

Tagungsband

Bergbau, Energie und Rohstoffe 2019

Übergang zu neuen Zeiten

11. – 13. September 2019

Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum

Herausgeber:

**Technische Hochschule Georg Agricola,
Forschungszentrum Nachbergbau**

Deutscher Markscheider-Verein e. V.

Die Inhalte der einzelnen Beiträge dieses Tagungsbandes liegen in der alleinigen Verantwortung der jeweiligen Autoren.

Bibliografische Information

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Tagungsband Bergbau, Energie und Rohstoffe 2019, Übergang zu neuen Zeiten, 11. - 13. September 2019, TH Georg Agricola, Bochum. THGA/FZN und DMV (Hrsg.), Papierflieger Verlag GmbH, Clausthal-Zellerfeld, 2019, ISBN 978-3-86948-692-5.

Alle Rechte vorbehalten.

© Copyright 2019: Technische Hochschule Georg Agricola,
Forschungszentrum Nachbergbau
Deutscher Markscheider-Verein e. V. (DMV)

Dieser Tagungsband ist gleichzeitig Heft der „Wissenschaftlichen Schriftenreihe im Markscheidewesen“ des Deutschen Markscheider-Vereins e. V.

Zu beziehen durch:

Deutscher Markscheider-Verein e. V.

Dipl.Ing. Martin Schröder

Eschenstraße 55

44623 Herne

Tel.: +49 (0) 51 71/ 43 13 35, Fax: +49 (0) 51 71/ 43 52 80

E-Mail: geschaeftsstelle@dmv-ev.de

Umschlaggestaltung: Georg Weidenbach

Layout und Satz: Peter Lohnert (mit freundlicher Unterstützung von Diana Hößelbarth)

Druck: Papierflieger Verlag GmbH, Clausthal-Zellerfeld
Telemannstraße 1, 38678 Clausthal-Zellerfeld
www.papierflieger.eu

ISBN 978-3-86948-692-5

Digital Twin – Integriertes Geomonitoring weiterentwickelt

Tobias Rudolph

Technische Hochschule Georg Agricola, Forschungszentrum Nachbergbau, Bochum

Zusammenfassung

Bergbau im 21. Jahrhundert bedeutet auch Alt- und Nachbergbau, geknüpft immer an die Bewältigung postmontaner Herausforderungen und die Ewigkeitsaufgaben. Hiermit einhergehende sind Fragestellungen zur Finanzierung und der Möglichkeit der Weiterentwicklung im Bereich des Geomonitoring. Das Forschungszentrum Nachbergbau der Technischen Hochschule Georg Agricola, Bochum, hat sich zur Aufgabe gestellt hier Lösungsansätze zu entwickeln.

Daher ist es grundsätzlich unerlässlich umfassende und integrierte Kenntnisse über die Lagerstätte, das Deckgebirge und die Deckschichten eines jeweiligen Bergbaustandortes zu haben, umso die langfristige Integrität nachweisen sowie Simulationen über das zukünftige Verhalten durchführen zu können.

Im Lebenszyklus eines Bergbaustandortes fallen eine Vielzahl an technischen Datensätzen an. Diese Datensätze zur Geologie und Strukturgeologie, zur geophysikalischen Erkundung und Überwachung, zur Petrophysik und Bohrlochmessungen, zur Geochemie, der Hydrologie, Hydrogeologie und Hydrochemie und der Geomechanik aber auch Ergebnisse aus der Fernerkundung sind primär auf die Erkundung, Erschließung und Produktion der eigentlichen Lagerstätte ausgerichtet.

Aber auch für die nachbergbaulichen Fragestellungen, insbesondere für die Standortüberwachung, dem Geomonitoring, sind diese Datensätze, Information und Wissen von entscheidender Wichtigkeit und sind somit umfassend auszuwerten. Hierbei kommt der Ansatz des „Digital Twin“, einem Konzept aus dem Themenbereich „Industrie 4.0“, bei dem ein gesamter Industrieprozess von der Idee, über die Umsetzung bis zur Wartung und Monitoring sowie dem Rückbau voll digital aufgebaut wird, zur Anwendung und es wird ein digitaler Zwilling (digitales Abbild/Modell) eines Bergbaustandortes erzeugt.

Für das Forschungszentrum Nachbergbau der Technischen Hochschule Georg Agricola, Bochum, besteht in der Umsetzung des „Digital Twin“ Konzeptes die Möglichkeit alt- und nachbergbauliche Prozesse und Systeme gestalten und weiterentwickeln zu können und somit die postmontanen Herausforderungen und Ewigkeitsaufgaben sowie die damit verbundene Finanzierung bewerten und steuern zu können.

Abstract

Mining in the 21. Century means also understanding the challenges of post-mining processes. This is linked to cost and the possibility of the further developments in the area of long-term mine site monitoring. It is the strategy of the Post-mining Research Center at the Technical University Georg Agricola, Bochum to develop here new approaches and integrated solutions.

For the long-term assessment, it is essential to demonstrate that integrated information and knowledge about the reservoir, the overburden and the surface layers is available on the overall integrity of a mine site.

In a mine-lifecycle a huge amount of data and information is gathered, covering topics on geology, structural geology, geophysical exploration and monitoring, petrophysics, borehole-logging, geochemistry, hydrology, hydrogeology, hydrochemistry, geomechanics as well as earth-observation data. But mostly these datasets are primarily used just for the exploration and exploitation of the reservoir.

But also for post-mining workflows and especially for the mine site monitoring, the so-called geomonitoring, these datasets are of importance and need to be further integrated and analysed.

Here, the application of the concept "Digital Twin", a concept adopted from the Industry 4.0 complex, in which an overall industry starting with an idea in the planning phase, across the production and maintenance phases down to the abandonment phase is digitally rebuilt, could act as an enabler for the post-mining processes.

With the application of the concept "Digital Twin" the Post-mining research center at the Technical University Georg Agricola, Bochum has the unique opportunity to shape and develop further geomonitoring applications for understanding of post-mining processes. This will help to enable further cost control.

1 Einleitung

Gegenwärtig dienen digitale Anwendungen Bergbauunternehmen primär die betriebliche Führung mit dem Abbau des Rohstoffes zu steuern. So lässt sich besser, schneller und kostengünstiger auf äußeren Veränderungen reagieren umso die operative Steuerung zu verbessern. Im Rahmen der Betreiberverantwortung (License to operate) und der Betriebsoptimierung (Operational Excellence) kommen nun die modernen Ansätze des Digital Twin, ein Konzept aus dem Umfeld Industrie 4.0, zur Anwendung (GE 2019) (Abb. 1).

Bei einem Digital Twin handelt es sich um die digitale Repräsentanz (digitaler Zwilling) eines physischen (z.B. Bergwerk) oder nicht-physischen Objektes (z.B. frühe Projektidee) aus der realen Welt (GI 2019). Die digitale Repräsentanz, verfügbar in einem einheitlichen Format, ermöglicht einen übergreifenden und standardisierten Informationsaustausch. Hierdurch lassen sich auch umfassende Simulationen vorab oder im Nachgang eines Ereignisses durchführen. Ein digitaler Zwilling in der Bergbauindustrie hilft nun insbesondere den Abbau und

die damit verbundenen Prozesse zu verbessern und weiterzuentwickeln, da unmittelbar reagiert werden kann. Somit lassen sich zum Beispiel die aktuellen Abbauergebnisse auf Grundlage der Datenbasis der vergangenen Abbautage genau und digital erfassen, darauf die weiteren Schritte simulieren um dann weitergehende Prognosen zu treffen, die dann wieder unmittelbar im Abbau eingebunden werden. Da nun der komplette Bergbauprozess digital abgebildet ist, sind aber auch schnelle Anpassungen und Reaktionen auf veränderliche gesellschaftliche, politische, wirtschaftliche und genehmigungsrechtliche Rahmenbedingungen möglich.

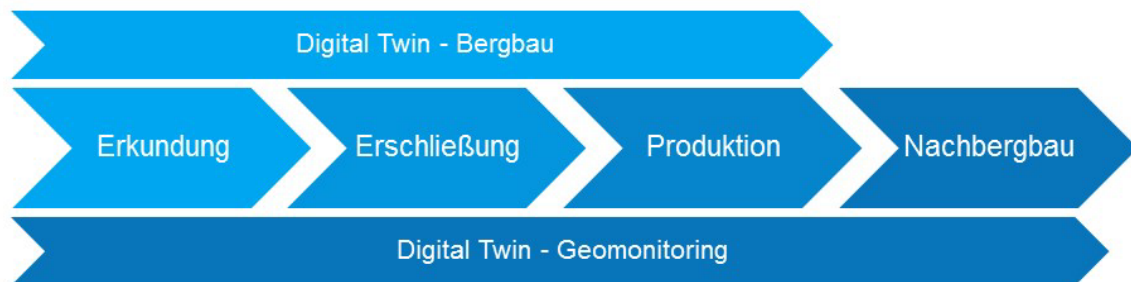


Abb. 1: Das Konzept Digital Twin im Lebenszyklus Bergbau

Diese digitale Repräsentanz Bergbau gilt es im Rahmen des Nachbergbaus in Richtung einer digitalen Repräsentanz Geomonitoring weiterzuentwickeln umso die postmontanen Herausforderungen steuern, die Wirkzusammenhänge verstehen sowie die Finanzierung besser steuern zu können.

Bei den postmontanen Herausforderungen handelt es sich um:

1. Abraumhalden
2. Absetzbecken
3. Gasemissionen
4. Infrastrukturen/Obertage-Installationen
5. Bodenbewegungen
6. Tagesbrüche, ehemalige Schächte
7. Störungs-Reaktivierungen
8. Tagesaufschlüsse
9. (Gruben-)Wasserhaltung
10. Poldergebiete

Durch die Anwendung des Geomonitoring im Alt- und Nachbergbau können nun so integrierte Konzepte und Arbeitsprogramme zur raum-/zeitbezogenen Beobachtung, Kontrolle und Überwachung sowie Bewertung systemrelevanter Prozesse an ehemaligen Bergbaustandorten entwickelt werden. Für ein Monitoring-Programm ist es wichtig, dass initial ein

Konzept entwickelt wird, welches in der ersten Anwendungsphase auf der Basis des Erkenntnisgewinns adaptiert und kontinuierlich weiterentwickelt wird. Hier muss auch berücksichtigt werden, dass dies nur bei einer vollen Integration der Beobachtungsergebnisse möglich ist. Somit umfasst ein integriertes und weiter entwickeltes Geomonitoring-Konzept folgende Schritte, sowohl in der Konzeption, als auch in der Umsetzung (nach Melchers 2019, nach DMV 2014):

1. Definition des Ziels des Monitorings in Integration mit übergeordneten Zielen (z.B. Transparenz, behördlichen Genehmigungen, gesellschaftlich akzeptiertes Ziel)
2. Auswahl von geeigneten Methoden und Werkzeugen und Definition der Konnektivität zwischen den Methoden und Festlegung von führenden Methoden (Startpunkt zu Implementierung des Konzeptes Digital Twin)
3. Festlegung von Beobachtungsroutinen und -zeiträumen (Regelmäßigkeit und Dauer)
4. Berücksichtigung von Standards, Richtlinien und (Handlungs-)Empfehlungen
5. Definition von Schwellwerten und Grenzwerten
6. Definition von Aktions- und Reaktionsprozessen

Mit diesen Grundlagen erfolgt der eigentliche Aufbau eines Geomonitoring-Programmes in mehreren Anwendungsphasen. Hierbei gilt es auch den Digital Twin Geomonitoring kontinuierlich anzupassen. Bei den vier Phasen handelt es sich um:

1. Erkundungsphase, mit der Anwendung der initial festgelegten Methoden über kurz- bis mittelfristige Zeiträume
2. Erschließungsphase, mit der Auswertung der Ergebnisse der initialen Methoden und Anpassung und/oder Erweiterung der Methoden über mittelfristige Zeiträume
3. Produktionsphase, mit der optimalen Anwendung und Integration der Methoden über mittel- bis langfristige Zeiträume
4. Abschlussphase, mit ggf. Reduktion der Methoden auf ein notwendiges Minimum über langfristige Zeiträume und Beendigung des Geomonitoring

Durch die Integration der Ergebnisse der einzelnen Phasen entwickelt sich ein Innovationskreislauf der dann, beginnend bei der reinen Überwachung des Standortes, in einem Prozessverständnis der nachbergbaulichen Aspekte/Wirkzusammenhänge mündet. So lassen sich die Ergebnisse auch für eine Risikobeurteilung weiterentwickeln, umso die postmontanen Herausforderungen bearbeiten und steuern zu können.

2 Weiterentwicklung Geomonitoring

Beim Geomonitoring im Alt- und Nachbergbau kann eine Vielzahl an Methoden angewendet werden, die auch in der gesamten Bergbauindustrie übergreifend anwendbar (Abb. 1). Da keine Methode ein gesamtheitliches Ergebnis im Monitoring eines Bergbaustandortes

liefert ist es absolut notwendig verschiedene Methoden gleichzeitig zur digitalen Anwendung zu bringen, diese zu iterieren, in einzelne Daten- und Ergebnissilos zu bündeln sowie die Ergebnisse zu integrieren. Als Fundament des Geomonitoring dienen statische Basis-Datensätze, die auch mit historischen Datensätzen und/oder Archivdatensätzen, die gegebenenfalls unter modernen Gesichtspunkten überarbeitet werden müssen, zu erweitern sind. Hierauf aufbauend sind zusätzlich Überwachungsdaten mit einer höher frequenten Aufzeichnungsregelmäßigkeit (wöchentlich/monatlich) bzw. mit real-time Datensätzen (24/7) einzubinden. Man erhält somit neben dem real existierenden Alt- oder Nachbergbaustandort eine digitale Abbildung der vorhandenen Gegebenheiten und Prozesse, den sogenannten Digital-Twin Geomonitoring (Abb. 1).

Am fiktiven Beispiel für den untertägigen Abbau eines Rohstoffes zeigt sich die Möglichkeit einer Weiterentwicklung des klassischen Untertage-Interpretation in Richtung Digital Twin Geomonitoring und Integration der Methoden (Abb. 3, Abb. 4). Die Ausgangssituation ist folgende: Es liegen aus der Erschließung des Standortes Datensätze vor, die insbesondere zur Beschreibung der Lagerstätte interpretiert worden sind. Nachbergbaulich Fragestellungen lassen sich damit nur begrenzt beantworten, ein Verständnis der Wirkzusammenhänge der postmontanen Herausforderungen ist nur teilweise möglich. In dem Beispiel wird nun ein Brunnen abgeteuft und hierbei Methan im Wasser detektiert. Aufgrund der zu dem Zeitpunkt vorliegenden Datenintegration ist die Frage des Auftretens von Methan im Grundwasser eigentlich nur in der Korrelation mit der bergbaulichen Aktivität zu sehen.

Der Aufbau eines Digital Twins Geomonitoring und die damit verbundene Neu-Bewertung der (historischen) Datensätze mit einer gleichzeitigen Erweiterung mit modernen Ansätzen des integrierten Geomonitorings ermöglichen eine weiterentwickelte Interpretation. Der Digital Twin Geomonitoring ist zusätzlich auch um die Erkenntnisse aus der mikroseismischen Überwachung sowie hochfrequente Datensätze aus der Fernerkundung erweitert worden.

Die Neu-Interpretation zeigt, dass das Methan in der Brunnenbohrung auf Prozesse in den Deckschichten zurückzuführen ist und steht somit in keiner direkten Korrelation mit der bergbaulichen Aktivität. Dies hat daher einen unmittelbaren Einfluss auf die Planung und ggf. Umsetzung nachbergbaulichen (Ewigkeits-)aufgaben und die damit verbundene Finanzierung.

| Methode | | Verfügbarkeit | Auflösung | Ausdehnung | Ziel | Kosten |
|---------------------|--|---------------------|-----------|------------|-----------|----------|
| Geophysik | Explorationsseismik | einmalig | +++ | Regional | Untertage | +++ |
| | 4D Geophysik (Seismik) | mehrmals | +++ | Standort | Untertage | +++ |
| | Ingenieurseismik | mehrmals | ++ | Lokal | Untertage | ++ |
| | Ingenieurgeophysik (GravMag, Elektrik, Radar) | mehrmals | + | Lokal | Untertage | + |
| | Mikroseismik | 24/7 | + | Standort | Untertage | + |
| Bohrloch | Petrophysik/Bohrloch-Geophysik/ Geomechanik/Hydraulik (offenes Bohrloch) | Einmalig - mehrmals | + | Standort | Untertage | ++ |
| | Petrophysik/Bohrloch-Geophysik (Verrohrtes Bohrloch) | mehrmals | + | Standort | Untertage | + |
| | (Geo-)thermische Methoden | wöchentlich | + | Standort | Untertage | ++ |
| | Druckbeobachtung (Messstellen, Tiefbohrungen) | wöchentlich | + | Standort | Untertage | + |
| | Leitfähigkeitsbeobachtung (Messstellen, Tiefbohrung) | wöchentlich | + | Standort | Untertage | + |
| Oberflächenmethoden | Begehung/Kartierung | monatlich | ++ | Standort | Obertage | - |
| | Terrestrische Vermessung (u.a. GNSS) | monatlich | +++ | Standort | Obertage | + |
| | Floristische und faunistische Kartierung | mehrmals | - | Standort | Untertage | + |
| | Hydrologie (inkl. Grubenwasserabfluss, RFID) | monatlich | ++ | Standort | Obertage | + |
| | Photogrammetrie (mobil) | monatlich | ++ | Standort | Obertage | + |
| | Bodengasmessungen (Geochemie)/Bodenfeuchte | monatlich | + | Standort | Obertage | - |
| | Beprobung Oberflächenwasser | monatlich | + | Regional | Obertage | - |
| | Beprobung Grundwassermessstellen/Brunnen | monatlich | + | Regional | Untertage | - |
| | Beprobung Tiefbrunnen | monatlich | + | Regional | Untertage | + |
| | Mechanik | Bodenmechanik | mehrmals | + | Lokal | Obertage |
| Gebirgsmechanik | | mehrmals | + | Standort | Untertage | ++ |
| Fernerkundung | Befliegung (Optik/Spektral) (Auflösung) | monatlich | +++ | Regional | Obertage | + |
| | Befliegung (Höhe) (Auflösung) | monatlich | +++ | Regional | Obertage | + |
| | Befliegung (Gasmessung) | jährlich | +++ | Standort | Obertage | + |
| | Satelliten (Optik/multi-spektral) | wöchentlich | ++ | Regional | Obertage | + |
| | Satelliten (Höhe) | wöchentlich | ++ | Regional | Obertage | + |
| | Satelliten (Radar) | wöchentlich | ++ | Regional | Obertage | + |
| Modell | Geomechanisches Modell (Skalierung, Auflösung) | mehrmals | + | Regional | Untertage | ++ |
| | Hydrogeologisches Modell (Skalierung, Auflösung) | mehrmals | ++ | Standort | Untertage | + |
| | Geologisches Modell (Skalierung, Auflösung) | mehrmals | ++ | Regional | Untertage | + |
| | Simulationsmodell | mehrmals | + | Regional | Untertage | + |
| | (Skalierung, Auflösung) | | | | | |

Abb. 2: Übersicht verfügbarer Methoden zum Geomonitoring

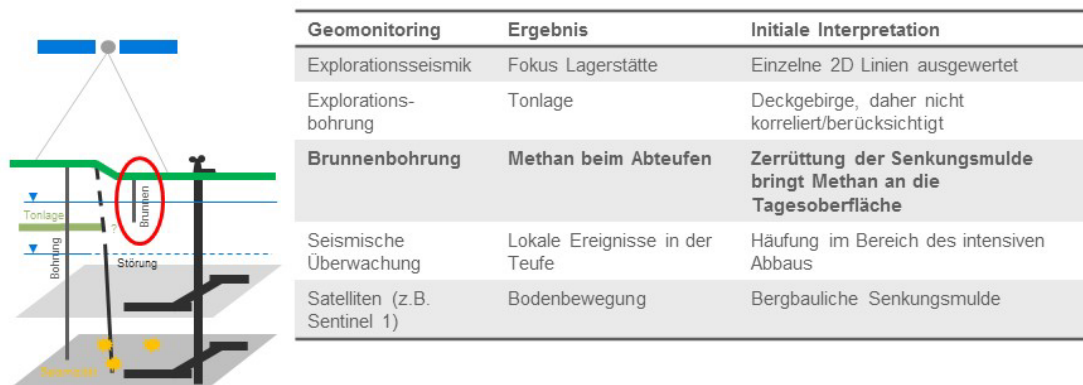


Abb. 3: Digital Twin Bergbau – Initiale Sichtweise

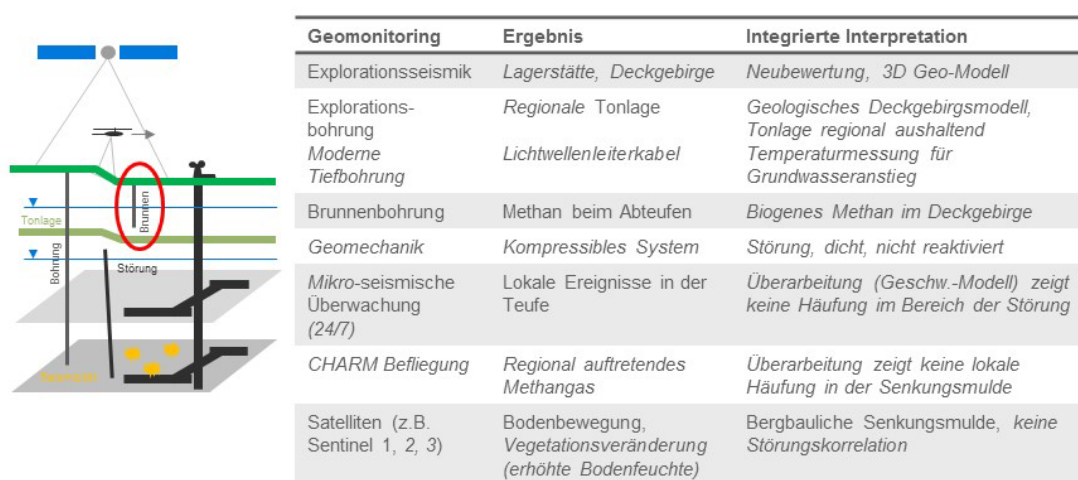


Abb. 4: Digital Twin Geomonitoring – Weiterentwickelte Sichtweise

3 Zusammenfassung

Das Konzept des Digital Twin Geomonitoring mit der Erweiterung um die Methoden des integrierten Geomonitoring ist interdisziplinär und innovativ. Die zur Verfügung stehende umfassende Anzahl an Geomonitoring-Methoden ermöglicht integrierte und raumzeitliche, bis hin zu real-time Analysen von Alt- und Nachbergbaustandorten. Die gebündelten und vielfältigen Erfahrungen des Forschungszentrum Nachbergbau an der Technischen Hochschule Georg Agricola Bochum bieten die einzigartige Möglichkeit für unterschiedliche Bergwerkstandorte die verschiedensten Datensätze und das verfügbare Wissen von den Abbaubereichen bis zum Deckgebirge und den Deckschichten mittels des Konzeptes Digital-Twin Geomonitoring weiterzuentwickeln. Durch die Identifikation und Bewertung post-montaner Wirkzusammenhänge sind optimierte Handlungsempfehlungen entwickelbar sowie die Finanzierung der Ewigkeitsaufgaben besser steuerbar.

Literaturverzeichnis

- DMV (2014): Empfehlungen zum Monitoring im Altbergbau. URL: <https://www.dmv-ev.de/literatur/regelwerke.html> [zuletzt geprüft am 06.05.2019].
- GE (2019): Transform your mine into a digital industrial Company. URL: https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download_assets/GE-Digital-Mine-Transform-Your-Mine-Into-A-Digital-Industrial-Company.pdf [zuletzt geprüft am 11.03.2019].
- GI (2019): Digitaler Zwilling. – Gesellschaft für Informatik e.V. URL: <https://gi.de/informatiklexikon/digitaler-zwilling/> [zuletzt geprüft am 11.03.2019].
- Melchers, C. (2019): Monitoring in der Nachbergbauphase. – Vortrag auf der Tagung NACHBergbauzeit in NRW an der Technischen Hochschule Georg Agricola Bochum, 07.03.2019.