Innovative Monitoring-Verfahren im Nachbergbau: Überblick, Potentiale, Erfahrungen

Peter Goerke-Mallet[1], Kian Pakzad[2], Nusred Cavdar[1], Christian Melchers[1], Andreas Müterthies[2], James Perlt[1]

[1] Technische Hochschule Georg Agricola, Forschungszentrum Nachbergbau, Bochum
[2] EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Münster

ZUSAMMENFASSUNG:

Der verantwortungsbewusste Umgang mit alt- und nachbergbaulichen Strukturen umfasst den Aufbau und die Entwicklung eines Risikomanagementsystems. Aktuelle Informationen über die Stabilität der bergbaulichen Objekte, ihren Zustand und mögliche Auswirkungen auf die Tagesoberfläche werden durch ein Monitoringprogramm bereitgestellt.

Der Beitrag behandelt die Zusammenhänge zwischen den bergbaulichen Elementen/Objekten, den Ereignissen an der Tagesoberfläche, den zu messenden Parametern und den heute zur Verfügung stehenden Monitoringverfahren. In einem besonderen Fokus stehen alle Verfahren, deren Potentiale als besonders untersuchungswürdig eingestuft werden. Dazu zählen insbesondere die Daten des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus.

Die bisher gewonnenen Erfahrungen bei der Verschneidung der radarinterferometrischen, multi- und hyperspektralen Daten u.a. der Sentinel-Satelliten, mit den Ereignissen an alt- und nachbergbaulichen Elementen werden beschrieben. Neben der Analyse von Bodenbewegungsprozessen kommt den Veränderungen des Bodenwassergehaltes, der Vitalität der Vegetation und der Landnutzung eine besondere Bedeutung zu.

ABSTRACT

The responsible handling of old- and post-mining structures encompasses the installation and the development of a risk management system. Up-to-date information about the mining objects` stability, their condition and possible effects to the ground surface are provided by a monitoring program.

This contribution deals with the contexts between the mining objects, the effects to the ground surface, the parameters to be measured and the currently available monitoring methods. The methods which are recognized as extraordinary useful, shall be emphasized

within this paper. Among these, the data of the European Earth observation program Copernicus are of a special interest.

The to date gained experiences by merging of radar interferometrical, multi- and hyperspectral data with the old- and post-mining elements are being described. Besides the analysis of ground movement processes the variations of soil water, the vegetation's vitality and the land use are focussed.

1 Einleitung

Mit der Beendigung der Steinkohlengewinnung in NRW wird ab 2019 die RAG Stiftung die Finanzierung für die Bewältigung der Ewigkeitsaufgaben des deutschen Steinkohlenbergbaus in den Revieren an Ruhr, Saar und Ibbenbüren übernehmen (Abb. 1).

Ewigkeitsaufgaben:

- Grubenwasserhaltung
- Poldermaßnahmen
- Grundwasserreinigung

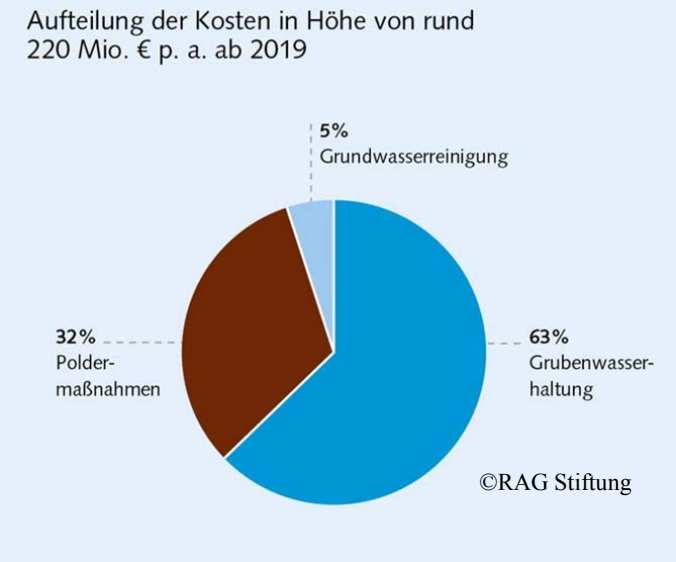


Abb. 1: Ewigkeitsaufgaben der RAG Stiftung.

Es ist ein besonderer Ausdruck der Verantwortung der RAG Stiftung, dass sie schon im Jahr 2013 die Stiftungsprofessur für die Forschung im Nachbergbau und den Aufbau und die Fortführung des Studiengangs „Geoingenieurwesen und Nachbergbau“ ins Leben gerufen hat.

Das im Jahr 2015 gegründete Forschungszentrum Nachbergbau der Technischen Hochschule Georg Agricola erarbeitet gemeinsam mit seinen Partnern die wissenschaftlichen Grundlagen für einen nachhaltigen Grubenwasseranstieg in den genannten Revieren. Es versteht sich hierbei als zentrale Wissensmanagement- und Transfer-Einrichtung (Goerke-Mallet et al. 2016).

Die Forschungsprojekte haben die Verbesserung des System- und Prozessverständnisses zum Ziel. Auch wenn man als Markscheider, Hydrogeologe und Wissenschaftler ein gespanntes Verhältnis zu dem in allen Bergbauphasen verwendeten Spruch „Vor der Hacke ist es duster“ haben sollte, so bringt er doch die Problematik der Schaffung von Transparenz und Verständnis zum Ausdruck. Der Lebenszyklus von Bergwerken weist in der Gewinnungsphase ein relatives Maximum an Erkennt-

nisfähigkeit auf. Die Explorations- und insbesondere die Nachbergbauphase sind aber durch eingeschränkte Möglichkeiten zur Beobachtung ablaufender Prozesse gekennzeichnet.

Durch den Aufbau und die Weiterentwicklung von Systemen zum Risikomanagement im Alt- und Nachbergbau nehmen die Bergbaugesellschaften und die zuständigen Behörden ihre Verantwortung für die Sicherheit der Tagesoberfläche wahr. Die Beurteilung von Risiken setzt verlässliche Beobachtungen, Transparenz und ein Verständnis der sich vollziehenden Prozesse voraus.

Es gab also gute Gründe, sich im Rahmen eines Forschungsprojektes gemeinsam mit den Altgesellschaften im Ruhrrevier intensiv um Monitoringverfahren im Nachbergbau zu kümmern.

Die Steinkohlen-Reviere in NRW zeichnen sich durch ein erhebliches Potential an altbergbaulichen Strukturen und große Flächen aus. Damit verbunden sind Gefahren für die Sicherheit der Tagesoberfläche. Der Umfang des Altbergbaus macht allerdings eine unmittelbare und vollumfängliche Sanierung nicht möglich (Hager und Wollnik 2014).

Im Rahmen des Risikomanagements haben alle Bergwerkseigentümer Monitoringmaßnahmen in ihren jeweiligen Zuständigkeitsbereichen etabliert. Das Ziel einer großflächigen Kontrolle und Analyse des Verhaltens der altbergbaulichen Objekte und ihres Umfeldes wird damit proaktiv verfolgt.

Mit der Einstellung der Kohleproduktion am Ende des Jahres 2018 werden die Planungen der RAG AG zur langfristigen Grubenwasserhaltung schrittweise in die Realität umgesetzt. Insbesondere im Ruhrrevier können davon auch die Grubenfelder der anderen Bergwerkseigentümer beeinflusst werden.

Das Forschungszentrum Nachbergbau hat vor diesem Hintergrund Überlegungen zu einem gemeinsamen Vorgehen aller Bergwerkseigentümer im Hinblick auf das Monitoring des Altbergbaus angestellt. Das angedachte Ziel besteht in der Entwicklung eines abgestimmten, revierübergreifenden, einheitlichen Monitoring-Systems.

In einem ersten Schritt geht es um den Aufbau einer Matrix bestehend aus allen Altbergbau-Elementen und Ereignissen mit Relevanz für ein Monitoring, den zu beobachtenden Parametern und den potentiellen Monitoring-Verfahren. Neben anthropogenen Inaugenscheinnahmen, terrestrischen Vermessungen und in-situ-Messungen werden fernmesstechnische Verfahren und weitere innovative Ansätze in die Betrachtung einbezogen.

Anschließend sollen dann die Verfahren, deren Potentiale besonders interessant sind, einer genaueren Analyse im Rahmen von Praxisanwendungen unterzogen werden. Eine wesentliche Aufgabe besteht in der Untersuchung der Leistungsfähigkeit der satellitengestützten Fernerkundung.

Das Erdbeobachtungsprogramm Copernicus der Europäischen Union stellt den Nutzern kostenfreie räumlich und vor allem zeitlich hochaufgelöste Daten zur Verfügung, die zur Optimierung der Beobachtung des Altbergbaus genutzt werden können. Für ein besseres Verständnis der Fernerkundungsdaten bedarf es einer intensiven Einbeziehung der terrestrischen Referenz.

Nach Einschätzung des Forschungszentrums bietet insbesondere die Kombination unterschiedlicher Monitoring-Verfahren die Möglichkeit einer entscheidenden Verbesserung des Risikomanagements.

2 Die Matrix: Elemente und Parameter

Die Elemente bzw. Objekte des Alt- und Nachbergbaus mit Bedeutung für die Sicherheit der Tagesoberfläche sind:

- Schächte
- Pingen
- Tagesüberhauen
- Tages- und oberflächennahe Abbauflächen
- Wasserlösestollen
- Stollenbäche
- Vorfluter
- Ausbisslinien Flöz/Tektonik
- Unstetigkeiten
- Bergehalden
- Schlammteiche
- Tagesanlagen
- Polderflächen
- Rohrleitungen, eingeerdet
- Bunker
- Erdfälle
- .....

Die aufgeführten Elemente erzeugen Ereignisse, die Gegenstand der Beobachtungen sind. Aus den Ereignissen lassen sich dann die Messgrößen oder Parameter ableiten. Dieser zweite Schritt dient dem Ziel, ein für alle beteiligten Fachdisziplinen einheitliches Verständnis der Phänomene zu erzeugen.

Auf der Basis dieser Überlegung lassen sich folgende Parameter oder Messgrößen ableiten:

- Bewegung der Tagesoberfläche
- Bodenfeuchtigkeit / Bodenwassergehalt
- Boden-Luft-Temperatur
- Auftreten von Methan, CO_2, H_2S, ...
- Grubenwasser: Strömungsgeschwindigkeit, Menge, Hydrochemie
- Grubenwasser Abfluss
- Mineralisation der Vorflut
- Vitalität der Vegetation
- Seismizität
- Landnutzung/Veränderung
- Natürliche Radioaktivität
- ....

3 Monitoring-Verfahren

Analysiert man die verfügbare Fachliteratur, so stößt man erwartungsgemäß auf eine Vielzahl von Verfahren. Diese befinden sich unter den Aspekten der Einsetzbarkeit in der Praxis und der Aussagefähigkeit der Messdaten in sehr unterschiedlichen Reifegraden. Sinnvoll erscheint auch eine Bewertung hinsichtlich der Parameter Kosten und Robustheit.

Angesichts der Vielfalt an Verfahren liegt eine Clusterung nahe:

- In-Situ-Verfahren,
- luftgestützte und
- satellitengestützte Verfahren.

Die Bündelung kann aber auch auf den zu beobachtenden Raum abheben:

- Luftraum
- Tagesoberfläche
- Untergrund

Für die Überwachung des Luftraums stehen die Systeme UAS, Ballon, Flugzeug und Satellit zur Verfügung. Die Tagesoberfläche kann durch anthropogene Aktivitäten (u.a. Begehungen), automatische Messsysteme und durch luft- bzw. satellitengestützte Systeme beobachtet werden. Für das Monitoring der Prozesse im Untergrund kommen anthropogene Aktivitäten (u.a. Befahrungen), automatische Messsysteme und bohrlochgängige Systeme in Betracht.

Die folgende Aufstellung der Monitoring-Verfahren soll exemplarisch die vorstehenden Ausführungen konkretisieren:

- Begehung
- Photographie
- Probenahme: Wasser + Gas
- Terrestrische 3D-Vermessung: Nivellement/Tachymetrie/Laser-Scan
- Photogrammetrie
- Gravimetrie
- Magnetik, Elektromagnetik
- Fernerkundung: UAS / UAV / luft-, satellitengestützt
- Thermographie: Boden, Wasser, Luft
- Gas – Messung : CH_4 / CO / H_2S / CO_2
- Wettergeschwindigkeit
- Strömungsgeschwindigkeit
- Abflussmessung Grubenwasser
- Seismik
- …….

Das Ziel besteht in der Entwicklung von Monitoring-Verfahren, die der individuellen Problemlage angepasst sind. Insofern kann auch die Auflistung der wesentlichen Elemente des Nachbergbaus

und die Zuordnung der verfügbaren Verfahren oder Kombinationen von Verfahren hilfreich sein (Tabelle 1):

Tab. 1: Elemente versus Monitoring-Verfahren

Elemente	Monitoring-Verfahren
Schächte	Mineberry, Laserscanner, Radarinterferometrie
Tagesbruchgefährdete Abbaubereiche	Laserscanner, Radarinterferometrie
Gasaustritte	Hyperspektral-Sensoren, Lasermessungen
Wasserlösestollen	Automatische Abflussmessung
Wasserkörper	Multi-Parameter-Sonde
Wasserkreislauf-Parameter / Stofftransporte	Hyperspektral-Sensoren
Bergehalden	Thermographie, Radarinterferometrie
Schlammteiche	Hyperspektral-Sensoren, Radarinterferometrie
Bohrlöcher	Laserscanner, Radarsonde, Kamera

3.1 Terrestrische Verfahren: Gravimetrie

Die Gravimetrie wird hier als ein Beispiel für weniger bekannte terrestrische Monitoring-Verfahren in den Blick genommen. Im Rahmen einer Masterarbeit wurde das Potential von gravimetrischen Messungen näher untersucht. Zum Einsatz kam ein Burris Gravimeter der Firma ZLS (Abb. 2).



Abb. 2: Burris Gravimeter (Foto Perlt/Cavdar)

Das Prinzip der Gravimetrie beruht auf der Messung der Schwerebeschleunigung (kurz: Schwere). Bei Feldmessungen sind Genauigkeiten von 3µGal (relativ) oder 1-10 µGal (absolut) erreichbar. Eine Höhenänderung von 1 cm entspricht bereits einer Schwerewertänderung von 3,086 µGal.

Absolutgravimeter messen den absoluten Wert der Schwerebeschleunigung. Daher sind sie an je-

dem Ort, auch außerhalb der Erde ohne weitere Kalibrierung einzusetzen.

Das Burris Gravimeter ist ein Relativgravimeter. Es arbeitet nach dem Prinzip der newtonschen Federwaage. Relativgravimeter messen die Veränderung der Schwerebeschleunigung gegenüber einem Nullpunkt bzw. Referenzpunkt bekannter Schwere.

Der potentielle Einsatz eines Gravimeters im Monitoring basiert auf dem Parametern Masseüberschuss bzw. Massendefizit. Durch diese Parameter zeichnen sich u.a. tagesnahe Grubenbaue sowie unvollständig und vollständig gesicherte Schächte aus.

Gemessen wurden mikrogravimetrische Profile über dem Grubengebäude des Deutschen Bergbau-Museums in Bochum, das sich in geringer Teufe befindet.

Die Interpretation und kritische Würdigung der Ergebnisse lässt den Schluss zu, dass eine Korrelation mit dem tatsächlichen Verlauf der untertägigen Hohlräume nachweisbar ist. Das Fazit auf Basis bisheriger Erfahrung ist, dass die Gravimetrie Anhaltspunkte für die genannten Parameter liefern kann. Weiter untersucht werden soll die Kombination mit anderen geophysikalischen Verfahren

3.2 Satellitengestützte Fernerkundung

Neben der Analyse von Bodenbewegungsprozessen kommt den Veränderungen des Bodenwassergehaltes, der Vitalität der Vegetation und der Landnutzung eine besondere Bedeutung zu.

Es wurden verschiedene Testräume definiert, die unterschiedliche Landnutzungsarten beinhalteten. Die Testräume wurden genutzt, um eine Beschreibung der Anwendbarkeit der unterschiedlichen Fernerkundungsverfahren durchführen zu können. Sie sollten in dieser Hinsicht eine einheitliche Aussage erlauben. Mit diesem Ziel wurden drei Testräume definiert, die in Abb. 3 exemplarisch dargestellt sind.



Abb. 3: Definierte Teilräume (© EFTAS)

Es hat sich gezeigt, dass verschiedene Verfahren aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften in diesen Gebieten unterschiedlich gut funktionieren können. Aus dem Grunde sind allgemeingültige Aussagen ohne Bezug zu den Gebietseigenschaften nicht möglich. Daher wurden in die Untersuchungen jeweils Bezüge zu den definierten Testräumen erstellt.

Der erste Testraum „bebautes Gebiet“ beinhaltet die klassischen Innenstadtgebiete, die sich charakterisieren lassen durch eine enge Bebauung, eine geringere Dichte an Vegetation, eine große Anzahl

an Straßen und größere Höhenunterschiede durch den Wechsel von Gebäuden und Straßen. Zudem ist in den Gebieten mit größeren Flächen zu rechnen, die durch Gebäude verdeckt sind. Solche Gebiete haben üblicherweise eine hohe Inhomogenität.

Der zweite Testraum ist „Wald“. Die wesentliche Eigenschaft ist der hohe Vegetationsanteil und eine in weiten Teilen ähnlich geartete Struktur. Der Boden ist durch Fernerkundungssensoren bei dichtem Wald nur schwer oder gar nicht von oben beobachtbar und damit verdeckt.

Der dritte Testraum ist „offene Landschaft“. Hierunter werden die Gebiete gefasst, in denen nur geringe Mengen an Bebauungen vorhanden sind. Vorstadtgebiete und landwirtschaftlich geprägte Flächen fallen darunter. Die Homogenität der Gebiete ist höher als bei urbanen Strukturen.

Im Folgenden werden für einige relevante Bereiche die Methoden dargestellt und entsprechend der zugrundeliegenden Strategie eingruppiert.

Detektion von Bodenbewegungen mit Hilfe der Radarinterferometrie

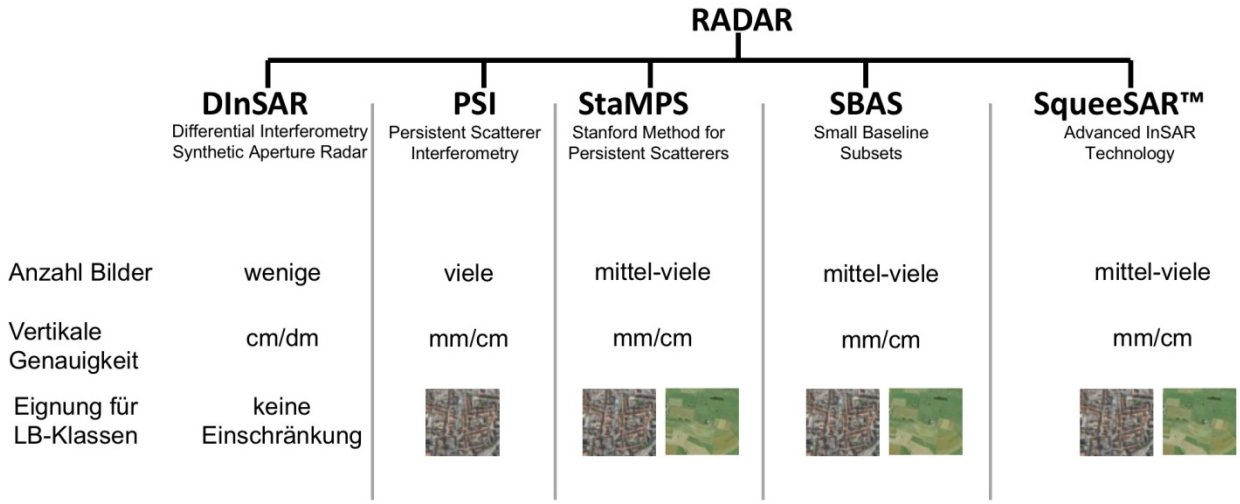


Abb. 4: Verfahren zur Detektion von Senkungen.

In Abb. 4 sind einige Verfahren dargestellt, bei denen sich mittels Radardaten Bodenbewegungen oder Bodendeformationen detektieren und messen lassen. Sie unterscheiden sich in der Anzahl der benötigten Radaraufnahmen, den Genauigkeiten, die erreichbar sind und den Gebieten, in denen sie angewendet werden können. Es ist zu beachten, dass streng genommen nur eine Messung von Bodenbewegungen (eigentlich Bodendeformationen) entlang der Radar-Signalrichtung (line-of-sight) möglich ist. Mit DInSAR-Verfahren (Differential Interferometry Syntetic Aperture Radar) werden Höhenveränderungen aus den Phasendifferenzen der unterschiedlichen Beobachtungszeitpunkte ermittelt (Gabriel et al. 1989). Entsprechend hängen die Genauigkeiten, die erreichbar sind, auch von der Wellenlänge der verwendeten Radardaten ab, so wie auch bei den anderen Verfahren. DInSAR-Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass Radardaten nur weniger Mess-Zeitpunkte benötigt werden. Es können aber auch im Vergleich zu den anderen hier dargestellten Verfahren nur geringere Genauigkeiten erreicht werden.

Eine deutlich höhere Genauigkeit lässt sich mit dem PSI-Verfahren (Persistent Scatterer Interferometry) erreichen (Ferretti et al., 2001). Das Verfahren gehört zu den am häufigsten eingesetzten im

Bereich der Bodenbewegungsanalyse. Dazu werden stabile Rückstreuer (Persistent Scatterer) über einen längeren Zeitraum in vielen Radardaten beobachtet. Diese Rückstreuer kommen in der Landschaft vor und sind insbesondere in bebauten Gebieten in hoher Zahl beobachtbar. Ein Beispiel für Persistent Scatterer bilden Gebäudeecken, technische Konstruktionen u. ä. Es können aber auch künstliche Reflektoren in die Landschaft gesetzt werden, die besonders gute Rückstreueigenschaften aufweisen (Corner Reflektoren). Da das Verfahren auf die Persistent Scatterer angewiesen ist, kann es auch nur dort eingesetzt werden, wo diese Rückstreuer in ausreichender Zahl vorhanden sind. Dies trifft insbesondere für urbane Räume zu. Um die Methode einsetzen zu können, ist ein Satz von Radardaten mit vielen Beobachtungszeitpunkten notwendig. Zudem können nur Bodenbewegungen detektiert werden, die einen vorher modellierten zeitlichen Verlauf aufweisen, z.B. ein lineares Verhalten.

In Gebieten, die keine hohe Dichte an Radarrückstreuern aufweisen, verwenden die übrigen dargestellten Verfahren Auswerte-Strategien, um mit weniger Rückstreuern trotzdem die Bodenbewegungen messbar zu machen (Hooper, 2008). Die Genauigkeiten sind allerdings im Vergleich zum PSI-Verfahren geringer, die Gebiete, in denen sie einsetzbar sind, aber umfangreicher. So können die Verfahren außer in Innenstadtbereichen auch in weiten Teilen in der offenen Landschaft eingesetzt werden.

Bestimmung des Bodenwassergehaltes

In Abb. 5 sind Methodengruppen dargestellt, die zur Bestimmung des Bodenwassergehaltes mit Hilfe von Radardaten verwendet werden können.

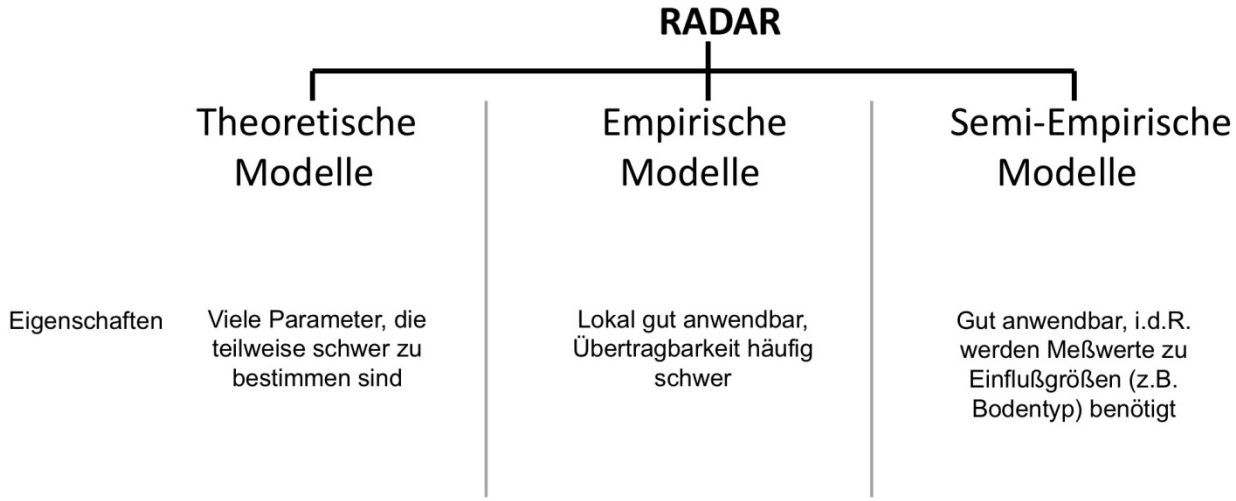


Abb. 5: Verfahren zur Detektion des Bodenwassergehaltes.

Diese Methoden basieren auf dem Einfluss, den der Bodenwassergehalt auf die Rückstreuung des Radarsignals hat. Der Rückstreukoeffizient σ des Radarsignals wird von unterschiedlichen Größen beeinflusst, die sowohl von den Sensoreigenschaften abhängen, als auch von den Flächeneigenschaften, an dem die Rückstreuung erfolgt. Die Einflussgrößen des Sensors sind die Polarisation, die Wellenlänge und der Einfallswinkel zur Rückstreufläche. Die Einflussgrößen an der Rückstreufläche sind Vegetation, Bodenrauhigkeit, Bodentyp und Dielektrizität.

Die Dielektrizität wird vom Bodenwassergehalt bestimmt. Damit ist die Voraussetzung gegeben, um eine Messung des Bodenwassergehaltes durchzuführen, da dieser das Signalverhalten beeinflusst. Die Herausforderung besteht darin, die verschiedenen anderen Einflussgrößen heraus zurechnen. Dazu müssen i.d.R. mehrere Parameter vor Ort bestimmt und in die Berechnung eingeführt werden. In Abb. 5 sind verschiedene Modellgruppen, die dazu verwendet werden können, dargestellt. Die Semi-Empirischen Modelle (D'Urso und Minacapilli, 2006) zeigen normalerweise eine gute Anwendbarkeit, da sich der Aufwand, Messwerte zu Einflussgrößen aufzunehmen, in Grenzen hält und die Übertragbarkeit auf verschiedene Gebiete trotzdem gegeben ist.

Detektion von Vernässungsgebieten

Verfahren zur Detektion von Vernässungsgebieten sind in Abb. 6 dargestellt. wobei es hier eine Verbindung zur Detektion der Vegetationsvitalität gibt.

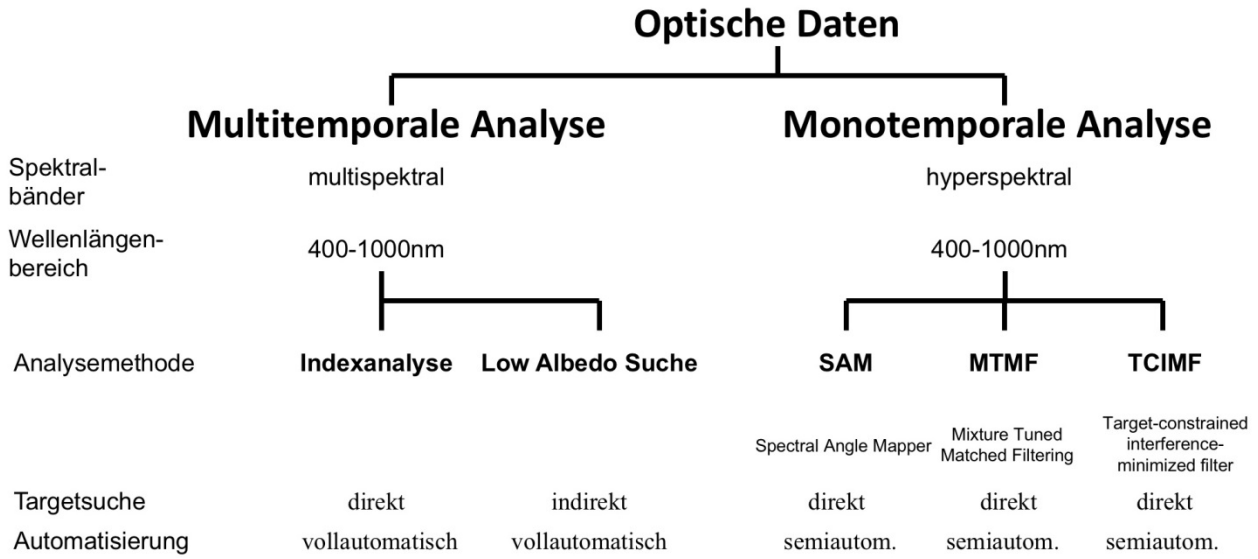


Abb. 6: Verfahren zur Detektion von Vernässungsbereichen

Die hier beschriebenen Verfahren arbeiten mit optischen Bilddaten. Es wird unterschieden zwischen multitemporalen und monotemporalen Verfahren. Bei den multitemporalen Verfahren werden Bilder verschiedener Zeitpunkte analysiert und Änderungen von Flächen hinsichtlich bestimmter Eigenschaften über die Zeit beobachtet. Vernässungen werden somit über die Beobachtung zeitlicher Änderungen detektiert. Über eine „Low Albedo Suche" (Bochow et al., 2012) werden Wasserflächen detektiert und ihre zeitliche Ausdehnung als Zeichen einer Vernässung analysiert. Die Detektion kann auch erfolgen, indem eine Vernässung direkt über Änderungen der Vegetationsvitalität gefunden wird. Dazu werden verschiedene Indizes berechnet (Garcia Millan et al., 2013), aus denen auf die Vitalität der Vegetation geschlossen werden kann und Veränderungen erfasst. Auf der anderen Seite können hyperspektrale Bilder verwendet werden, um direkt vernässte Bereiche über ihre spektrale Signatur zu detektieren. Dazu gibt es unterschiedliche Verfahren, von denen in Abb. 6 beispielhaft drei dargestellt worden sind: SAM, MTMF und TCIMF.

Eine Verknüpfung der mono- und multitemporalen Verfahren kann als eine sinnvolle Strategie verwendet werden, um die Vorteile beider Verfahren zu vereinen.

4 Bewertung der Ergebnisse, Erfahrungen

Die systematische Bearbeitung der alt- und nachbergbaulichen Elemente/Objekte, der Erscheinungsbilder, der Messgrößen und der Monitoringverfahren bildet eine wesentliche Grundlage zur Optimierung des Risikomanagements.

Es gilt, die Vielzahl der Monitoring-Maßnahmen gezielt auf die jeweilige Problemstellung zu fokussieren und die Ergebnisse unterschiedlicher Verfahren miteinander und mit der anthropogenen Expertise zu kombinieren. Genau darin besteht der innovative Ansatz.

Wie erste Untersuchungen gezeigt haben, lassen sich die im Rahmen des Copernicus-Programms verfügbaren Daten in Wert setzen. Die Überwachung von Bodenbewegungen in Folge von Hangrutschungen, Erdfällen, Tagesbrüchen oder Schwankungen des (Gruben-) Wasserstandes ist nahezu praxisreif. Zudem bestehen Potentiale zur Erfassung von Hangrutschungen, Erdfällen, Tagesbrüchen oder Schwankungen des Wasserstandes. Änderungen des Flurabstandes mit Auswirkungen auf die Vegetation lassen sich ebenso beobachten und interpretieren.

Die bisher gewonnenen Erfahrungen bei der Verschneidung der radarinterferometrischen, multi- und hyperspektralen Daten u.a. der Sentinel-Satelliten, mit den Ereignissen an alt- und nachbergbaulichen Elementen sind vielversprechend. Es sind aber noch zahlreiche Tests zu absolvieren, bevor die noch zu entwickelnden Applikationen den Anwendern für das laufende Monitoring zur Verfügung gestellt werden können.

Wie der auf der Nationalen Tagung für Fernerkundung und Copernicus 2017 in Berlin veranstaltete Workshop „Copernicus for Mining“ gezeigt hat, müssen die Aspekte Messgenauigkeit, Verlässlichkeit und Reproduzierbarkeit der mit satellitengestützter Fernerkundung ermittelten Informationen intensiv betrachtet und ggf. präzisiert werden. Die Schaffung von Transparenz bezüglich der Messverfahren entspricht nicht nur der geodätisch-markscheiderischen Auffassung, sie ist auch erforderlich, um das Vertrauen der Nutzer in die satellitengestützte Fernerkundung zu gewinnen bzw. zu erhalten.

5 Fazit und Ausblick

Bergbauliche Aktivitäten beeinflussen oftmals große Areale, die mit Methoden der Fernerkundung leistungsfähig beobachtet werden können. Seit kurzem bietet das Europäische Programm zur Erdbeobachtung – genannt Copernicus – die Möglichkeit, mit innovativen Ansätzen das Monitoring sowohl in der Gewinnungs- als auch in der Nachbergbau-Phase zu betreiben. Die Verknüpfung der Daten der satellitengestützten Sensoren, also der Weltraum-Komponente, mit weiteren Daten aus der In-Situ-Komponente ermöglicht eine räumlich und zeitlich hochaufgelöste Darstellung der Umweltauswirkungen bergbaulicher Prozesse.

Das Forschungszentrum Nachbergbau erarbeitet im Rahmen eines laufenden Forschungsvorhabens einen umfassenden Katalog der relevanten aktuell verfügbaren Monitoring-Verfahren für den Alt- und Nachbergbau. Ziel ist es ferner, die Einsetzbarkeit und Leistungsfähigkeit der einzelnen Verfahren auf der Basis publizierter Informationen zu beschreiben. In einem zweiten Schritt sollen ausgewählte Verfahren an Praxisfällen getestet werden. Die dritte Phase besteht in der Erarbeitung von Empfehlungen für die Auswahl und die Kombination von Verfahren für spezifische Anforderungen.

Bergbauliche Prozesse dienen der Rohstoffversorgung der Menschen. Der Bergbau ist also so alt wie die Menschheit selbst. Angesichts der Entwicklung der Weltbevölkerung und der Technik wird es auch in der Zukunft weltweit bergbauliche Aktivitäten geben. Nun ist der Betrieb eines Bergwerks oder eines Tagebaus zwangsläufig auf Zeit angelegt. Der Einfluss auf die Umwelt kann aber durchaus sehr langfristig bis ewig sein.

Es muss unser Ziel sein, die Nachbergbau-Phase des früheren und des heutigen Bergbaus, ebenso wie die bergbaulichen Prozesse in der Zukunft umweltverträglich zu organisieren. Das Wissen über den Einfluss bergbaulicher Aktivitäten auf die Umwelt ermöglicht es, die Prozesse so zu planen, zu überwachen und zu steuern, dass sie zunehmend nachhaltig sind.

In diesem Kontext kommt dem Monitoring eine besondere Bedeutung zu. Nur mit Hilfe leistungsfähiger Monitoring-Verfahren läßt sich ein möglichst umfassendes Prozess- und Systemverständnis erreichen. Heute stehen uns unzählige Verfahren zur Beobachtung bergbaulicher Anlagen und Betriebe und ihrer Umweltauswirkungen zur Verfügung. Ihre Leistungsfähigkeit muss immer wieder geprüft und weiterentwickelt werden. Neue Verfahren sind auf ihre Anwendbarkeit im (Nach-) Bergbau zu testen. Dies gilt aktuell in besonderer Weise für die enormen Potentiale der satellitengestützten Erdbeobachtung.

LITERATURVERZEICHNIS

Bochow, M., Heim, B., Küster, T., Rogaß, C., Bartsch, I., Segl, K. & Kaufmann, H., (2012): On the use of airborne imaging spectroscopy data for the automatic detection and delineation of surface water bodies. Remote sensing of planet earth, 1-22.

D'Urso, G., & Minacapilli, M., (2006): A semi-empirical approach for surface soil water content estimation from radar data without aprior information on surface roughness. Journal of Hydrology, 321, 297–310.

Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F., (2001): Permanent scatterers in SAR interferometry. Geosci. Remote Sens. IEEE Trans. 39 (1), 8–20

Gabriel, A. K., Goldstein, R. M. & Zebker, H. A., (1989): Mapping small elevation changes over large areas. In: Differential radar interferometry. Journal of Geophysical Research, Bd. 94 (B7), S. 9183-9191

Garcia Millan, V., Teuwsen, S. and Pakzad, K., (2013): GMES4Mining – Description of a Flooding Process in Mining Areas using spectral Indices on multi-temporal Landsat Imagery. In: PFG Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation Jahrgang 2013 Heft 5 (2013), p. 427 – 436

Goerke-Mallet, P., Melchers, C., Müterthies, A., (2016): Innovative monitoring measures in the phase of post-mining. IMWA 2016, Leipzig, Abstracts S. 570-577

Hager, S.; Wollnik, F., (2014): Monitoring im Altbergbau der RAG. Altbergbaukolloquium, Gelsenkirchen, S. 349-357

Hooper, A., (2008): A multitemporal InSAR method incorporating both persistent scatterer and small baseline approaches. Geophys. Res. Lett. 35 (16).