewegungen entstehen können (ROSNER, P. ET AL. 2014).

Die Informationen lassen sich korrelieren und visualisieren sowie für jede Monitoringmethode einzeln darstellen (Abbildung 2). In der Horizontalebene des 3D-Monitoringkubus sind für jedes Verfahren die Bergbauelemente den Parametern gegenübergestellt und die Korrelation farbig hervorgehoben (Abbildung 5). Die Auswertung mündet in einem 3D Monitoringkubus (Abbildung 5). Die integrierte Analyse zeigt, dass die Anwendung von radarinterferometrischen Methoden die meisten Bergbauelemente abdeckt. Zusätzlich müssen die Fernerkundungsmethoden aber mit weiteren Methoden und in-situ Datensätzen erweitert und validiert werden.

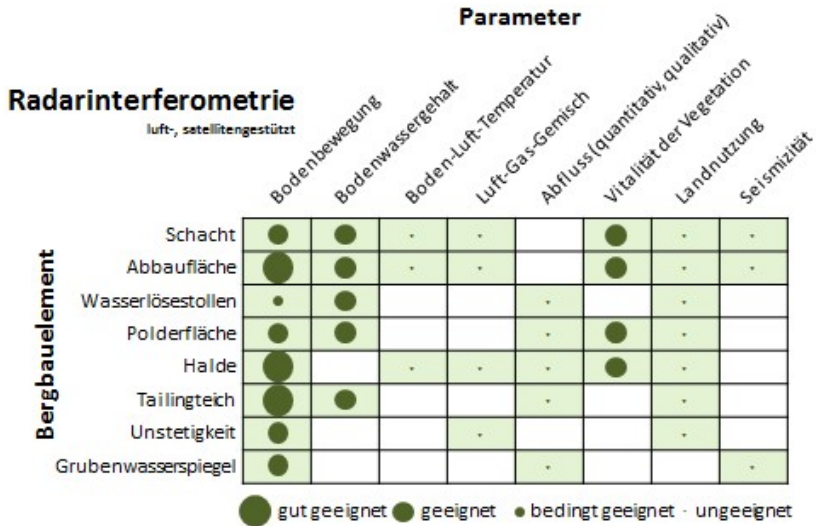


Abbildung 2: Zwei-dimensionale Darstellung des Monitoringverfahren Radarinterferometrie für die Bergbauelemente und Parameter.

Die Analyse der Monitoringverfahren führte zu einem Aufbau eines grundsätzlichen Arbeitsablaufes zur Anwendung fernerkundlicher Monitoringmethoden, denn diese Methoden bieten die größten Potentiale hinsichtlich der räumlich und zeitlich hochaufgelösten Überwachung großer Areale (Abbildung 3).

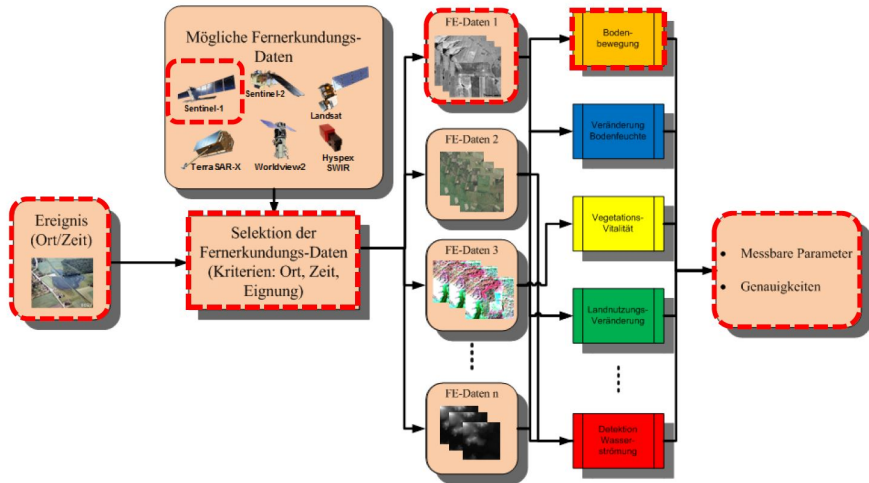


Abbildung 3: Potentiale der fernerkundlichen Monitoringmethoden im Bergbaumonitoring (rote Umrandung = Bodenbewegung).

So lag die Zielsetzung der 2. Projektphase auf die Detektion und Messung von Bodenbewegungen (Abbildung 3, rote Umrandung). Aufgrund der existierenden Limitationen in der flächendeckenden Anwendung von radarinterferometrischen Verfahren wurde das Untersuchungsgebiet in drei Landbedeckungsklassen unterteilt:

- Urbane Räume (versiegelte Flächen)
- Offene Flächen mit niedriger Vegetation (landwirtschaftliche Flächen)
- Waldgebiete

Durch die Firma EFTAS wurde ein erster Arbeitsablauf entworfen, um die Bodenbewegungen detektieren zu können (Abbildung 4). Hierzu wurden die PSI Methode (Persistent Scatterer Interferometry) für urbane Gebiete mit permanenten Rückstreuern (Persistent Scatterer) und die DSI Methode (Distributed Scatterer Interferometry) mit den SBAS Ansätzen (Small Baseline Subset) für nicht urbane Gebiete ohne Rückstreuer und mit niedriger Vegetation angewendet.

Aufgrund der hohen Vegetation in Waldgebieten und damit verbundenen geringen Durchdringung der hier verwendeten C-Band Radardaten sind diese Gebiete von der Auswertung

ausgenommen worden. Durch das FZN wurde darauf aufbauend eine integrierte Analyse der zusätzlichen Daten durchgeführt. Hier kamen vor allem

- Historische wie aktuelle markscheiderische Risswerke
- Historische wie aktuelle topographische Karten
- Spezialkartenwerke (u.a. Geologie, Baugrund, Hydrogeologie)
- Kartenwerke, Informationssysteme und Datensätze der BR Arnsberg, Abt. 6 Bergbau und Energie in NRW (u.a. Gefahren aus dem Untergrund)
- Kartenwerke, Informationssysteme und Datensätze des Geologischer Dienst NRW (GD NRW)
- Kartenwerke, Informationssysteme und Datensätze von GeoBasis NRW
- der Bodenbewegungsdienst (BBD) (BGR 2019)
- das gerade in Umsetzung befindliche Saarländische Bodenbewegungskataster Saar-BoBeKa (Spreckels, V. et al. 2020, „dieser Tagungsband“)
- das zukünftige Bodenbewegungskataster NRW (RIECKEN, J. ET AL. 2019) und zukünftige weitere länderspezifische Bodenbewegungsdienste
- die Datensätze ELWAS des MUNLNV NRW
- der Bürgerinformationsdienst der RAG (u.a. Vermessung/Grubenwasseranstieg) (<http://www.bid.rag.de/>)
- das Nachbergbau Archiv des Forschungszentrums Nachbergbau (FZN) an der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA)
- Kommunale Datensätze zur Klassifikation von Oberflächennutzung, Infrastruktur, obertägigen Einrichtungen usw.
- Datensätze der Altgesellschaften (u.a. terrestrische Vermessung (SPRECKELS, V. ET AL. 2016, SPRECKELS, V. ET AL. 2018) und zukünftig auch Multisensorreferenznetzwerke der RAG.

zur Anwendung. Zusätzlich wurde für jene Gebiete ein Feldvergleich durchgeführt, in denen Bodenbewegungen mittels Radarinterferometrie detektiert wurden und gleichzeitig eine Bergbaubeeinflussung aus der Datenanalyse erkennbar war.

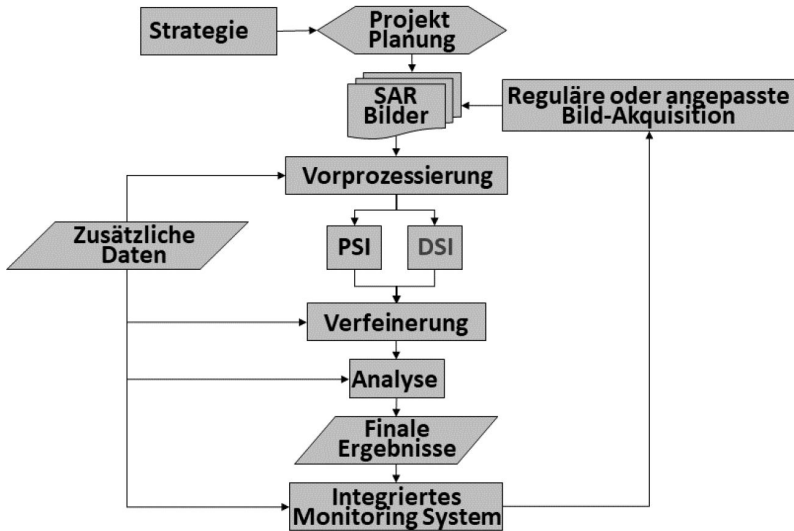


Abbildung 4: Arbeitsablauf Radarinterferometrie im Bergbaumonitoring.

Ergebnisse

In der Phase 1 des Projektes „Gemeinsames Monitoring im Altbergbau“ wurden zunächst die Zusammenhänge zwischen den bergbaulichen Elementen, den Ereignissen an der Tagesoberfläche, den zu messenden Parametern und den zur Verfügung stehenden Monitoringverfahren behandelt. Hierdurch ist ein einheitlicher 3D-Monitoringkubus aus den Bergbauelementen, den Parametern und den Monitoringverfahren entstanden (Abbildung 5).

Dies ermöglicht zukünftig die direkte Auswahl von Monitoringverfahren je nachdem, welcher Parameter oder welches Bergbauelement es zu beobachten gilt. Somit besteht das Ziel in der Entwicklung von Monitoringverfahren, die der individuellen Problemlage angepasst sind. Insofern ist auch die Auflistung der wesentlichen Elemente des Nachbergbaus und die Zuordnung der verfügbaren Verfahren oder Kombinationen von Verfahren hilfreich (Tabelle 1).

Dies ermöglicht zukünftig die direkte Auswahl von Monitoringverfahren je nachdem, welcher Parameter oder welches Bergbauelement es zu beobachten gilt. Somit besteht das Ziel in der Entwicklung von Monitoringverfahren, die der individuellen Problemlage angepasst sind. Insofern ist auch die Auflistung der wesentlichen Elemente des Nachbergbaus und die Zuordnung der verfügbaren Verfahren oder Kombinationen von Verfahren hilfreich (Tabelle 1). Die Gegenüberstellung zeigt, dass mit Hilfe von Photogrammetrie, Hyperspektral-Sensoren und der Radarinterferometrie wichtige altbergbauliche Elemen-

te beobachtet werden können (GOERKE-MALLET, P. ET AL. 2017 C, MELCHERS, C. ET AL. 2017). Damit müssen satellitengestützte Systeme näher in den Blick genommen werden. Die Ergänzung durch terrestrische Verfahren ist und bleibt aber von zentraler Bedeutung. So hat es in der letzten Zeit einige Entwicklungen und Ideen gegeben, die nachfolgend exemplarisch betrachtet werden (Tabelle 1).

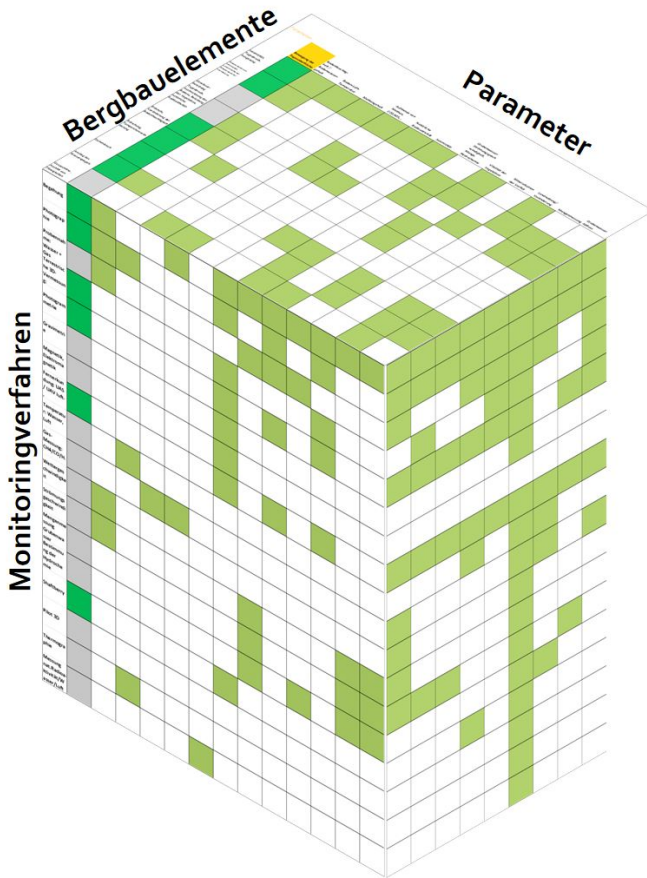


Abbildung 5: Exemplarische Darstellung des 3D-Monitoringkubus Altbergbau auf Basis der horizontalen Darstellung in Abbildung 2 (grün = Korrelation, weiß = keine Korrelation) (Sichtweise von außen!).

Tabelle 1: Zusammenfassende Darstellung der Bergbauelemente und resultierende Monitoring-Verfahren.

Bergbauelemente	Monitoring-Verfahren
Schächte	Schachtmonitoring (z.B. Mineberry (BERG, B.V. ET AL. 2019), Photogrammetrie, Laserscanning, Radarinterferometrie (SPRECKELS, V. ET AL. 2016))
Einwirkungsrelevante Abbaubereiche	Photogrammetrie, Laserscanning, Radarinterferometrie (SPRECKELS, V. ET AL. 2016)
Gasaustritte	Hyperspektrale Fernerkundung (GOERKE-MALLET, P. ET AL. 2017 C), Methane Remote Sensing LIDAR
Wasserlösestollen	Automatische Abflussmessung
Wasserkörper	Multi-Parameter-Sonde
Wasserkreislauf-Parameter inkl. Stoffausträge	Hyperspektrale Fernerkundung (GOERKE-MALLET, P. ET AL. 2017 C), Multitemporale Satellitenfernerkundung (Radar-optisch), in-situ Sensormessnetze inkl. gewässerchemische Messungen
Bergehalden	Thermographie, Photogrammetrie, Radarinterferometrie
Schlammteiche	Hyperspektral-Sensoren, Photogrammetrie, Radarinterferometrie
Bohrlöcher	Laserscanner, Radarsonde, Kamera

In der zweiten Projektphase wurden die Radardaten in Form von 114 Szenen des Sentinel-1 aus dem EU-Copernicus Programm für das südliche Ruhrgebiet in Hinblick auf Bodenbewegungen analysiert (Tabelle 2).

Hierzu wurden die Ergebnisse aus der PSI- und DSI-Auswertung verschnitten und analysiert, um eine flächendeckende Aussage für das südliche Ruhrgebiet zu erhalten. Die erste, grundsätzliche Detailbetrachtung und Zeitreihenanalyse einer Halde im östlichen Stadtgebiet von Bochum zeigte, dass die Bewegungen (Line-of-sight = LOS) als realistisch zu betrachten sind (Abbildung 6, Abbildung 7). Die Zusammenführung der PSI und DSI Auswertung sowie die Umrechnung in eine vertikale Bodenbewegung sind nun aktuelle Bearbeitungsschritte des Projektes. Des Weiteren werden im aktuellen Projekt für eine Anzahl an bekannten Tagesbrüchen, die im Beobachtungszeitraum aufgetreten sind, Detailanalysen durchgeführt und diese mit in-situ Datensätzen verschnitten.

Tabelle 2: Verfügbare und genutzte Sentinel-1-Szenen im Zeitraum vom 01.01. bis zum 30.06.2019.

Satellit	Bahnrichtung	Relativer Orbit	Anzahl Szenen
Sentinel-1A	Aufsteigend	88	15
		15	15
	Absteigend	139	13
		37	15
Sentinel-1B	Aufsteigend	88	14
		15	12
	Absteigend	139	15
		37	15
Summe			114

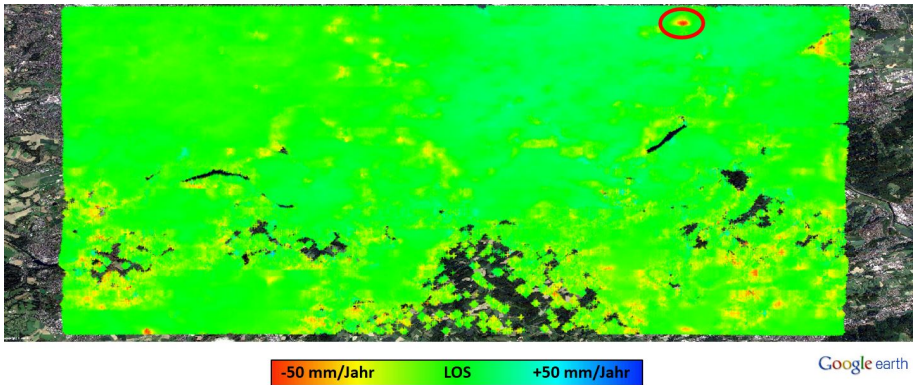


Abbildung 6: Darstellung der Bodenbewegung (LOS) für das Projektgebiet nach der DSI Methode (nach MÜTERTHIES, A. ET AL. 2019).

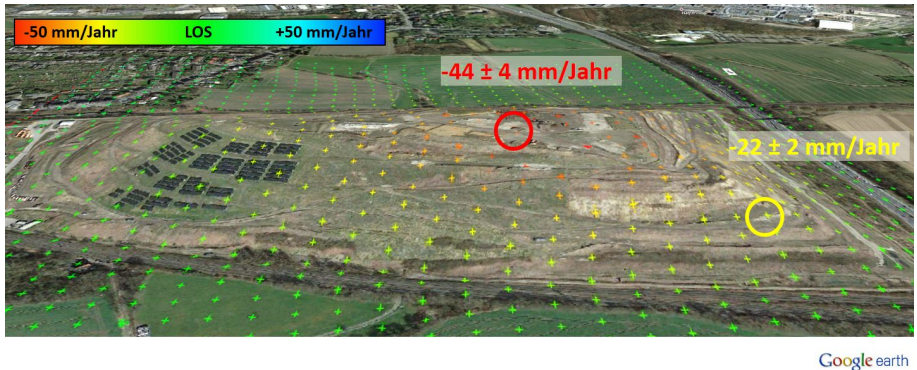


Abbildung 7: Detaillierte Darstellung der Bodenbewegung (LOS) für das Projektgebiet nach der DSI Methode (Lage siehe Abbildung 6) (nach MÜTERTHIES, A. ET AL. 2019).

Zusammenfassung

Die Verantwortung der Nachbergbaugesellschaften umfasst den verantwortungsbewussten Umgang mit alt- und nachbergbaulichen Elementen sowie die Entwicklung eines Risikomanagementsystems. Die erstmalige und umfassende Analyse der Bergbauelemente, der Parameter und der Monitoringmethoden zeigt, welche Potentiale als untersuchungswürdig eingestuft werden und mit welchen Sensoren und Verfahren diese Untersuchungen erfolgen könnten. Dazu zählen insbesondere die Daten des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus, hier insbesondere die der Sentinel-Satelliten. Das europäische Erdbeobachtungsprogramm ist auf Langfristigkeit und Verlässlichkeit ausgelegt. Wie der im Rahmen des Projektes anlässlich des Nationalen Forums für Fernerkundung und Copernicus im Jahr 2017 veranstaltete Workshop „Copernicus for Mining“ gezeigt hat, werden bergbauliche Belange zunehmend in den Blick genommen (GOERKE-MALET, P. ET AL. 2017 B).

Damit bestand im Zuge der Bearbeitung des Projektes die Notwendigkeit zur Nutzung der bei allen Projektbeteiligten vorliegenden Expertise im Rahmen eines intensiven Informationsaustausches, vor allem mit den Fachleuten aus dem Bereich der satellitengestützten Fernerkundung. Eine wesentliche Aufgabe der nächsten Zeit wird in der Klärung der Anforderungen und die Weiterverfolgung der verfügbaren und praxistauglichen Datensätze des EU-Copernicus-Programmes, aber auch darauf aufbauende Dienste, wie das Bodenbewegungskataster NRW (RIECKEN, J. ET AL. 2019), für ein Bergbaumonitoring bilden, um somit in einem Arbeitsablauf zu münden (Abbildung 8). Wobei diese Zusatzdienste, -daten sowohl in der Stufe 1, als auch in der Stufe 2 einfließen können.

Nicht nur aus fachlicher Sicht geht es dabei um die Schaffung von Transparenz bezüglich der satellitengestützten Messverfahren und die Beantwortung der Fragen nach der Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der erzielten Ergebnisse. Daher wurden in der Phase 2 des Projektes die Robustheit der Methoden und Verfahren intensiv untersucht.

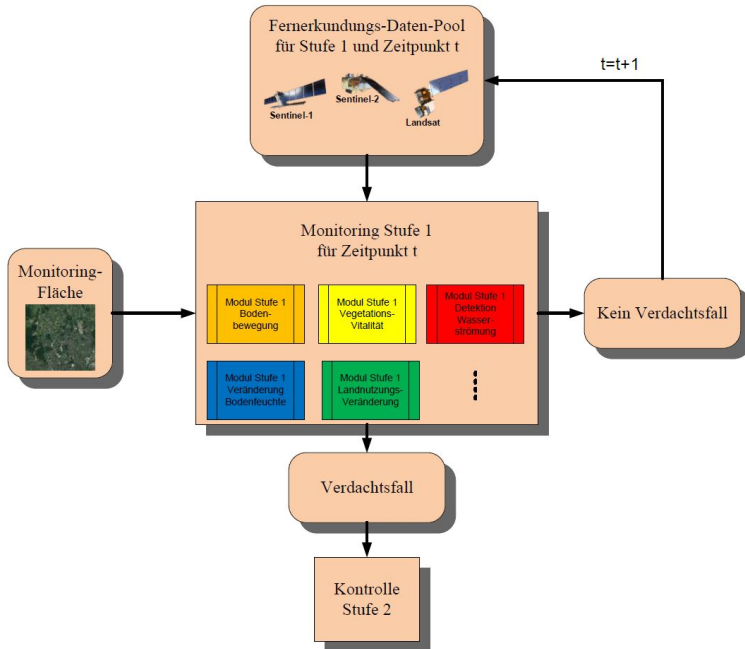


Abbildung 8: Darstellung des Arbeitsablaufs des zweistufigen Monitoring im Altbergbau.

Auf Basis der Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen sich Einschätzungen zur Leistungsfähigkeit eines zukünftigen flächendeckenden Monitoringverfahrens abschätzen. Dieses Verfahren kann voraussichtlich leisten:

- i. Flächenhaftes Monitoring von großräumigen Bodenbewegung als Grundlage einer Frühwarnfunktion für bergbaubedingte Bodenbewegungen (Stufe 1 eines Frühwarnsystems)
- ii. Präzisierung der Ursache der Bodenbewegungen durch eine detailliertere Messung unter Hinzuziehung terrestrischer Messmethoden in einer Stufe 2 nach erfolgter Frühwarnung
- iii. Detektion von Veränderungen des Wasserhaushaltes und dadurch verursachter Vegetationsschäden

Dieses Verfahren wird voraussichtlich nicht leisten:

- i. Vollumfängliche Frühwarnung bei lokalen Ereignissen, wie z. B. bei drohenden Tagesbrüchen. Tagesbrüche, die sich durch vorausgehende Bodenbewegungen an der

Erdoberfläche abzeichnen, können voraussichtlich detektiert werden. Eine Detektion von kleinräumigen Bodenbewegungen ist nur dann möglich, wenn die flächige Ausdehnung der Bodenbewegungen um ein Drei- bis Fünffaches größer als die räumliche Auflösung der aus den Satellitendaten abgeleiteten Messwerte sind. Bereiche, in denen z.B. durch stabile Bodenbedeckungen (Pflasterung etc.) vor dem Tagesbruch keine oder nur geringe Bodenbewegung erfolgt und keine in-situ Meßsensorik vorhanden ist (z.B. Mineberry), werden von C-Band Radarsensoren vermutlich nicht detektierbar sein, ebenso Bodenbewegungen in Gebieten mit geringer Kohärenz, wie z. B. unter dichter Vegetation im, wo eventuell zukünftige L-Band Radarsysteme gute Ergebnisse liefern könnten (WALTER, D. ET AL. 2008).

- ii. Grubenwassermonitoring (dort wo keine in-situ-Sensorik vorhanden ist)

Literatur

- BERG, B.V., SCHMACHTENBERGER, F., GRUCHALLA, B.V., WOLLNIK, F., KLASS, S., KOSCHARE, A. SCHNELL, S., SCHLIEBS, J. (2019): Mineberry – remote monitoring of abandoned shaft openings. S. 578-585, 9 Abb.; Proceedings of the 39th International Symposium „Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2019)“, June 4-6, 2019, Wroclaw, Poland
- BGR (2019): BodenBewegungsdienst Deutschland - BBD. [Online im Internet: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/GG_Fernerkundung/BodenBewegungsdienst_Deutschland/bodenbewegungsdienst_deutschland_node.html, Stand 8. Januar 2020]
- GOERKE-MALLET, P., BUSCH, W., MÜTERTHIES, A., MELCHERS, C., PERLT, J. (2017): Copernicus for Mining – über den Einsatz von Sentinel-Daten im Nachbergbau. In: Berg- und hüttenmännische Monatshefte 162 (10), S. 427-429.
- GOERKE-MALLET, P., MÜTERTHIES, A., MELCHERS, C. (2017 B): Copernicus for Mining. – 1 S. (Nationales Forum 2017, Berlin).
- GOERKE-MALLET, P., MELCHERS, C., MÜTERTHIES, A. (2017 C): Innovative monitoring measures in the phase of post-mining = Innovative Monitoring-Maßnahmen im (Nach-)Bergbau. In: Mining report 153 (3), S. 264-271.
- MELCHERS, C. (2019): Monitoring in der Nachbergbauphase. – 23. S. NACHBergbauzeit in NRW 2019, Bochum
- MELCHERS, C., GOERKE-MALLET, P., MÜTERTHIES, A., PAKZAD, K., TEUWSEN, S. (2017): Bericht zum Projekt „Gemeinsames Monitoring im Altbergbau“. – 56 S., 16 Abb., 2 Tab., 3 Anl. [Interne Projekt-Dokumentation]
- MÜTERTHIES, A., PAKZAD, K., YANG, C., TEUWSEN, S., GOERKE-MALLET, P., MELCHERS, C. (2019): Praxisbezogene Erfahrungen bei der Auswertung und Analyse von Radar-Daten der Sentinel-Satelliten unter besonderer Berücksichtigung der Monitoring-Aufgaben im Alt- und Nachbergbau. – Vortrag beim 20. Geokinematischer Tag 2019 – Freiberg.
- MÜTERTHIES, A., PAKZAD, K., YANG, C., TEUWSEN, S., GOERKE-MALLET, P., MELCHERS, C. (2019): Nutzung der Radarinterferometrie im geodätischen Raumbezug. S. 354-361, 9 Abb., 2 Tab.

- ROSNER, P., HEITFELD, M., SPRECKELS, V., VOSEN, P. (2014): Auswirkungen von Geländehebungen im Zuge des Grubenwasseranstiegs im Ruhrrevier. S. 153-177, 14 Abb.; RuhrGeo Tag 2014 - Ruhr Universität Bochum, Germany.
- SPRECKELS, V., SCHLIENKAMP, A., GREIWE, A., EBERHARDT, L. (2016): Eignung von ALS, Aero- und UAS-Photogrammetrie zur Früherkennung und Erfassung von Tagesbrüchen. S. 97-112, 17 Abb.; 36. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, Bern, Bd 25.
- SPRECKELS, V., BECHERT, S., SCHLIENKAMP, A., DROBNIOWSKI, M., SCHULZ, M., SCHÄFER, F. (2018): Aufbau einer GNSS Referenzstations-Infrastruktur für das GeoMonitoring von Bodenbewegungen. S. 241-257, 8 Abb., 3 Tab.; GeoMonitoring 2018, Clausthal-Zellerfeld.
- WALTER, D., WEGMÜLLER, U., SPRECKELS, V., BUSCH, W. (2008): Application and evaluation of ALOS PALSAR data for monitoring of mining induced surface deformations using interferometric techniques. Proc. of ALOS PI Symposium, 3-7 Nov 2008, Island of Rhodes, Greece, ESA SP-664 (CD-ROM), H. Lacoste & L. Ouwehand (ed.), ESA Communication Production Office ESTEC, Noordwijk, The Netherlands.

Kontakt

TOBIAS RUDOLPH

PETER GOERKE-MALLET

ARTJOM JANZEN

Forschungszentrum Nachbergbau
Technische Hochschule Georg Agricola
Herner Str. 45
44545 Bochum

ANDREAS MÜTERTHIES

KIAN PAKZAD

SEBASTIAN TEUWSEN

CHIA-HSIANG YANG

EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH
Oststraße 2-18
48145 Münster

VOLKER SPRECKELS

RAG Aktiengesellschaft
Im Welterbe 10
45141 Essen

LUCAS VEHLING

E.ON SE
Brüsseler Platz 1
45131 Essen