

21. ALTBERGBAU- KOLLOQUIUM



© Jochen Tack / Stiftung Zollverein

UNESCO-Welterbe Zollverein Essen

9. und 10. November 2023

**Technische Hochschule
Georg Agricola Bochum**

Herausgeber: M. Bock, P. Goerke-Mallet,
Ch. Melchers, T. Rudolph, S. Westermann

21. Altbergbaukolloquium
Essen, 9. und 10. November 2023

21. ALTBERGBAUKOLLOQUIUM

**9. und 10. November 2023
Essen**

Veranstalter:

Forschungszentrum Nachbergbau, Technische Hochschule Georg Agricola Bochum
Herner Str. 45, 44787 Bochum

Institut für Markscheidewesen und Geodäsie, Technische Universität Bergakademie Freiberg
Fuchsmühlenweg 9b, 09599 Freiberg

Department Mineral Resources Engineering, Montanuniversität Leoben
Franz Josef Str. 18, A-8700 Leoben

Institut für Markscheidewesen, Technische Universität Clausthal
Erzstr. 18, 38678 Clausthal-Zellerfeld

Arbeitskreis Altbergbau der DGGT und des DMV

Die Inhalte der einzelnen Textbeiträge liegen in der Verantwortung der jeweiligen Autoren:innen.

**Tagungsband des 21. Altbergbaukolloquiums
auf dem UNESCO-Welterbe Zollverein Essen
2., erweiterte Auflage**

Herausgeber:

Dipl.-Ing. Matthias Bock
Prof. Dr.-Ing. Peter Goerke-Mallet
Prof. Dr. rer. nat. Christian Melchers
Prof. Dr. rer. nat. Tobias Rudolph
Dr.-Ing. Sebastian Westermann

Redaktion:

Prof. Dr.-Ing. Peter Goerke-Mallet
Laura Klein
Dr.-Ing. Sebastian Westermann

Adresse:

Forschungszentrum Nachbergbau der
Technischen Hochschule Georg Agricola der
DMT-Gesellschaft für Lehre und Bildung mbH
Herner Str. 45
44787 Bochum, Deutschland
www.nachbergbau.org

© Selbstverlag der Technischen Hochschule Georg Agricola, Bochum 2023

ISBN: 978-3-949115-15-8 (eBook)

Satz: AG Grafik, Philip Jursch, Lennart Lofink, Essen und Münster

Druck: Papierflieger Verlag GmbH, Telemannstraße 1, 38678 Clausthal-Zellerfeld Bildnachweis

Foto auf dem Cover: © Jochen Tack/Stiftung Zollverein

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten. Ein Teil der Angaben, Zeichnungen und Tabellen unterliegt zudem dem Urheberrecht Dritter. Die Vervielfältigung, anderweitige Wiedergabe und urheberrechtlich relevante Benutzung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist ohne schriftliche Zustimmung der Urheber- und Verwertungsrechtsinhaber unzulässig und strafbar.

Haftungsausschluss:

Alle Informationen und Bestandteile dieses Werkes sind nach bestem Wissen und Gewissen zusammengestellt. Dennoch haftet sie nicht für die Vollständigkeit, Richtigkeit, Aktualität und technische Exaktheit der in diesem Werk bereitgestellten Informationen.

Wissenschaftliches Komitee

Im November 2023 findet das Altbergbaukolloquium erstmals auf dem UNESCO-Welterbe Zollverein statt. Ausrichter ist dieses Mal das Forschungszentrum Nachbergbau der Technischen Hochschule Georg Agricola Bochum.

Die Veranstaltungsreihe wird seit 2001 getragen von den Instituten für Geotechnik sowie Markscheidewesen und Geodäsie der TU Bergakademie Freiberg, dem Institut für Geotechnik, dem Institut für Markscheidewesen der TU Clausthal und dem Arbeitskreis Altbergbau der DGGT (Deutsche Gesellschaft für Geotechnik) in Kooperation mit dem DMV (Deutscher Markscheider-Verein).

Das wissenschaftliche Komitee zur Tagung 2023 setzt sich zusammen aus:

- **Prof. Dr.-Ing. Jörg Benndorf**
TU Bergakademie Freiberg
- **Dipl.-Ing. Matthias Bock**
Arbeitskreis Altbergbau
- **Prof. Dr.-Ing. Peter Goerke-Mallet**
Technische Hochschule Georg Agricola Bochum
- **Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Gerhard Mayer**
Montanuniversität Leoben
- **Prof. Dr. rer. nat. Christian Melchers**
Technische Hochschule Georg Agricola Bochum
- **Prof. Dr.-Ing. Jens-André Paffenholz**
TU Clausthal
- **Dr.-Ing. Sebastian Westermann**
Technische Hochschule Georg Agricola Bochum



Unsere Partner

Das 21. Altbergbaukolloquium bietet den passenden Rahmen, neue Erkenntnisse zu diskutieren sowie technische Lösungen im Alt- und Nachbergbau vorzustellen und Kontakte zu pflegen. Nur mit der Unterstützung unserer Partner ist es uns möglich, die Veranstaltung so abwechslungsreich zu gestalten – und das, auf der wohl schönsten Zeche der Welt!

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!



GEMEINSAM BEWEGEN



>>SACHTLEBEN<<

BERGBAU VERWALTUNGSGESELLSCHAFT MIT BESCHRÄNKTER HAFTUNG



Umfrage zur Reakkreditierung:

Master-Studiengang Geoingenieurwesen und Nachbergbau (M.Sc.)



Technische
Hochschule
Georg Agricola

An der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA) entwickeln wir das Erbe unserer industriellen Wurzeln stetig weiter. In anwendungsorientierten Studiengängen bilden wir junge Frauen und Männer dafür aus, die ingenieurwissenschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit zu lösen. Damit die Absolventinnen und Absolventen weiterhin fit für die Zukunft sind, müssen es unsere Studiengänge ebenso sein.



Mit Ihrer Unterstützung möchten wir daher unseren Masterstudiengang „Geoingenieurwesen und Nachbergbau“ (M.Eng.) neu ausrichten und an die Anforderungen in Industrie, Behörde, Verband und Wissenschaft anpassen. Wir bitten Sie – mit Ihrer Expertise und dem Blick auf das aktuelle und zukünftige Arbeitsumfeld – an unserer Befragung teilzunehmen. Ganz besonders freuen wir uns über Ihre Ideen für die Zukunft.

Für einen weiteren Austausch wenden Sie sich außerdem gerne an:

tobias.rudolph@thga.de



Vielen Dank für Ihre Unterstützung!
Hier geht es zur Umfrage

Grußwort



Geschätzte Damen und Herren,

im Namen der Ausrichter des Altbergbaukolloquiums, des Forschungszentrums Nachbergbau der THGA, der TU Bergakademie Freiberg, der TU Clausthal, der Montan Universität Leoben und des Arbeitskreises (AK) Altbergbau der DGGT und des DMV darf ich Sie zum 21. Altbergbaukolloquium recht herzlichen begrüßen. Sein Sie uns auf dem UNESCO-Welterbe Zollverein in Essen sehr willkommen.

Nach dem Jahr 2014 findet das Altbergbaukolloquium seit seiner Gründung im Jahr 2001 in diesem Jahr zum zweiten Mal im Ruhrgebiet statt. Der diesjährige Austragungsort steht stellvertretend für die Steinkohlenreviere in Deutschland, Europa und der Welt. Die Hinterlassenschaften aus dem Bergbau sind vielfältig, umfangreich und geben ein weites Spektrum an Aufgaben vor.

Insbesondere Fragestellungen zum nachhaltigen Grund- und Grubenwassermanagement sind zunehmend von besonderer Bedeutung. Aber auch technische Fragestellungen zur Sicherung und Sanierung des Altbergbaues bleiben vor dem Hintergrund von über 60.000 Tagesöffnungen in Nordrhein-Westfalen zentraler Bestandteil der Arbeiten. Aus der gemeinsamen Erfahrung im Umgang mit den Hinterlassenschaften des Bergbaues hat sich ein starkes Netzwerk aus Berg- und Altbergbaugesellschaften, regionalen Ingenieurbüros, technischer Bergsicherungsbetriebe, der Bergbehörden und der Wissenschaft gebildet.

Unser Dank gilt ausdrücklich allen Autoren, die durch Ihre wertvollen Beiträge zentrales Element für Wissenstransfer und fachlicher Diskussion sind. Ebenso gilt allen Sponsoren und Ausstellern unserer ganz besonderer Dank. Zudem bedanke ich mich sehr bei allen Teilnehmer:innen. Sie tragen durch Ihre Teilnahme zum erfolgreichen Gelingen der Tagung bei. Für die Vorbereitung und Organisation der Tagung gilt mein persönlicher und ausgesprochener Dank allen Mitarbeiter:innen der THGA und des FZN sowie im besonderen dem Organisationsteam um Herrn Dr. Sebastian Westermann sowie dem Obmann des AK Altbergbau Herrn Matthias Bock.

Ich wünsche Ihnen eine erfolgreiche Tagung und eine tolle Zeit auf dem UNESCO-Welterbe Zollverein.

Herzliches Glückauf

A handwritten signature in blue ink, reading 'G. Melchers'.

Ihr Christian Melchers
im Namen der Veranstalter

Grußwort

Bezirksregierung
Arnsberg



Sehr geehrte Damen und Herren,

ich freue mich, dass das Altbergbaukolloquium nach 2014 zum zweiten Mal im Ruhrgebiet stattfindet und begrüße Sie auf dem Gelände des UNESCO-Welterbes Zeche Zollverein ganz herzlich.

Der Bergbau hinterlässt Spuren – mit Ihnen verantwortungsvoll umzugehen ist gerade für uns in NRW eine Zukunftsaufgabe. Was braucht es für die Zukunft des Landes unter der Berücksichtigung des gebotenen Transformationsprozesses?

Ich bin der festen Überzeugung, dass dieser Prozess nur mit einer starken Berg- und Energiebehörde gelingen wird. Die in meinem Hause angesiedelte landesweit zuständige Abteilung „Bergbau und Energie in NRW“, welche auch die Funktion der Bergbehörde des Landes ausübt, hat bereits ihr umfangreiches Aufgabenportfolio durch neue Schwerpunktbildungen und Zuwächse auf die neuen Herausforderungen ausgerichtet.

Der stetige Rückgang bei der Gewinnung fossiler Brennstoffe richtet den Fokus auf den auslaufenden Bergbau und die daraus resultierenden Aufgaben der Nachbergbauzeit. Beispielhaft genannt seien der Grubenwasseranstieg in den Steinkohlenrevieren des Landes, die zeitnahe Bereitstellung ehemals bergbaulich genutzter Flächen für die Weiterentwicklung des Industrielandes NRW und das Risikomanagement Altbergbau.

Neue Aufgaben wie etwa der zügige Ausbau der Geothermie und der Unterspeicherung sowie das Genehmigungs- und Aufsichtsmanagement für weite Teile der erforderlichen Energieinfrastruktur sind hinzugekommen. Deutliche Zuwächse sind auch im Bereich der Förderung des Einsatzes regenerativer Energien durch das Land NRW zu verzeichnen, die in landesweiter Zuständigkeit durch die Abteilung „Bergbau und Energie in NRW“ im Rahmen des Förderprogramms *progres.nrw* umgesetzt werden.

Unschwer ist zu erkennen, dass die Abteilung „Bergbau und Energie in NRW“ der Bezirksregierung Arnsberg einen maßgeblichen Beitrag zum Gelingen der Energiewende und des damit einhergehenden Transformationsprozesses leisten kann und wird.

Ich wünsche allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern des 21. Altbergbaukolloquiums einen spannenden Austausch sowie neue Erkenntnisse und Lösungsansätze, von denen wir alle gemeinsam profitieren können.

Glückauf!

Heinrich Böckelühr
Regierungspräsident

Grußwort



Sehr geehrte Damen und Herren,

das Altbergbaukolloquium ist eines der wichtigsten Austauschformate für Expertinnen und Experten, die sich mit den Nachbergbaufgaben befassen – und dies als Chance begreifen.

Wir, die RAG-Stiftung, freuen uns sehr, dass die Fachveranstaltung nun erstmals auf dem UNESCO-Welterbe Zollverein in Essen stattfindet. Sie haben damit einen besonderen Ort für Ihre Tagung ausgewählt, der auch lange nach seiner Stilllegung nie stillsteht. Mein Dank

gilt dem Forschungszentrum Nachbergbau der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA), das in diesem Jahr Ausrichter des 21. Altbergbaukolloquiums ist.

Der Alt- und Nachbergbau und die damit verbundenen Aufgaben stellen nicht nur eine technische Herausforderung dar, sondern haben auch eine große gesellschaftliche und wirtschaftliche Bedeutung für unsere Region. Insbesondere beim nachhaltigen Umgang mit Georessourcen oder dem Wasserhaushalt in ehemaligen Bergbauregionen ist das Know-how unermesslich wichtig. Moderne Monitoringmethoden helfen dabei, Industriekultur zu erhalten und Umwelteinflüsse zu überwachen.

Auch für die Zukunft brauchen wir für diese komplexen Aufgaben eine wissenschaftliche Begleitung der Prozesse und gut ausgebildete Fachkräfte. Ihre Expertise ist essenziell, um das Ruhrgebiet und die Bergbaugebiete weltweit als lebenswerte Regionen zu erhalten. Als verlässlicher Partner fördert die RAG-Stiftung die THGA und das Forschungszentrum Nachbergbau daher bereits seit vielen Jahren. Wir arbeiten somit aktiv an der grünen Zukunft der ehemaligen Bergbauregionen und an einer nachhaltigen Transformation mit.

Ich wünsche allen Teilnehmenden des 21. Altbergbaukolloquiums einen spannenden Austausch, interessante Gespräche und neue Erkenntnisse, von denen wir gemeinsam profitieren können. Lassen Sie die Zeche Zollverein ein weiteres Mal zu einem Ort harter Arbeit werden – geistiger Arbeit, die neue Ideen hervorbringt, Zukunftsperspektiven aufzeigt und so einen zentralen Beitrag zum Gelingen des fortschreitenden Transformationsprozesses leistet.

Mit herzlichem Glückauf

Bärbel Bergerhoff-Wodopia
Mitglied im Vorstand der RAG-Stiftung



Technische
Hochschule
Georg Agricola

Unsere Schriftenreihe: Berichte zum Nachbergbau

Das Forschungszentrum Nachbergbau der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA) veröffentlicht seine Studien und Projektberichte in einer eigenen Schriftenreihe. Die „**Berichte zum Nachbergbau**“ sind online open access abrufbar:

www.nachbergbau.org/berichte-zum-nachbergbau



Heft 1

MELCHERS, C.; WESTERMANN, S.; REKER, B. (2019): Evaluierung von Grubenwasseranstiegsprozessen – im Ruhrgebiet, Saarland, in Ibbenbüren sowie weiteren deutschen Steinkohlenrevieren und dem angrenzenden europäischen Ausland. Projektbericht. 129 S., 60 Abb., 5 Tab. Bochum: Selbstverlag des Deutschen Bergbau-Museums Bochum. (Berichte zum Nachbergbau, 1).

ISBN 978-3-937203-87-4

ISSN 2698-8925

engl. Version: Evaluation of Mine Water Rebound Processes

ISBN 978-3-937203-89-8

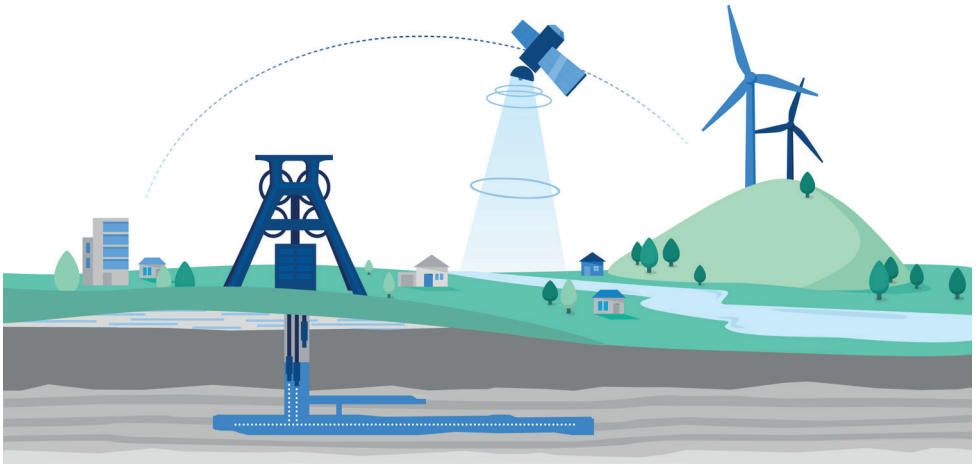
ISSN 2698-8925

Heft 2

WESTERMANN, S. (2020): Modellbasierte Sensitivitätsanalyse systembestimmender Faktoren eines Grubenwasseranstiegs in Untertagebergwerken mittels statistischer Versuchsplanung. 220 S., 50 Abb., 45 Tab. Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger Verlag (Berichte zum Nachbergbau, 2).

ISBN 978-3-86948-776-2

ISSN 2698-8925



Heft 3

BRÜGGEMANN, J. (2021): Städtebaulich-strategisches Projektmanagement für Stadtquartiere. 85 S., 38 Abb., 5 Tab. Bochum: Selbstverlag der Technischen Hochschule Georg Agricola (Berichte zum Nachbergbau, 3).

ISBN 978-3-949115-03-5
ISSN 2698-8925

Heft 4

VAN DE LOO, K. (2023): Grundlagen einer nachhaltigen Ökonomie der Transition von Bergbauregionen (dargestellt am Beispiel des Kohleausstiegs in Deutschland). 86. S., 10 Abb., 2 Tab. Bochum: Selbstverlag der Technischen Hochschule Georg Agricola (Berichte zum Nachbergbau, 4).

ISBN 978-3-949115-07-3
ISSN 2698-8925

Heft 5

MELCHERS, C. (Hrsg.) (2023): Abschlussbericht Forum Bergbau und Wasser. 128 S., 32 Abb., 1 Tab. Bochum: Selbstverlag der Technischen Hochschule Georg Agricola (Berichte zum Nachbergbau, 5).

ISBN 978-3-949115-09-7
ISSN 2698-8925

Inhaltsverzeichnis

Tätigkeitsbericht 2022/2023 des Arbeitskreises (AK) Altbergbau	1
Matthias Bock	
Aktuelle Sanierungsarbeiten am Rothschönberger Stolln im Abschnitt zwischen dem Drei-Brüder Schacht und dem Schacht Reiche Zeche in Freiberg	6
Sirke Beuermann	
NAMIB – Nach- und Altbergbau Monitoring von Infrastruktur der Stadt Bochum	8
Rebekka Biermann, Karl-Heinz Reikat, Laura Cebula, Peter Goerke-Mallet, Tobias Rudolph	
Rückzug aus dem Grubengebäude Zollverein – Herausforderungen an die Bauausführung	15
Sven Bock, Tobias Friedrich, Leonard Reif, Benjamin Röhl, Alexander Hopf	
The numerical hydrogeological model and groundwater rebound simulations in mining areas (Saxony mining region)	27
Kateryna Boiko, Justyna Blocka, Lothar te Kamp	
Entwicklung eines Entscheidungsmodells zur Nachnutzung von gefluteten Bergwerken	36
Mareike Bothe-Fiekert, Oliver Langefeld	
Regionales Webtool zum Managen von europäischen Kohleregionen im Wandel – Statusbericht zum EU-Projekt WINTER	42
Laura Cebula, Lukas Kasperidus, Julia Haske, Jürgen Brüggemann, Konstantina Pyrgaki, Theodoros Zarogiannis, Evangelia Zygouri, Anna Batsi, Pavlos Krassakis, Andreas Karavias, Nikolaos Koukouzas, Aleksandra Szwaja, Barbara Rogosz	
Herausforderungen und Lösungsansätze bei der Sanierungsplanung der Bergehalde Duhamel	50
Silvio Engelmann, Dominic Demand	
Integrales Monitoring für den Grubenwasseranstieg im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen – eine Plattform zur öffentlichen Präsentation und kritischen Diskussion der Ergebnisse des laufenden Monitorings	63
Michael Heitfeld, Peter Rosner, Wolfgang Dronia	
Sanierung eines überstauten Wasserlösestollens; Wilsmicker- & Altenberger Stolln in Wenden, Sauerland	76
Sebastian Hillinger, Philipp Philipp, Ingo Milas, Nikolaus Linder	
Umfahrung eines Teilabschnitts des K. B. Maximilian Erbstollens im ehemaligen Steinkohlenrevier von Stockheim	84
Robin Hoffmann, Stephan Bachmann, Valentin Vossen, Jan Pfänder	
Hydrogeochemisches Monitoring des Grubenwasseranstiegs im Ruhrrevier – ein wichtiger Bestandteil des integralen Monitoring-Konzeptes zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung	96
Henning Jasnowski-Peters, Sebastian Westermann, Christian Melchers	
RAG Aktiengesellschaft – Als Nachbergbauunternehmen auf dem Weg zur CO₂-Neutralität	106
Claudia Karus, Joachim Löchte	

Schachtverwahrung im Sanierungsbergbau – Oder: Was neben der Verwahrung bei der Verwahrung zu tun ist	113
Susann Krächan, Andy Tauber	
Fachliche Grundlagen und Möglichkeiten zur Optimierung der Verwahrung/ Sicherung von ehemaligen Filterbrunnen	124
Anja Kühne, Tino Rosenzweig, Thomas Nagel	
Monitoring im Kavernenfeld Epe	135
Andreas Mütterthies, Sebastian Teuwsen, Tobias Rudolph	
Grundlagen und Grenzen der Modellbildung	142
Maria-Theresia Schafmeister	
Stabilisieren von Lockermassenfüllsäulen in alten Bergbauschächten – wie geht es noch effektiver?	145
Rainer Scherbeck, Tobias Bobka, Michael Thorquindt	
Company Towns des Bergbaus	156
Ulrich Schildberg	
Fallbeispiele von ehemaligen Bergwerkstrukturen zur netz-gebundenen Wärme- und Kälteversorgung in Nordrhein-Westfalen	168
René Verhoeven, Stefan Klein, Florian Hahn, Kevin Mannke	
Ableitung von Hintergrundwerten von Grubenwässern des Steinkohlebergbaus	170
Georg Wieber, Peter Quensel	
Verbesserung der Lagerstättenprojektion im Ruhrrevier zur Weiterentwicklung des bergbehördlichen Risikomanagements – Eine Kooperation zwischen dem GD NRW und der BR Arnsberg	187
Monika Wölfl, Karsten Schäfer, Stefan Mengede, Martin Isaac, Daniel Wagener, Bernd Linder, Christian Rakers, Dirk Kaufmann	
Untersuchungen zum Verständnis von Grubenflutung und der Barrierewirkung von Dichteschichtung	197
Christian Wolkersdorfer, Elke Mugova	
Grubenwasser als regenerative Energiequelle – Status quo, Potenziale und Herausforderungen	205
Timm Wunderlich, Lukas Oppelt, Tom Ebel, Thomas Grab, Tobias Fieback	
Ganzheitliches Risikomanagement für europäische Nachbergbauregionen – Das Projekt PoMHaZ	208
Benjamin Haske, Moncef Bouaziz, Tobias Rudolph, Jörg Benndorf	
Die Integration von In Situ- und multispektrale UAV-Daten – Ein Ansatz zur Beurteilung des Vegetationszustands in nachbergbaulichen Poldern	218
Bodo Bernsdorf, Marcin Pawlik, Tobias Rudolph, Julian Jaeckel, Benjamin Haske	
REMINDNET – Paneuropäisches Altbergbaunetzwerk	230
Stefan Möllerherm	
Altbergbau-Monitoring im Poldermanagement	240
Marcin Pawlik, Maik Gellendin, Benjamin Haske, Julian Jaeckel, Hernan Flores, Bodo Bernsdorf, Tobias Rudolph	

**Zur Entwicklung eines UAV-basierten multispektralen Korrosionsindex für ein
Industriekultur-Geomonitoring 249**

Bodo Bernsdorf, Julia Haske, Heiner Rößmann, Tobias Rudolph, Christoph Meier

ANHANG

**Empfehlung „Qualitätssicherung/Qualitätsmanagement bei Sanierungsarbeiten im
Altbergbau“ 262**

Der Arbeitskreis Altbergbau der DGGT e. V. (AK) und des DMV e. V.

Tätigkeitsbericht 2022/2023 des Arbeitskreises (AK) Altbergbau

Matthias Bock

Obmann des AK in der Fachsektion Ingenieurgeologie
bei der DGGT e. V. und in Kooperation mit dem DMV e. V.

ZUSAMMENFASSUNG:

Der Beitrag beschreibt, in Verbindung mit der Präsentation des Themas auf dem Altbergbaukolloquium 2023, die Entwicklung des Arbeitskreises seit der letzten Tagung 2022 in Freiberg (Sachsen), Deutschland.

Nach inhaltlicher und personeller Neuausrichtung des Arbeitskreises standen 2023 die Ausfertigung einer Empfehlung zur „Qualitätssicherung (QS)/Qualitätsmanagement bei Sanierungsarbeiten im Altbergbau“ sowie die Etablierung der Zusammenarbeit der neuen Mitglieder des Arbeitskreises im Fokus. Parallel wurden die Arbeitsgrundlagen und die Form der Zusammenarbeit der beiden Fachvereine neu formuliert.

Mit dem Aufbau einer eigenen Homepage für die Diskussion von Fachfragen der Altbergbausanierung und der Arbeit des Gremiums wurde begonnen.

ABSTRACT:

In connection with the presentation of the topic “abandoned mines” at the “Altbergbaukolloquium 2023”, the paper describes the development of the working group since the last meeting in Freiberg (Saxony), Germany in 2022.

Following the reorientation of the working group in terms of content and personnel, the focus in 2023 was on the preparation of a recommendation on „Quality Assurance/Quality Management for rehabilitation work in abandoned mines“ and establishing cooperation between the new members of the working group.

At the same time, the working principles and the ways of cooperation between the two professional associations were reformulated.

A start was made on setting up a separate homepage for the technical issues related to abandoned mines and the work of the committee.

1 Rückblick zum 20. Altbergbaukolloquium (ABK) in Freiberg

Nach der schwierigen Arbeitsphase 2019 bis 2021 auf Grund der pandemischen Lage, konnte mit der Tagung vom 3. bis 5. November 2022 in Freiberg die reguläre Tätigkeit im Fachgremium wieder aufgenommen werden. Die Tagung in Freiberg wurde hauptverantwortlich von Prof. Benndorf mit dem Institut für Markscheidewesen und Geodäsie verantwortet. Obmann und Arbeitskreis unterstützten nach Kräften. Die Veranstaltung wurde auch wie bisher in Kooperation mit der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT) und dem Deutschen Markscheider-

Verein(DMV) durchgeführt und dürfte den mehr als 330 Teilnehmern in angenehmer Erinnerung sein.

Die Tagung wurden mit Grußworten der Technischen Universität Bergakademie Freiberg und den regionalen Bergverwaltungen eröffnet. Professor Cramer vom sächsischen Oberbergamt erläuterte die aktuelle Sanierungssituation und die künftigen finanztechnischen Randbedingungen zur Wahrnehmung der Aufgaben.

Mit einem Plenarvortrag von Professor Albrecht wurde der langwierige Prozess bis zur Ernennung des Weltkulturerbes Montanregion Erzgebirge/Krušnohoří erläutert und dann zu den insgesamt 5 Vortragsblöcken der Fachvorträge übergeleitet.

Mit rund 25 Vorträgen wurden vorwiegend praktische Fragen der Sanierungstätigkeit im Altbergbau diskutiert.



Abb. 1: Das gut gefüllte Tagungszentrum „Alte Mensa“ am 3.11.2022 (Foto: Bock)

Ein Höhepunkt der Veranstaltung war der Festabend im Tivoli, wo die Gründer des Forums „Altbergbaukolloquium“ gewürdigt wurden und wo man sich für die langjährige Tätigkeit von Dr. Günter Meier mit einem Steigerlied vor dem Abendessen bedankte.

Abschließend nahmen am Samstag, dem 5.11.2022, rund 40 Teilnehmer*Innen an einer Exkursion zu den Welterbestätten in Freiberg statt, wo neben historischen Themen auch die neue technische Ausrüstung zur Aufwältigung der Roten Grube besichtigt werden konnte.



Abb. 2: Die Exkursionsteilnehmer an den Tagesanlagen an der Grube Alte Elisabeth am 5.11.2022
(Foto Bock)

2 Die Tätigkeit des Arbeitskreises 11/2022 bis 09/2023

Zur Tätigkeit des Facharbeitskreises der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT) und des Deutschen Markscheider-Verein (DMV) wurde letztmalig im November 2022 berichtet und im Tagungsband zum Altbergbaukolloquium veröffentlicht. Am Vorabend der Tagung in Freiberg 2022 traf sich wie üblich das Gremium und diskutierte insbesondere die weiteren Aufgaben und die neue personelle Zusammensetzung. Aufgrund der sehr positiven Resonanz konnten Vertreter von Sanierungsträgern, Bergbehörden, Ingenieurbüros, Hochschulen und auch Sanierungsfirmen für die Mitarbeit gefunden und somit der AK neu besetzt und praxisnah ausgerichtet werden. Verdiente Mitglieder des AK wurden nach langjähriger Tätigkeit verabschiedet.

Im Ergebnis der Diskussionen zur Neuausrichtung und zu den Arbeitsinhalten wurde am 29.11.2022 eine weitere Sitzung als Videokonferenz durchgeführt, bei der die neuen Mitglieder protokollgänzig bestätigt werden konnten. Weiterhin wurde das konkrete Vorgehen zur Erarbeitung der QS-Empfehlung mit der Ernennung eines Redaktionsteams forciert. Auf der Basis von Teilbeiträgen zu den QS-Themen konnte der Arbeitskreis im Frühjahr am 4./5. Mai 2023 im fränkischen Mitwitz die Textentwürfe gemeinsam diskutieren. Die rund 20 Mitglieder aus den Bereichen Hochschulen, Ingenieurbüros, Bauherren, Baufirmen und den Bergverwaltungen vieler Bundesländer führten in Facharbeitsgruppen intensive Abstimmungen und Textbearbeitungen durch. Dieser Arbeitsstand war die Grundlage für die Zusammenführung in ein einheitliches Textdokument. Die Empfehlung konnte nach weiterer redaktioneller Bearbeitung und Diskussion druckreif ausgearbeitet werden.

Neben diesen Fachbearbeitungen wurden bei der Sitzung weitere neue Mitglieder benannt und es konnte Prof. Mayer aus Leoben für den Fachbeirat gewonnen werden.

Zum Abschluss der Sitzung besichtigte die Gruppe eine Baustelle des Bergamtes Nordbayern in Stockholm.



Abb. 3: Mitglieder des AK am Quartier in Mittwitz am 4.5.2023 (v. r.: Thauer, Hogrebe, Bodenstab, Schuscha, Mayer, Wehinger, Heitfeld, Starke, Wehler, Geers, Benthin, Hoffmann, Seidel, Scharf, Wings, Rudolph, Bock)



Abb. 4: Mitglieder des AK vor der Befahrung des Schachtes in Stockheim am 5.5.2023

Weitere Aktivitäten des Arbeitskreises waren die Entwicklung einer neuen Kooperationsvereinbarung zwischen dem DMV und der DGGT zur Gestaltung der zukünftigen Arbeit des Arbeitskreises, der Aufbau einer eigenen Homepage (www.Arbeitskreis-Altbergbau.org) sowie die Endabstimmung der QS-Empfehlung bis zur Drucklegung im vorliegenden Tagungsband.

Hinzuweisen ist auch auf die Mitarbeiter einiger AK Mitglieder unter Führung von Prof. Goerke-Mallet im DIN-Spiegelausschuss „Nachbergbau“ für ISO TC 82/SC 7/WG 3 „Managing Mining Legacies“. Auch diese Zusammenarbeit nähert sich nunmehr der Verabschiedung der Texte durch die Gremien und der Veröffentlichung der Standards.

Abschließend sei darauf verwiesen, dass der Obmann über die Arbeit des AK Altbergbau bei einer internationalen Konferenz am 11./12. Mai 2023 in Ostrava, Tschechien, berichten konnte. Die Tagung stand unter dem Titel „The potential of abandoned mine workings in the EU“ und wurde von

Partnern aus Deutschland, Spanien, Polen und Tschechien getragen. Unsere Partnerhochschulen im Arbeitskreis, die Technische Universität Bergakademie Freiberg (TU-BAF) und die Technische Hochschule Georg Agricola (THGA) waren in der Projektarbeit, die zu dieser Abschlusstagung führte, ebenfalls beteiligt.

3 Ausblick

Nach der Fertigstellung der Empfehlung zur Qualitätssicherung soll mit neuen Aufgaben die Zusammenarbeit des Gremiums weiter gefestigt werden. Als Basis dient eine umfangreiche Ideensammlung zu möglichen Bearbeitungsschwerpunkten. Der AK hat sich zum Ziel gesetzt, neben der sonstigen Gremienarbeit, mindesten alle zwei bis drei Jahre eine Veröffentlichung/Empfehlung fertigzustellen.

Hier gilt der besondere Dank den ehrenamtlichen Mitgliedern, aber auch den Institutionen, die dieses Engagement ihrer Mitarbeiter ermöglichen. Nur durch das besondere persönliche Engagement ist ein direkter und einfacher fachlicher Austausch zwischen Universitäten, Behörden, Sanierungsträgern, Planern und ausführenden Unternehmen erfolgreich möglich. Hierdurch können Empfehlungen erarbeitet werden, die bei allen Beteiligten auf Akzeptanz stoßen, zügig umgesetzt und in der Praxis angewendet werden. Dies ist letztendlich die Basis für eine effiziente und qualitativ hochwertige Altbergbau-Sanierung und damit einer verhältnismäßigen Mittelverwendung. In „Konkurrenz“ mit vielen staatlichen und privaten Aufgaben kann die Altbergbau-Sanierung nur bestehen, wenn sie sich diese Ziele auch weiterhin zur Vorgabe macht und eine sinnvolle Alternative zur Absperrung von Gefahrenbereichen darstellt.

Aktuelle Sanierungsarbeiten am Rothschönberger Stolln im Abschnitt zwischen dem Drei-Brüder-Schacht und dem Schacht Reiche Zeche in Freiberg

Sirke Beuermann

Sächsisches Oberbergamt

ZUSAMMENFASSUNG:

Der Rothschönberger Stolln ist einer der bedeutendsten Wasserlösestolln im historischen sächsischen Erzbergbau. Er besitzt für die Entwässerung des Brander und des Freiburger Reviers eine zentrale Bedeutung. Der Stolln beruht auf den Planungen des Oberberghauptmanns August von Herder und wurde im Zeitraum von 1844 bis 1877 gebaut. Er unterteilt sich in einen Revier- und einen Fiskalischen Teil und hat mit seinen Nebenanlagen eine Gesamtlänge von 50,9 km.

Auch heute besitzt der Rothschönberger Stolln für die Aufrechterhaltung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung eine überragende Bedeutung. Deutlich wurde dies zum Hochwasserereignis von 2002. Dabei kam es zum Verbruch im Stolln am VIII. Lichtloch in Halsbrücke und dadurch zum Rückstau der abzuführenden Wässer. Eine direkte Folge waren Tagesbrüche und Wassereinbrüche in den tagesoberflächennahen, zum Teil nicht risskundigen Altbergbau.

Im Jahr 2002 begann die Bruchaufwältigung am Halsbrücker Spat über das VIII. Lichtloch und die Sicherung des Hochbruchs südlich des Schachtes Reiche Zeche im Freiburger Stadtgebiet. Es wurde weiterhin eine Zustandsermittlung des Stollns durchgeführt.

Mit Feststellung der Notwendigkeit zur Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit der Wasserlösung durch den Rothschönberger Stolln wurde im Jahr 2004 ein Handlungskonzept erarbeitet. Darin verankert ist die Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit vom Mundloch bis zum Drei-Brüder-Schacht, die Schaffung bzw. Rekonstruktion von Zugängen und die notwendigen Sanierungsarbeiten im Stollen selbst.

Aktuell laufen die Sanierungsarbeiten zwischen dem Drei-Brüder-Schacht im Freiburger Ortsteil Zug als südlichsten Zugangspunkt zum Stolln und dem Schacht Reiche Zeche im Stadtgebiet von Freiberg. Die Arbeiten an der Gesamtmaßnahme begannen im Oktober 2020. Nach derzeitigen Kenntnisstand liegt das prognostizierte Bauende im Jahr 2028. Die Finanzierung der Sanierungsmaßnahme erfolgt durch den Freistaat Sachsen. Das Auftragsvolumen zu Baubeginn lag in Summe bei 10,2 Mio. €. Aufgrund von Mengenmehrungen, zusätzlichen Leistungen und Preissteigerungen im Bausektor ist von einem höheren Mittelbedarf bis zum Projektende auszugehen.

Im Vortrag wird über die Besonderheiten der Baustelle, bisher aufgetretene Herausforderungen und deren technische/organisatorische Lösungen sowie über spezielle Randbedingungen der Maßnahme berichtet.



Verantwortung für die Nachbergbauzeit

Verlässlichkeit gehörte stets zu den Werten des Steinkohlenbergbaus. Verlass ist damit auch auf die RAG-Stiftung. Sie übernimmt im vollen Umfang die Finanzierung der dauerhaften Aufgaben des Nachbergbaus: Grubenwasserhaltung, Poldermaßnahmen und Grundwasserreinigung. Mit der Finanzierung und auch mit der Förderung von Spitzenforschung auf diesem Gebiet sorgt sie dafür, dass die Umwelt in der Nachbergbauzeit intakt bleibt. Darüber hinaus fördert die RAG-Stiftung Projekte, die den Fortbestand der sozialen Werte des Bergbaus sichern, und setzt somit langfristig wirkende Impulse für die Region. Für eine lebenswerte Zukunft über Tage.



Erlebe die
RAG-Stiftung in
360°



NAMIB – Nach- und Altbergbau Monitoring von Infrastruktur der Stadt Bochum

**Rebekka Biermann¹, Karl-Heinz Reikat¹, Laura Cebula²,
Peter Goerke-Mallet², Tobias Rudolph²**

¹Tiefbauamt Stadt Bochum – Technisches Rathaus

²Forschungszentrum Nachbergbau, Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum

ZUSAMMENFASSUNG:

Die Stadtbahnlinie U35 verläuft durch die Städte Bochum und Herne und ist eine der zentralen Stadtbahnlinien im Ruhrgebiet mit mehreren Zehntausend Fahrgästen am Tag. Die Linie bildet somit das Rückgrat im öffentlichen Personennahverkehr in der Region. Der Streckenverlauf ist senkrecht zum Streichen der geologischen Strukturen und durchfährt die komplette Historie des oberflächennahen und tiefen Bergbaus.

Das Ziel der Forschungskooperation NAMIB zwischen der Stadt Bochum und dem Forschungszentrum Nachbergbau war eine alt- und nachbergbauliche Risikobetrachtung in Hinblick auf den Grubenwasseranstieg im Streckenverlauf. Um die Integrität der Stadtbahntrasse nachweisen zu können, wurden potenzielle geowissenschaftlich-technische, bergbauliche sowie Tunnelbauspezifische Risikoelement im Untersuchungsgebiet in ein Klassifikationssystem überführt, welches über die Auswertung historischer und moderner Datensätze in Kombination mit räumlicher Dokumentationen erstmals einem ganzheitlichen und voll digitalen Ansatz folgt. Das Ergebnis ist eine Risikoklassifizierungskarte für den gesamten Verlauf der Stadtbahnlinie U35 sowie ein 3D- Untergrundmodell zur Visualisierung der unterirdischen (hydro-) geologischen und nachbergbaulichen Verhältnisse.

Nur durch die integrierte Nutzung der vierten Dimension (Raum-Zeit) konnten Aussagen für die zukünftigen Programme des nachbergbaulichen Geomonitorings und des kommunalen Risikomanagements für die analysierten Risikobereiche der Stadtbahnlinie U35 erarbeitet werden.

ABSTRACT:

The U35 underground line runs through the cities of Bochum and Herne in the central Ruhr area and is one of the central underground lines with several tens of thousands of passengers per day. The line thus forms the backbone of local public transport in the central Ruhr area. The route is perpendicular to the strike of the geological structures and passes through the complete history of shallow and deep mining.

The aim of the NAMIB research cooperation between the City of Bochum and the Research Center of Post-Mining was to assess the risks associated with the rebound of mine water in the course of the underground line from the perspective of post-mining. In order to be able to prove the integrity of the underground line, potential geoscientific-technical, mining- and tunnelling-specific risk elements in the study area were transferred into a classification system, which for the first time follows a holistic and fully digital approach by evaluating historical and modern data sets in combination with spatial documentation. The result is a risk classification map for the entire course of the U35 light rail line as well as a 3D

underground model for visualising the hydro-/geological and post-mining conditions in the underground.

Only through the integrated use of the fourth dimension (space-time) could statements be developed for the future programmes of post-mining geomonitoring and municipal risk management for the analysed risk areas of the U35 underground line.

1 Einleitung

Der Nachbergbau betrifft ganze Regionen. Aufgrund des intensiven und weit verbreiteten Steinkohlenbergbaus zeichnet sich das Ruhr-Revier durch ein erhebliches Potenzial an alt- und nachbergbaulichen Strukturen aus. Von dem alten Bergbau mit seinen zahlreichen Schächten und Stollen geht auch heute noch ein nicht zu unterschätzendes Gefährdungspotenzial für die Tagesoberfläche aus. Daher umfasst der verantwortungsbewusste Umgang mit diesen Strukturen den Aufbau und die Entwicklung einer Risikobewertung. Anlass für die vorliegende Studie ist der geplante bzw. laufende Grubenwasseranstieg in der Region und seine möglichen Auswirkungen auf die U-Bahn-Trasse der Linie U35 (Abb. 1).

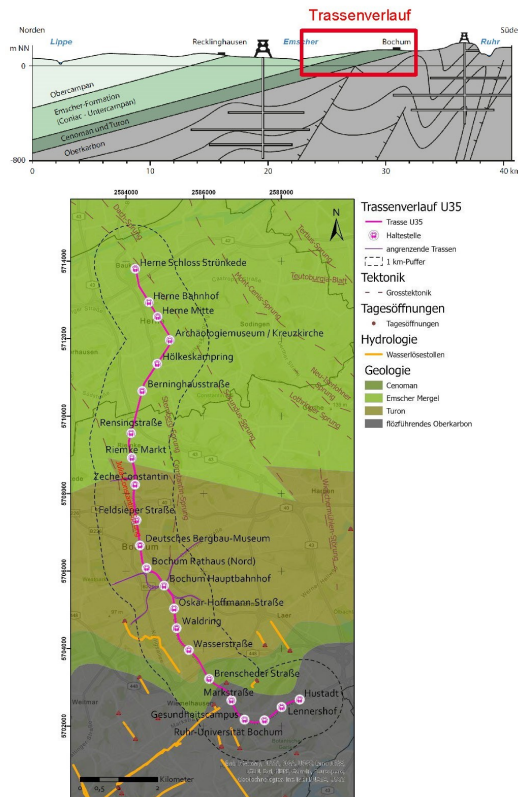


Abb. 1: Schematischer Schnitt durch das Steinkohlengebirge nach Melchers et al. (2019) ohne Maßstab (oben) mit Darstellung des Linienvverlaufs der U35 auf der abgedeckten geologischen Karte (Geoportal 2023) (unten).

2 Methodik

Nach- und Altbergbau- Monitoring ist ganzheitlich und muss eine Vielzahl an Daten wissenschaftlich verarbeiten. Dabei stellen sich die Art und Herkunft der verfügbaren Daten ganz unterschiedlich dar. Von handschriftlichen Grubenrissen aus dem Jahr 1890 bis zu satellitenbasierte SAR-interferometrischen Messungen müssen die Daten analysiert und in ein Format überführt werden, das einen Ab- bzw. Vergleich erlaubt. Aufgrund dessen bestand ein wesentlicher Teil der Arbeit aus einer intensiven Recherche und Aufbereitung von heterogenen Daten in Form von analogen wie digitalen Geodaten mit u.a. Grubenrissen, Karten, Schnitten, Geländemodellen, Orthophotos, Fernerkundungsdaten, Informationsdiensten. Ein Schwerpunkt wurde auf die Verwendung von offenen Geodaten gelegt:

- Geologischer Dienst NRW, GD NRW (u.a. Geoportal und Bohrungsdatenbank)
- Bezirksregierung Arnsberg, Abt. 6 Bergbau und Energie in NRW, BRA (Anwendung „Gefährdungspotenziale des Untergrundes“, GDU NRW)
- Bezirksregierung Köln (GeoBasis NRW und Geoportal NRW)
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW, MULNV NRW (ELWAS Web)
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR (Bodenbewegungsdienst Deutschland, BBD)
- RAG AG (Bürgerinformationsdienst, BID)

Erst nach Systematisierung dieser Daten und der methodischen Entwicklung des Auswerteverfahrens konnten Risikoelemente klassifiziert werden. Risikoelemente sind heterogene Strukturen an und unter der Tagesoberfläche, die den Bereich der U-Bahn-Trasse beeinflussen können. Ein Risiko besteht in der vorliegenden Diskussion um die Stadtbahntrasse der U35 darin, dass sich die Belastung auf die Dehnungsfugen der Betonelemente des U-Bahn-Tunnels aufgrund von Bewegungen im Erdreich verändern kann und im schlimmsten Fall zu hoch wird. Diese Bewegungen können geogener Natur, aber auch menschlich induziert sein. Hierbei sind besonders die Veränderungen der hydrogeologischen Gegebenheiten wie die Wasserwegigkeiten im Gestein bzw. Gebirge zu beachten, die sich beispielweise als mögliche Vernässungen hinter den Dehnungsfugen bilden können. Daher finden in der Risikoabschätzung alle Elemente, die einen Einfluss auf den Wasserhaushalt um die Trasse haben können, besondere Berücksichtigung. Dazu wurde ein Ablaufdiagramm entwickelt (Abb. 2).

Die identifizierten Risikoelemente umfassen insgesamt 7 Gruppen:

1. Tektonische Elemente,
2. Tagesbruchzone,
3. Dokumentierte Altstrukturen,
4. Veränderte Gewässerverläufe,
5. Schichtgrenzen,
6. Bodenbewegungen und
7. Gefährdungspotenziale des Untergrundes.

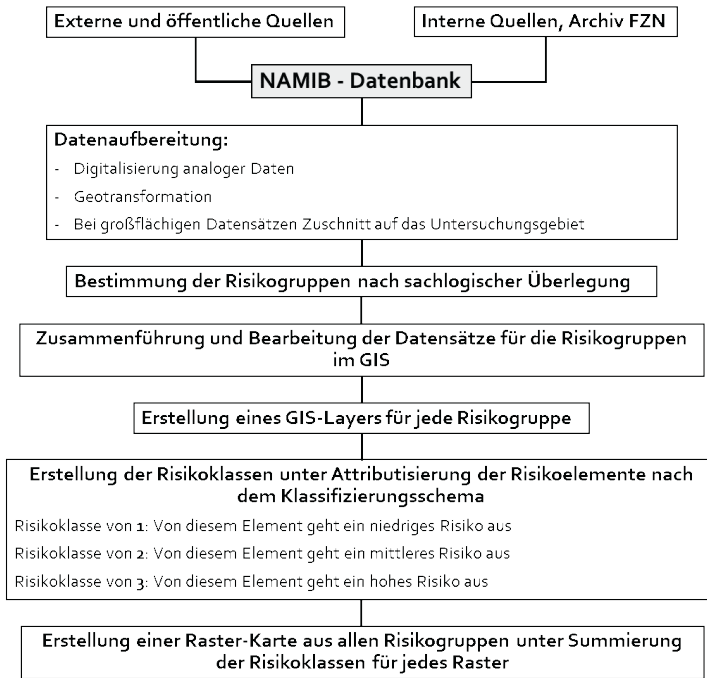


Abb. 2: Ablaufdiagramm zur Risikobeurteilung im Projekt NAMIB.

3 Beschreibung der Ergebnisse

Nach der Integration der Datensätze in ArcGIS Pro, erfolgt die Darstellung der Risikoelemente entlang der Trasse wie in der Methodenübersicht beschrieben auf einer topographischen Karte (Abb. 3). Der Darstellung lässt sich bereits entnehmen, dass bis auf wenige Bereiche im Norden das gesamte Untersuchungsgebiet aufgrund der geologischen, alt- und nachbergbaulichen bzw. geographischen Bedingungen einem potenziellen Risiko unterliegt.

4 Interpretation

Der große Umfang des ehemaligen Bergbaus im Ruhrgebiet stellt insbesondere vor dem Hintergrund der hohen Siedlungsdichte eine zentrale Herausforderung dar. Das Ziel dieser Studie ist der Nachweis der langfristigen Integrität der Stadtbahntrasse der Linie U35. Diese führt durch die Städte Bochum und Herne, die zu den am dichtesten besiedelten Flächen der Metropole Ruhr gehören. Die Siedlungsdichte erfordert einerseits ein intensives Risikomanagement, bietet andererseits aber auch eine höhere Datendichte, als in ländlicheren Regionen. Die bebauten Flächen sind oft gut erschlossen und bieten dort, wo eine Dokumentation vorhanden ist, Einblick in den Aufbau des Untergrundes. Einige dieser Daten sind auch öffentlich zugänglich.

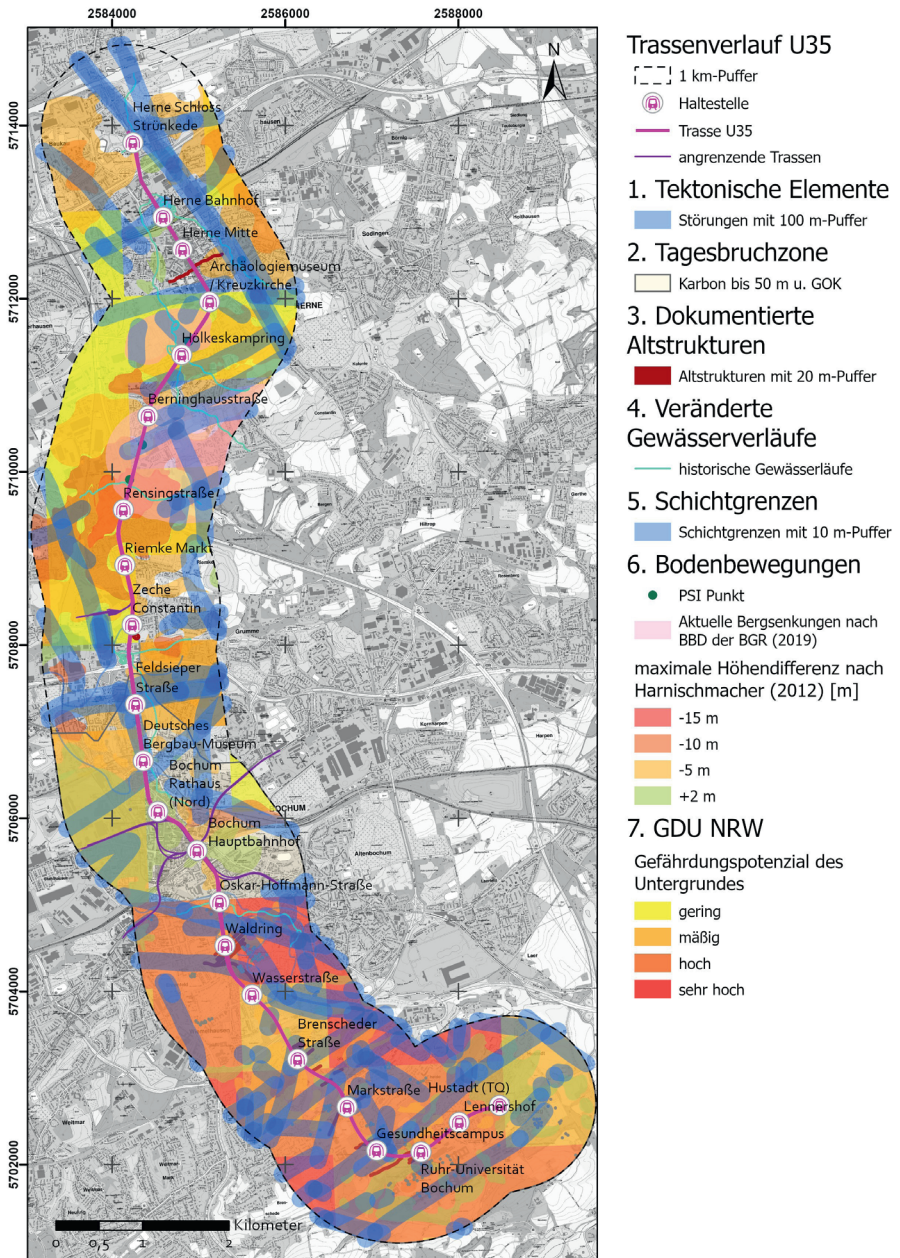


Abb. 3: Karte der Risikoelemente U35. Darstellung der behandelten Risikoelemente im Einflussbereich der Stadtbahntrasse U35.

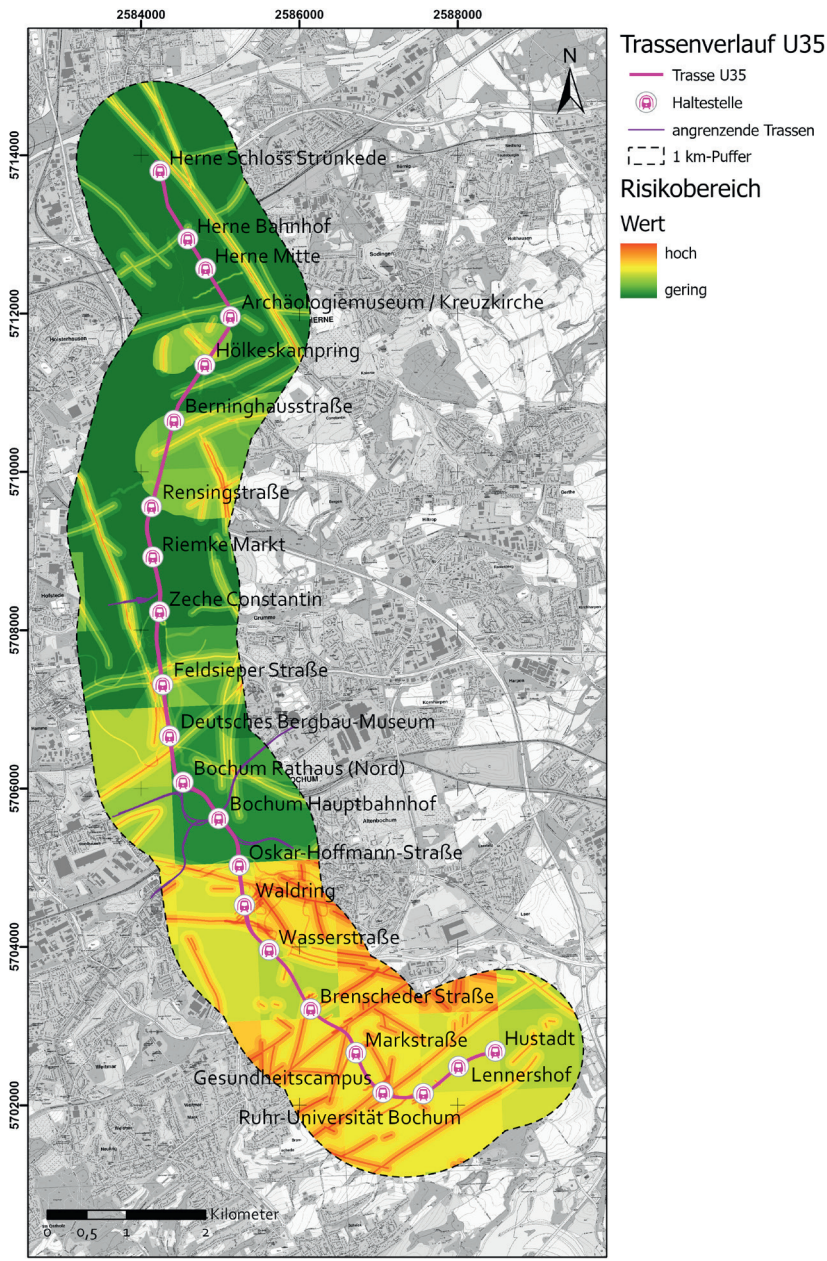


Abb. 4: Risikoklassifikationskarte U35. Darstellung der gewichteten Risikobereiche im Einflussbereich der Stadtbahntrasse U35.

Die Klassifizierung dieser Strukturen resultiert in einer Risikoklassifizierungskarte, auf der insgesamt drei Zonen sichtbar werden, die ein erhöhtes Gefährdungspotenzial aufweisen (Abb. 4). Hierbei handelt es sich um Bereiche im Umfeld der Haltestellen Rensingstraße, Feldsieper Straße und südlich der Oskar-Hoffmann-Straße.

Die betroffenen Streckenabschnitte der Linie U35 sollten im Rahmen eines Risikomanagements regelmäßig durch Ortsbegehungen bzw. in-situ-Messtechnik überprüft werden.

5 Zusammenfassung

Die Stadtbahnlinie U35 verläuft durch die Städte Bochum und Herne im mittleren Ruhrgebiet, das durch den intensiven und weit verbreiteten Steinkohlenbergbau ein erhebliches Potenzial an alt- und nachbergbaulichen Strukturen aufweist. Auch müssen hier zukünftig die Prozesse, welche durch den Grubenwasseranstieg ausgelöst werden, berücksichtigt werden.

Um die Integrität der Stadtbahntrasse nachweisen zu können, werden umfangreiche Geodaten zusammengetragen, ausgewertet und als potenzielle Risikoelemente im Untersuchungsgebiet in ein Klassifikationssystem überführt. Das Ergebnis ist eine Risikoklassifizierungskarte für den gesamten Verlauf der Stadtbahnlinie U35 zur Visualisierung der unterirdischen (hydro-)geologischen und nachbergbaulichen Verhältnisse. So konnten drei Bereiche identifiziert werden, die nach dieser Klassifizierung ein erhöhtes Risiko in Bezug auf die Dichtigkeit und Standsicherheit der Tunnelelemente aufweisen könnten. Daraus wurde die Empfehlung abgeleitet diese Bereiche zukünftig zu überwachen.

Die vierdimensionale Auswertung von Geodaten ermöglicht das nachbergbauliche Geo- und Umweltmonitoring im kommunalen Risikomanagements zur Anwendung zu bringen.

6 Danksagung

Das Forschungszentrum Nachbergbau dankt der Stadt Bochum und hier insbesondere den Vertreter:innen des Tiefbauamtes für die finanzielle Förderung der Forschungskooperation und die bereitgestellten Geodatensätze.

Des Weiteren wird der Bezirksregierung Arnsberg – Abteilung 6 – Bergbau und Energie in NRW für die Bereitstellung des Auszuges von Geodaten aus der Bürgerversion des Portals FIS GDU gedankt.

LITERATURVERZEICHNIS

Geoportal NRW, 2023, <https://www.geoportal.nrw/>

Melchers, C.; Westermann, S.; Reker, B.: Evaluierung von Grubenwasseranstiegsprozessen – im Ruhrgebiet, Saarland, in Ibbenbüren sowie weiteren deutschen Steinkohlenrevieren und dem angrenzenden europäischen Ausland. Projektbericht. Bochum: Selbstverlag des Deutschen Bergbau-Museums Bochum (Berichte zum Nachbergbau 1), 2019, <https://doi.org/10.48771/43qw-vp33>

Rückzug aus dem Grubengebäude Zollverein – Herausforderungen an die Bauausführung

**Sven Bock¹, Tobias Friedrich¹, Leonard Reif¹,
Benjamin Röhl², Alexander Hopf²**

¹DMT GmbH & Co. KG

²RAG Aktiengesellschaft

ZUSAMMENFASSUNG:

Die Schachanlage Zollverein 2/12 war bis Anfang 2023 ein zentraler Wasserhaltungsstandort der RAG AG. Jährlich wurden an dem Standort etwa 7 Mio m³ Grubenwasser durch den untertägigen Wasserhaltungsbetrieb zu Tage gefördert und in die Emscher eingeleitet. Das langfristige Wasserhaltungskonzept sieht vor, dass die Zollverein-Wässer untertägig über die Provinz Prosper dem zukünftigen zentralen Wasserhaltungsstandort Lohberg zufließen. Im Rahmen des Rückzuges werden die Schächte Zollverein als Sicherungsstandort ausgebaut. Durch diese Maßnahme soll ein Heben von Grubenwasser im übertägigen Pumpbetrieb im Bedarfsfall ermöglicht werden. Hierfür sind umfangreiche Umbaumaßnahmen in den beiden Schächten ZV 2/12 erforderlich. Im vorliegenden Vortrag werden die Rückzugsmaßnahmen dargestellt und auf die Verwahrung der Schächte eingegangen.

ABSTRACT:

Until the beginning of 2023 the Zollverein 2/12 mine was a central water management site of RAG AG. Every year about 7 million m³ of mine water was pumped to the surface at the site by means of the underground water management operation and consequently discharged into the Emscher. The long-term water management concept envisages that the Zollverein water will flow underground via the Prosper province to the future central water management site at Lohberg. As part of the retreat, the Zollverein shafts will be developed as a safeguard site. This measure is intended to make it possible to lift mine water in surface pumping operations, if necessary. To achieve this goal extensive adjustments and enhancements in the two shafts ZV 2/12 were necessary. In this paper the performed development is described focusing on the maintenance of the shafts.

1 Einleitung

Die Schachanlage Zollverein 2/12 ist ein zentraler Wasserhaltungsstandort der RAG AG in der Emscher-Schiene. Im Jahr 2015 wurden dort etwa 7 Mio. m³ Grubenwasser durch den untertägigen Wasserhaltungsbetrieb zu Tage gefördert. Damit ein Heben von Grubenwasser durch übertägige Einrichtungen im Bedarfsfall ermöglicht werden kann, muss der Standort Zollverein dementsprechend umgerüstet werden (Abbildung 1). Hierzu waren Umbaumaßnahmen an beiden Schächten ZV 2 und ZV XII und die Verwahrung unter Berücksichtigung der geologischen und geotechnischen Randbedingungen und aller derzeit gültigen Vorschriften erforderlich.



Lebensräume schaffen und sichern

Ehemalige Industrieareale sind potentielle Nutzflächen im städtischen wie ländlichen Umfeld. Mit Erfahrung, technischem Knowhow sowie wirtschaftlichem Denken und Handeln unterstützen wir Sie bei der Erstellung und Umsetzung von innovativen Nutzungskonzepten für neue Lebensräume.

- Altbergbau und Folgenutzung
- Altlastensanierung
- Bauen im Bestand
- Baugrunderkundung und -bewertung
- Bergschadenkundliche Analyse
- Bodenmanagement
- Deponietechnik
- Flächenrecycling
- Geotechnik
- Hydrogeologie und Wasserwirtschaft
- Individualsoftwareentwicklung
- Spezialtiefbau und Bautechnik
- Technisches Marketing
- Umweltkataster
- Verschluss und Stilllegung von Bergwerken

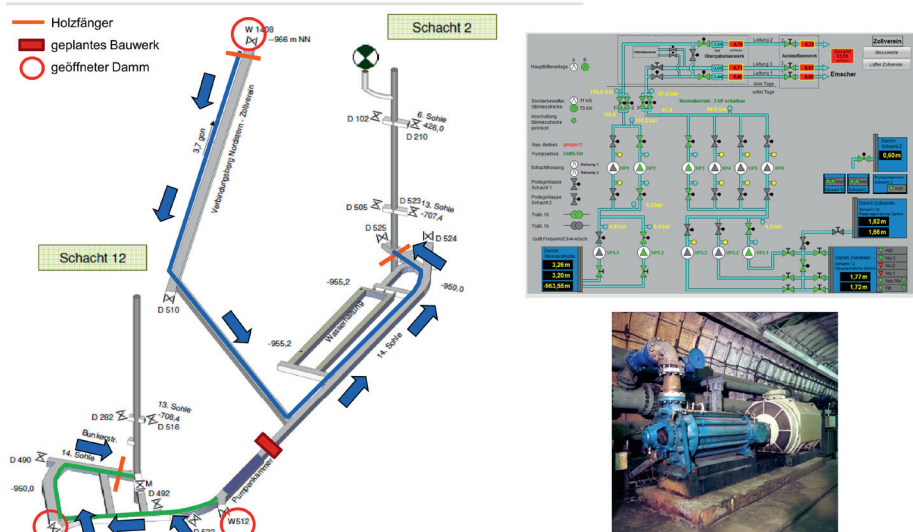


Abb. 1: Fließwege bei getrenntem Heben der Grubenwässer, Visualisierung der Wasserhaltung Zollverein während der Überwachung und die Hauptpumpe unter Tage

Unter der dauerstandsicheren Teilverfüllung eines Schachtes wird im Steinkohlenbergbau das Einbringen eines selbsttragenden, kohäsiven, lage- und erosionsbeständigen Füllsäulenabschnittes verstanden. Der kohäsive Füllsäulenabschnitt muss in Gebirgsbereichen eingebaut werden, die hinsichtlich der Festigkeits- und Verformungseigenschaften in der Lage sind, dauerhaft Lasten aus der Füllsäule sicher aufzunehmen (Verwahrungshorizont). Eine dauerstandsichere Teilsäule gründet im Bauzustand auf einem temporären Widerlager, welches in die Betrachtungen zur Langzeitsicherheit nicht mit einbezogen werden darf. In der Regel werden für diese Widerlager Stahl-Schalungsbühnen oder – heute in seltenen Fällen – unterlagernde Lockermassensäulen verwendet. In den beiden Zollverein Schächten erfolgte die Gründung der Schalungsbühnen aus arbeitstechnischen Gründen im Bereich von Anschlägen.

Im vorliegenden Vortrag wird auf Basis der geologischen, geotechnischen und bergbaulichen Gegebenheiten am Standort, die dauerstandsichere Schachtverfüllung unter Berücksichtigung der o. g. Randbedingung dargestellt. Im Rahmen der Planungen mussten, neben den genannten Bedingungen, gleichfalls weitere betrieblichen Anforderungen hinsichtlich Bewetterung und Wasserhaltung berücksichtigt werden. Ein wichtiger Bestandteil der Umrüstung waren weitere bautechnischen Maßnahmen in den Schächten, wie z. B. Sanierung des Ausbaus mit Rauben des lockeren Mauerwerks, Einbau von Sicherungsmatten, Setzen von Anker und lokaler Erneuerung des Ausbaus.

Die Schächte Zollverein wurden im Rahmen der Planungstätigkeit erstmals im Jahr 2017 befahren, danach wiederkehrend zu unterschiedlichen Fragestellungen. Der explosionsssichere Abschluss bei der Schächte erfolgte im März 2023. Die anschließende Verfüllung sollte laut Planung Ende 2024 abgeschlossen sein.

2 Umrüstung unter Tage

2.1 Untersuchung und Erneuerung des Schachtausbaus

Für die Bewertung der beiden Schächte am Standort Zollverein wurden im Jahr 2019 mehrere Schachtbefahrungen durchgeführt und eine Schadgradaufnahme des gesamten Schachtmauerwerkes erstellt. Im Rahmen der Befahrungen wurde der Ist-Zustand aufgenommen. Die Ergebnisse dienen der Bewertung und einer zeitlichen Prognose für die erforderlichen Sicherungsarbeiten.

Insgesamt wurden folgende Schäden in beiden Schächten beobachtet:

- erhöhte Konvergenz des Mauerwerks,
- ausgespülte Fugen,
- loses Mauerwerk und Mauerwerkslockerung (das Rauben lockeres Mauerwerk war erforderlich),
- größere Defekte des Mauerwerks (das Rauben lockeres Mauerwerk und zusätzliche Sanierungsmaßnahmen waren erforderlich),
- Risse/Spalten im Mauerwerk.

Den Mauerwerksschäden wurden vier Prioritätsgruppen zugeordnet:

- Gruppe 1 mit Schäden, die kurzfristig saniert werden müssen,
- Gruppe 2 mit Schäden, die vor Aufnahme der Schachtverfüllung saniert werden müssen,
- Gruppe 3 mit Schäden, die saniert werden müssen, falls die Schachtverfüllung nach 2021 erfolgt,
- Gruppe 4 (gekennzeichnet als „*“) mit Schäden und Sanierungsmaßnahmen, die nicht geschätzt werden konnten; Abschätzung ist hier erst nach ablösen des losen Mauerwerks möglich.

Es wurde festgestellt, dass wegen der Mauerwerksschäden in den beiden Schächten umfangreiche Sanierungsmaßnahmen erforderlich sind (Tabelle 1). Folgende notwendigen Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen wurden abgeleitet:

- Sicherungsmatten,
- Anker,
- Erneuerung der ausgespülten Fugen,
- Rauben des lockeren Mauerwerks,
- Rissüberwachung.

Tab. 1: Zusammenfassung der Schadensaufnahme des Ausbaus im Schacht ZV XII

Teufe			Festgestellte Mauerwerksschäden				Fläche, m ²	Sanierungsmaßnahmen/Priorität				
von	bis		N	E	S	W		Sicherungs- matten	Anker	Erneuerung der Fugen	Rauben lockeres Mauerwerk	Erneuerung des Ausbaus
1	46	48	L	L	L	L	48				2	
2	88	95	F	D, L	F		7			3	2	3
3	95	115	F				120			3		
4	150	151	D, L				4		*		2	*
5	175	180	L				30				2	
6	178	184			D, L	D, L	54	2	2		1	3
7	178	206			L		56	*	*		2	*
8	204	206	D, L				6				1	3
9	215	232	D, L	K, L, D	D, L	D, L	255	1	1		1	
10	232	253	L	K, L	L	L	502	3	3		2	*
11	378	386			F		80			3		
12	394	396	D, L				6			3	2	3
13	407	414	F	F			84			3		
14	415	418		D, L	D, L	D, L	51	*	*		2	*
15	415	421			D, L	D, L	30	1	1		1	*
16	430	451	F	F	F		378			3	3	
17	451	464	F	F	F	F	311			2	2	*
18	464	483		F			114			3	3	*
19	470	485	K				90		3			
20	492	496	K, L	K, L			32	1	1		1	*
21	498	501	K, L, D		K, L, D		27	1	1	3	1	3
22	515	519		D, L			8		2		1	
23	533	536	K, L, D	K, L, D			24	1	1		1	*
24	548	557		K, L, D			36	1	1		1	
25	555	560	K, F				25		3	3		
26	560	566	K				30		3			
27	578	583			K		30		3		3	
28	592	601		K			54		3	3	2	
29	608	612	D, L			L	36	*	*		2	
30	630	655	L				175	*	*		2	
31	654	670	B		B	B	224				3	
32	670	680			B		60				3	
							Σ Fläche (1)	404	404	0	464	0
							Σ Fläche (2)	54	54	311	1280	0
							Σ Fläche (3)	502	731	895	428	100
							Σ Fläche (*)	318	322	0	0	1124
							Σ Fläche	960/1278*	1189/1511*	1206	2172	100/1224*
							Erläuterung: K - Konvergenz F - Ausgespülte Fuge D - Mauerdefekt L - Loses Mauerwerk, Mauerwerkslockerung B - Starker Belag					
							Erläuterung: 1 - Kurzfristige Sanierung erforderlich 2 - Erforderlich vor Aufnahme der Schachtverfüllung 3 - Festlegung der Maßnahme falls Schachtverfüllung erfolgt nach 2021 * - Abschätzung möglich erst nach ablösen des losen Mauerwerks					

Die notwendigen Sanierungsmaßnahmen konnten im Frühling 2020 in beiden Schächten abgeschlossen werden. Für die Beurteilung des Zustandes des Ausbaus und des Gebirges wurden zudem weitere Kernbohrungen aufgenommen und ausgewertet (Abbildung 2).



Abb. 2: Kernbohrungen im Schacht 2

- a) Kernbohrloch 1 bis 4, Teufe 626 m, b) Kernbohrloch 5 bis 8, Teufe 636 m,
c) Kernbohrloch 9 bis 12, Teufe 646 m Kernbohrungen im Schacht 2

In Abstimmung mit der RAG erfolgten Laborversuche an den gewonnenen Kernen zur Bestimmung der Mauerwerksfestigkeit. Ergänzend zu den Labordruckversuchen hat die Fa. IBH eine Vorrichtung zur in situ Ermittlung der zulässigen Mauerwerkspressung erarbeitet (Abbildung 3).

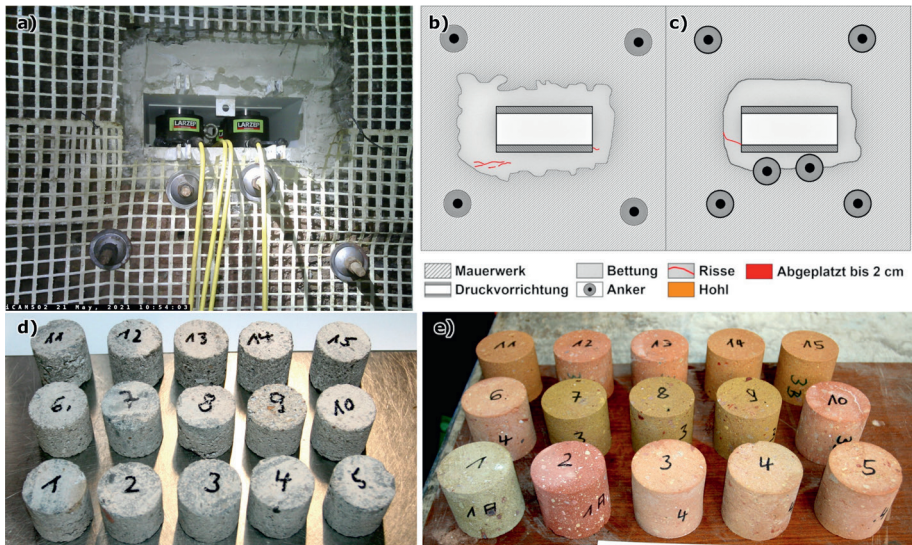


Abb. 3: Versuche zur Bestimmung Mauerwerksfestigkeit im Schacht ZV XII

- a) Südlich-östliche Prüfstelle im Schacht Zollverein XII, Teufe ca. 638 m, b) Verteilung von Beschädigungen des Mauerwerks nach durchgeführten Druckversuchen in der nördlich-westlichen Prüfstelle, c) in der südlich-östlichen Prüfstelle, d) Proben des Mauermörtels vorbereitet für Druckversuche, e) Proben der Ziegel vorbereitet für Druckversuche

Anhand der Ergebnisse erfolgte die Festlegung der charakteristischen Druckfestigkeit des Mauerwerks in beiden Schächten. Die Gebirgsqualität im Schacht 2 war anhand der Bohrkerns als brüchig zu bewerten. Aufgrund von Ausbaurisiken, Hohlräumen und festgestellten Spülwasserverlusten während der Bohrarbeiten wurde die Gebirgsanbindung des Ausbaus als nicht ausreichend eingestuft. Zur Gewährleistung eines sicheren Lastabtrages der Schalungsbühne in das Gebirge, musste auf Grundlage der Erkundungsergebnisse eine Vergütung des Gebirges zwischen 625 m und 655 m Teufe bis zu einer Bohrtiefe von 3,0 m durchgeführt werden. Insgesamt konnten zur Verbesserung des Tragverhaltens ca. 10.200 kg Injektionsmaterial in die Fuge Ausbau/Gebirge und ca. 10350 kg Injektionsmaterial in das Gebirge eingebaut (Menge trockenes Material) werden. Als Injektionsmaterial kam HAT 33 zur Anwendung.

2.2 Einbau von Widerlagerkonsolen

Die Errichtung der Schalungsbühne erfolgt von einer an Ketten aufgehängten Arbeitsbühnen. Die Hüllrohre selbst wurden von ebenfalls an Ketten hängenden, verfahrbaren Hüllrohrmontagebühnen montiert. Zur Gewährleistung eines kontinuierlichen Arbeitsablaufes war es erforderlich in beiden Schächten Widerlagerkonsolen einzubauen. Somit war es möglich die verfahrbaren Arbeitsbühnen in unterschiedlichen Horizonten im Schacht abzuhängen.

Aufgrund des Zustandes des Schachtausbaus war nach dem Einbau der Konsolen an einzelnen Einbauorten zusätzliche Verstärkung des Mauerwerks erforderlich (Abbildung 4).

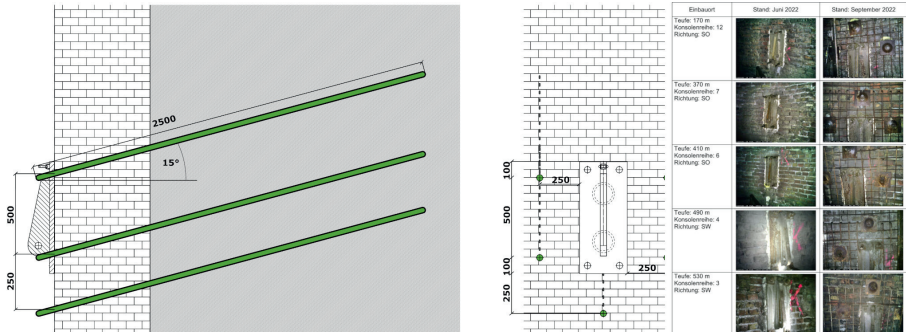


Abb. 4: Zusätzliche Sicherung der einzelnen Einbauorten und ausgewählte Beispiele vor und nach der Durchführung der Sicherheitsmaßnahmen

Aus den nachfolgend erfolgten Schachtbefahrungen, dem festgestellten Zustand des Schachtes nach den durchgeführten Sanierungsarbeiten, zusätzlichen Sicherung des Mauerwerks und dem Umfang der damaligen Wasserzutritte ergaben sich keine grundsätzlichen Einschränkungen hinsichtlich einer dauerstandsicheren Schachtverfüllung.

2.3 Umrüstung an den Füllörtern und der Verbindungsstrecken

Für das geplante Konzept der Wasserdurchleitung durch das Bauwerk auf der 14. Sohle mussten weitere Umbauarbeiten an den Füllörtern und in den Verbindungsstrecken vorgenommen werden (Abbildung 5). Dazu gehörte z. B. eine Weiterleitung über zwei Rohrleitungen zum Damm 1408 in Richtung ZWH Lohberg, wobei unterschiedliche Szenarien des Wasseranstiegs, Übertritte der Wässer in Richtung Bergwerk Prosper-Haniel und spätere Wasserannahme am Standort Lohberg betrachtet wurde.

Für die geplanten Einbauten wurden auch genaue Messungen von den vorhandenen Einbauten mittels Laserscanning durchgeführt. Auf diese Weise konnten z. B. die neuen Rohrleitungen nach Maß gefertigt und anschließend unter Tage montiert werden (Abbildung 6).

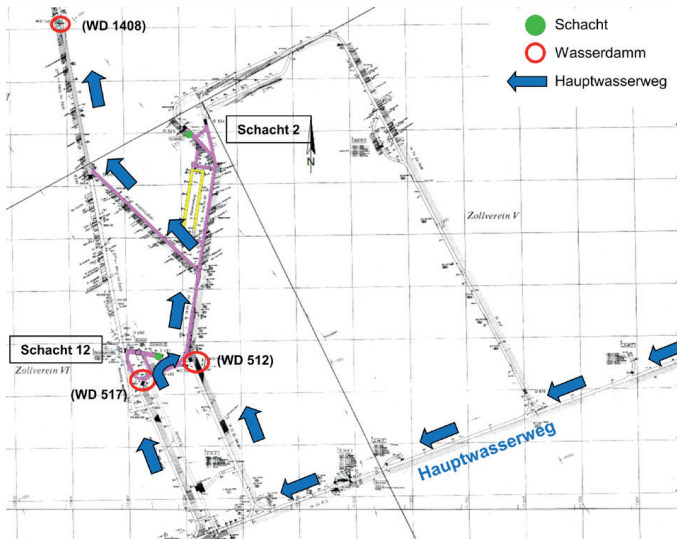


Abb. 5: Geplante Variante des wassertechnisches Feinkonzeptes

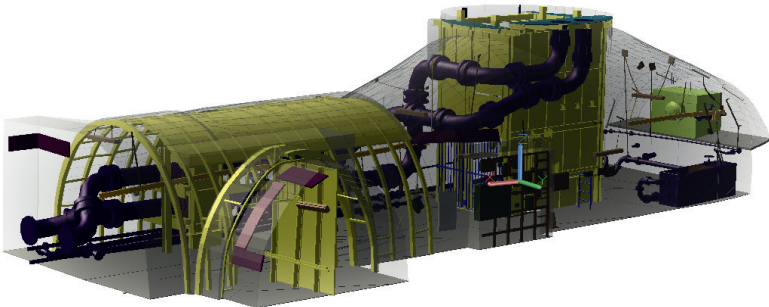


Abb. 6: CAD-Modell der Einrichtungen an der 14. Sohle im Schacht 2 auf der Basis der durchgeführten Messungen (Laserscanning)

3 Numerische Berechnungen der Standsicherheit

Für die Untersuchungen zur Bewertung der Standsicherheit der Füllsäule wurden numerische Berechnungen durchgeführt. Ein Beispiel des geomechanischen Ausgangsmodell für den Schacht ZV XII ist in der Abbildung 7 dargestellt. Anhand der einzelnen Einfärbungen werden die kohäsive Teilsäule, der Schachtausbau mit der Fuge und der umliegende Gebirgsverband dargestellt.

Nach der Erstellung des idealisierten Modells wurde die Geometrie anhand von Messungen angepasst, um die Schachtschiefstellung und Abstände der Schalung zum Ausbau abzubilden. Das fertige Modell wurde dann für die Berechnungen verwendet (Abbildung 8). Es ist zu beachten, dass in den Betrachtungen sowohl der Anfangszustand als auch der Endzustand untersucht wurde. Dabei wurden auch die durchgeführten Sanierungsmaßnahmen in den Berechnungen berücksichtigt.

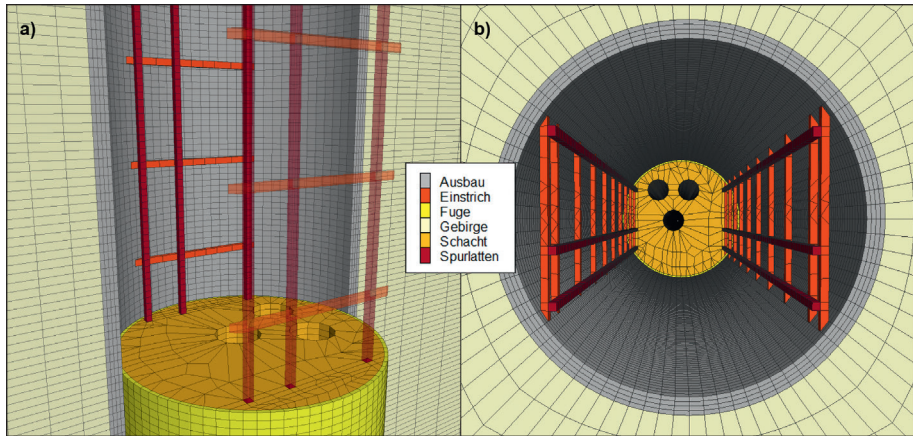


Abb. 7: Idealisiertes Modell des Schachtes. a) Längsschnitt des Modells während der Verfüllung, b) Querschnitt des Modells an der Oberkante nach der Verfüllung

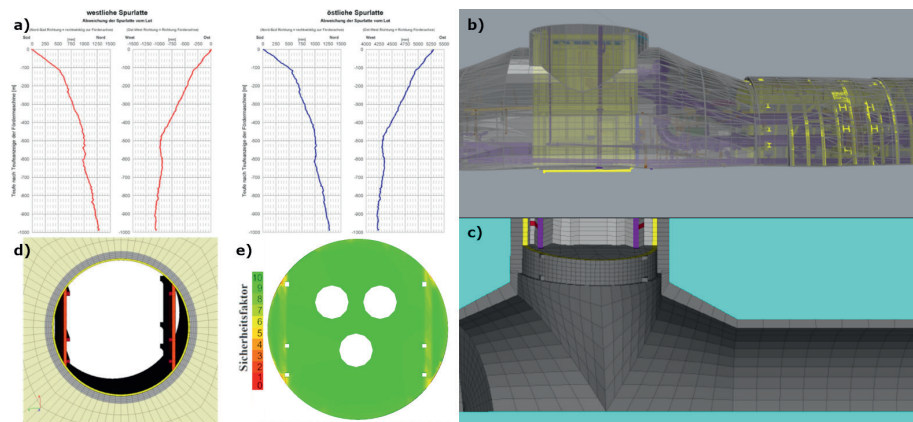


Abb. 8: Geomechanisches Ausgangsmodell. a) Ergebnisse der Bemessung mittels inertialer Schachtvermessung (IMU 5), b) 3D-Scan der 14. Sohle in einem AutoCAD Programm c) geomechanisches Modell in FLAC3D des Füllortes, d) Querschnitt des Schachtes (Ist-Zustand), e) Beispiel lokal begrenzten Bereiches mit niedrigen Werten der inneren Sicherheit im unteren Teil der kohäsiven Säule

Anhand der Ergebnisse von numerischen Berechnungen wurden die Verhältnisse zwischen den haltenden und treibenden Kräften sowohl in Bezug auf die innere als auch die äußere Sicherheit ermittelt. Nachfolgend wurde die Dauerstandsicherheit für die vorgeschlagene Verfüllvariante des Schachtes unter formulierten Randbedingungen sowie unter Berücksichtigung der geotechnischen Verhältnisse am Schachtstandort nachgewiesen.

4 Bauausführung der Verfüllung

Die weiteren Umbauarbeiten und Vorbereitungen wurden im Frühjahr abgeschlossen und die Verfüllung der beiden Schächte begann im März 2023.

Grundsätzlich erfolgt die Verfüllung beider Standorte über Rohrleitungen. Um die notwendigen Umbauarbeiten im Schacht durchführen zu können, wird eine Sonderbewetterung betrieben. Unter Berücksichtigung des Standortes „Weltkulturerbe Zollverein“ wurden besondere Anforderungen an die Verfüllmaßnahme gestellt. Die Anlieferung des einzubringenden Verfüllmaterials erfolgte über Betonmischer und musste ohne Einschränkung der für die Öffentlichkeit zugänglichen Bereiche durchgeführt werden. Zur Sicherung des öffentlichen Raumes an beiden Schachtstandorten wurde eine Leichtbauhalle errichtet, in der die Fahrmischer das Verfüllmaterial an eine Betonpumpe übergeben können. Zur Vermeidung von Eingriffen in die denkmalgeschützten Gebäude und zum Schutz der öffentlich zugänglichen Bereiche musste die Betonversorgung über eine oberirdische, horizontale Verfüllleitung von der Betonpumpe zum Schacht erfolgen. Zum Schutz der Umgebung und zur Reduzierung der Lärmemissionen wurde die gesamte Rohrleitung eingehaust (Sarkophag) und zusätzlich mit Dämmmaterial ummantelt. Die Länge der Verfüllleitung am Standort Zollverein 12 beträgt ca. 120 m. Die ausgewählten Anlagen für die Umsetzung der Verfüllung über Tage sind der Abbildung 9 zu entnehmen.

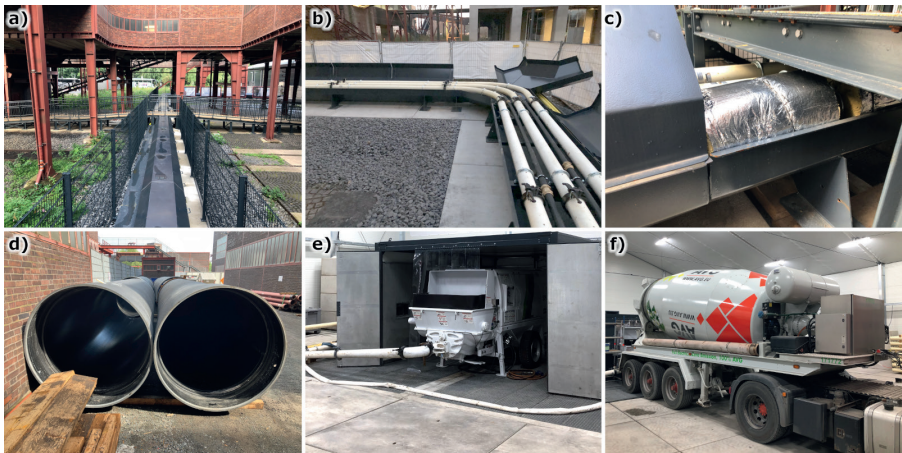


Abb. 9: Stationen zum Verfüllprozess über Tage: a) Verlauf der horizontalen Verfüllleitungen mit Umgebungsschutz (Sarkophag) und Absperrungen in öffentlich einzusehenden Bereichen, b) geführte Verfüllleitungen innerhalb des Sarkophages zwischen Leichtbauhalle und Schacht (hier Zollverein 12), c) mit Stahlwolle ummantelte Verfüllleitungen zur Reduzierung von Lärmemissionen, d) Vorhaltung von GFK-Hüllrohrsegmenten DN1400 x 6000 für Schacht Zollverein 12, e) eingehauste Betonpumpe innerhalb der Leichtbauhalle, f) Übergabepunkt des Verfüllmaterials über Fahrmischer an Betonpumpe innerhalb der Leichtbauhalle (Betrieb der Fahrmischer innerhalb der Halle mit E-Motoren)

Im Rahmen des Ausbaus der Schächte Zollverein 2 und 12 als Sicherungsstandort für die Grubenwasserhaltung werden im Schacht Zollverein 12 insgesamt drei Hüllrohrstränge eingebaut. Der Einbau erfolgt in Form von GFK-Hüllrohrsegmenten DN1400x6000. Nach dem Einbau der

Segmente erfolgt eine Einmessung zur Bestimmung der Lotrechte sowie zur Einhaltung der erforderlichen Abstände zueinander. Anschließend wird ein ca. 6 m hoher Abschnitt ausbetoniert. Auf der Schachtanlage Zollverein 2, auf der nur zwei Hüllrohrstränge eingebaut werden, erfolgt die Sicherung analog zu dieser Vorgehensweise.

Insgesamt wurden im Schacht ZV 2 zum Anfang September ca. 1.912 m³ Verfüllmaterial (Beton und Spülsuspension) eingefüllt und eine Verfüllhöhe von 87,35 m erreicht. Mit der Betonage des 15. Abschnitts wurden die Verfüllarbeiten für den Umbau der Windenkonstruktion planmäßig unterbrochen. Die bis zu diesem Zeitpunkt bisherige Windenkonstruktion soll geraubt und der leistungsstärkere Förderhaspels „Sedrun“ aufgestellt und in Betrieb genommen werden. Im Schacht ZV XII wurden bisher ca. 3.192 m³ Verfüllmaterial (Beton und Spülsuspension) eingefüllt und eine Verfüllhöhe von 76,33 m erreicht. Mit Beginn der 36. KW werden die Arbeiten an zwei Verfülltagen fortgesetzt. Danach soll die Verfüllung planmäßig im 3-2-3-Rhythmus erfolgen. Die Verfüllung soll laut Planung Ende des Jahres 2024 abgeschlossen sein.

5 Zusammenfassung

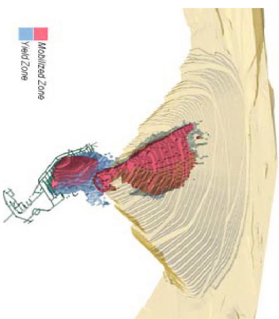
In den Beitrag wurden ausgewählte Herausforderungen an die Bauausführung beim Rückzug aus dem Grubengebäude Zollverein dargestellt. Es wurden bautechnischen Maßnahmen des Schachtausbaus aufgezeigt, die für die baupraktische Umsetzung nötig waren, wie z.B. Sanierung des Ausbaus mit Rauben des lockeren Mauerwerks, Einbau von Sicherungsmatten, Installation von Ankern und weitere Maßnahmen. Im Rahmen der Planung mussten, neben den genannten Bedingungen, gleichfalls weitere betrieblichen Anforderungen hinsichtlich Bewetterung und Wasserhaltung berücksichtigt werden. Weitere Aufgaben, die hier nicht beschrieben worden sind, wie Bewetterung, Umrüstung der Anlagen über Tage, Umrüstung des Gerüsts, Einrichtungen für die Überwachung der Ausgasung, Anpassung der Brandanlagen, und weitere Aspekte mussten ebenfalls durchgeführt werden. Die Vorgaben des Leitfadens der Bezirksregierung Arnsberg, Abt. „Bergbau und Energie in NRW“ für das Verwahren von Tagesschächten vom 05.12.2007 (Sammelblatt -86.18.13.1-8-35) wurden mit den durchgeführten Untersuchungen eingehalten und können bei der Umsetzung der Verfüllmaßnahme unter den hier definierten Anforderungen als erfüllt betrachtet werden.

Your Challenge - Our Service - One Solution

The ITASCA Consulting Group Inc. is an international consulting company with over 40 years of expertise in consulting, research and software development. We offer a wide range of services for design and optimization in the mining industry. Our global experience and expertise in geomechanics, hydrogeology and microseismics are employed by our clients to select the mining method, sequence and ground support that will maximize excavation stability and operational safety while minimizing development costs and maximizing productivity.

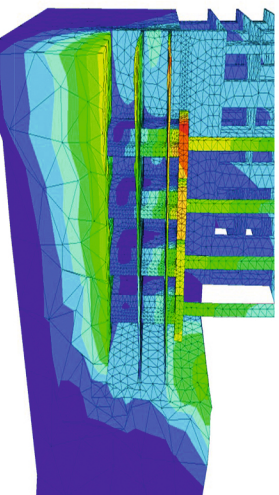
MINING SERVICES

- Near Surface Mining
- Open Pit Mining
- Deep Mining
- Longwall Mining
- Cave Construction
- Solution Mining
- Ground Freezing



CIVIL ENGINEERING SERVICES

- Slope Stability and Design
- Caverns and Tunnels
- Rockfill and Concrete Dams
- Supporting Structures
- Soil Liquefaction Evaluation
- Groundwater Flow
- Dewatering



The numerical hydrogeological model and groundwater rebound simulations in mining areas (Saxony mining region)

Kateryna Boiko, Justyna Blocka, Lothar te Kamp

ITASCA Consultants GmbH

ZUSAMMENFASSUNG:

A study, described in an article, examined the capacities of groundwater flow numerical modeling in groundwater rebound prediction tasks and its accuracy establishment in the areas of closed old coal mines. As a pilot study area, the Saxony coal mine region was established, which integrates more than 30 minefields of former interconnected by mines workings coal mines with more than 100 years long mining history.

ABSTRACT:

In contrast with half-analytical and box-type models, previously developed for the Saxony mining region and for other mining regions over the EU (Younger, 2016; Eckart, 2006 et al.), the numerical groundwater flow model enables to reconstruct the specifics of groundwater behaviour in frames of the entire desired catchment area, where coal mines fields are located. Thus, a further understanding of groundwater rebound influence evaluation on surface flooding as a concern of the established water balance components may be achieved. This study demonstrates the conceptual approach and numerical groundwater flow evaluation concept for the condition when pumping isn't maintained in place and any dewatering measures are not provided at the area to ensure the critical level of flooding. Additionally, adjustments in the form of calculation decisions (such as sensitivity analysis and multivariate simulations on a block-simplified model) needed to be developed to deal with hydraulic system parameters uncertainties and historical mining data insufficiency (lack of pumping rates information, number of mining horizons, mine workings features and geometry). The developed numerical hydrogeological model covers all common steps of precise and full-numerical simulations, including transient conditions simulations, that reconstruct the full range of mining stages during the mines' life. The special methodology of calibration was adjusted for this purpose – the cycle of steady-state, transient and prediction simulations of the groundwater level until the lowest possible RSMEs between observed and simulated on a model groundwater levels were achieved.

1 Introduction

The Lugau-Oelsnitz coalfields region (Fig. 1) is one of the large coal deposits' industrial sites in south-west Saxony, that has been mined during the continuous period. Namely, the region was renowned for its coal deposits and significantly shaped Germany's industrial revolution and economic growth in the 19th century (Bayerl, 2006) and achieved a production capacity surpassing 2 million tonnes of extraction produced by the 11 coal trades, reaching an excavation depth of 800-900 m (LfULG, 2010) by the beginning of the 20th century.

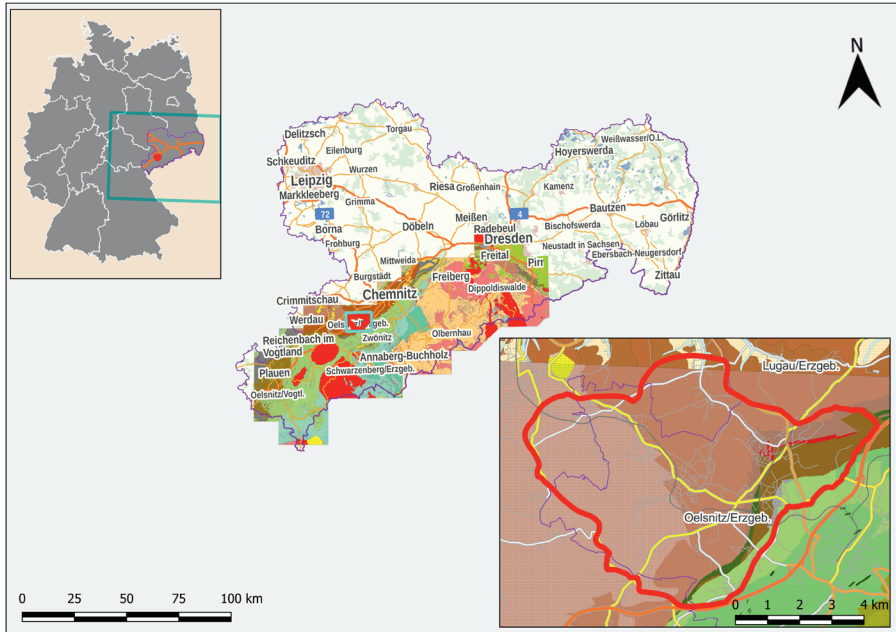


Fig.1: The location of the Lugau-Oelnitz study area
(Base map – the Precenozoic geological map – Source: luis.sachsen.de/geologie)

Such an intensive and rich region's mining history is not without its environmental repercussions. The range of the environmental issues, posed by coal underground mining, delegates to soil degradation, groundwater and surface water systems pollution, and, surface subsidence, which take place during the operational period and also go along the postmining process. Partly, the subsidence zones (or uplift zones) forming during the postmining period (if considering mine closure without further mine waters pumping measures implementation), are a consequence of rock mass deformations caused by the groundwater table recovery and, hence, by iterative changes in the pore fluid pressure state in a rock massive, that has been already significantly disrupted during the long-term mining history. The rock mass, characterized by significantly changed mechanical properties during the caving and extraction, is a subject of reduced resistance to the geostatic pressure during the mines' uncontrolled flooding and groundwater table recovery (Gee et al, 2023). Other negative impacts of groundwater table rebound after mining activities are waterlogging, surface flooding, and subsurface and surface water system violation, which are expected at the final stage of mine flooding and groundwater table recovery. Nevertheless, the prediction possibilities of these processes are complicated by the process understanding. The extraction of coal results in substantial void spaces underground, which subsequently affect the subsurface water table (Younger, 2004). The rebound phenomenon occurs when these voids are slowly refilled with groundwater after mining ceases, leading to a 'rebound' of the water table towards its pre-mining position. Thus, the process of groundwater rebound should be considered as consisting of several stages and hydrodynamic processes – mine workings flooding (that is mainly subject to the

laws of hydraulics) and groundwater table recovery to the priming stage (a subject to the laws of geofiltration). Unlike the analytical or semi-analytical approaches, that consider the mine workings system as a system of connected ponds (GRAM, Box-model) and can be efficient only within the mine working areas, numerical groundwater modelling enables to simulate the geofiltration process and can be extremely helpful in surface water logging predictions as it provides the understanding of groundwater flow directions in a entire groundwater system, that is involved in mines flooding, and its connection with a baseflow and a total water balance of the system. Numerical models are also may be more efficient in providing a basis for transport models construction and assessment of hydrochemical pollution associated with mine flooding at the investigated areas.

1.1 Database and data availability

1.1.1 Monitoring network

In the same way as according to the typical postmining management at the numerous coal mines sites, that were closing in the 70th-90th of last century, no technical preconditions were developed enough to supplement the groundwater monitoring network at the area of Lugau-Oelsnitz. So far, the groundwater monitoring within the investigated area is ensured by the Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology, the Department of Hydrogeology (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, die Abteilung für Hydrogeologie). The monitoring network includes two deep monitoring wells – “5246003” Oelsnitz, and “52420005” Gesdorf – drilled to the depth of the Carbon aquifer, establishing filter bottom at the depth 611 and 654 m respectively, and drilled directly into the near-mine space, allowing to observe the mines’ voids flooding situation. Monitoring well “Oelsnitz” has measured groundwater level since 2003 and monitoring well “Gesdorf” – since 2014.

The rest of the observation wells (Such as “5242084” Oelsnitz) that are situated within the investigated area are drilled to the upper aquifer system, providing groundwater levels behaviour related to the groundwater system with the non-artificial regime in a Quaternary and first from the surface formations.

1.1.2 Mining features data

The excavation expanded through the carbon operational layers (coal seams) and covered the depth interval from the absolute mark +180 m a.s.l to the absolute mark -450 m a.s.l. The average thickness of coal seams varies from 0.5 m to 5.0 m. Mining operations took place at 21 main mines and operational cross-sections. According to the calculations, provided by Dr. M. Eckart (Eckart, et al. 2006) a raw volume of 150 million m³ can be considered as a total volume of extracted deposits, while only 30% – 45-47 million m³ – of that volume, considering the reduction of the initial volumes by subsidence and backfilling, that happened during the mining history, may be used as a defining value of the residual underground volume and could be reasonable for the prediction calculations of mines flooding. According to the long history of mining, mining plans and other technical parameters, such as pumping rates, groundwater inflows to the mining horizons, location of horizons and horizons depth intervals, as well as production progress for each period of time, etc., are not saved.

2 Materials and Methods

To simulate the groundwater rebound process, worldwide recent scientific studies (González-Quirós and Fernández-Álvarez, 2019, Younger, 2004; Younger, 2016 and others) employ a numerical model that integrates various hydrogeological parameters of a three-dimensional hydrogeological system, including permeability, porosity, and storativity. By inputting these parameters, the numerical model works on spatial and temporal distribution of groundwater recharge predictions and enables to estimation geofiltration parameters as well as water budget component fluctuations effects in a post-mining groundwater system (Zhao et al., 2010) and during the groundwater table rising. These predictions are critical for anticipating potential environmental risks and formulating suitable management strategies in water management and environmental sustainability issues.

The numerical modeling has been widely tested recently as a tool for predicting hydrogeological problems associated with mines flooding at the pilot sites in countries, where the common situation with abandoned coal mines takes place – England, China, Ukraine, Germany, Spain.

In this study the MINEDW software package was used as a tool for the numerical groundwater flow simulations and predictions in a 3D groundwater system of the Lugau-Oelsnitz coal mines area. MINEDW is a three-dimensional (3D), groundwater flow program that was developed by Itasca specifically for mining applications MINEDW is used worldwide to design dewatering or depressurization systems, predict local and regional environmental impacts of mine dewatering and is used at more than 50 mines throughout the world for mining-related applications in diverse hydrogeologic and climatic conditions. Developed from FEMFLOW3D, MINEDW was validated by Sandia National laboratories in 1998.

The sequence and phasing of hydrogeological modelling within the Lugau-Oelsnitz study area included stages, described below.

2.1 *Setting up the numerical model*

Setting up the numerical model stage – includes all stages of the numerical model construction and includes preparation of data of the topography, elements of three-dimensional geological and hydrogeological structure, hydrogeological parameters range, specifying hydraulic boundary conditions and all necessary data incorporation and transforming from the conceptual to the numerical form.

The area of a constructed numerical model corresponds to a polygon with a maximum 7,8 km spreading from the North to South, and a maximum of 11 km – in the W-E direction. The total model domain area is 48 km². It includes 20 blocks that correspond to the coal-mines fields, including mines “Albert-Jacob”, “Helena”, “Merkur”, “Pluto”, “Kaisergrube”, “Deutschland I”, “Deutschland II”, “Rudolf-Breitscheid I, II” and others (Fig.2).

The hydrogeological units incorporated in the numerical model correspond to the 3D geological model and elements, presented at a LUIS geoinformation system. Hydrogeological units are defined according to the features of hydrogeological settings at the study area.

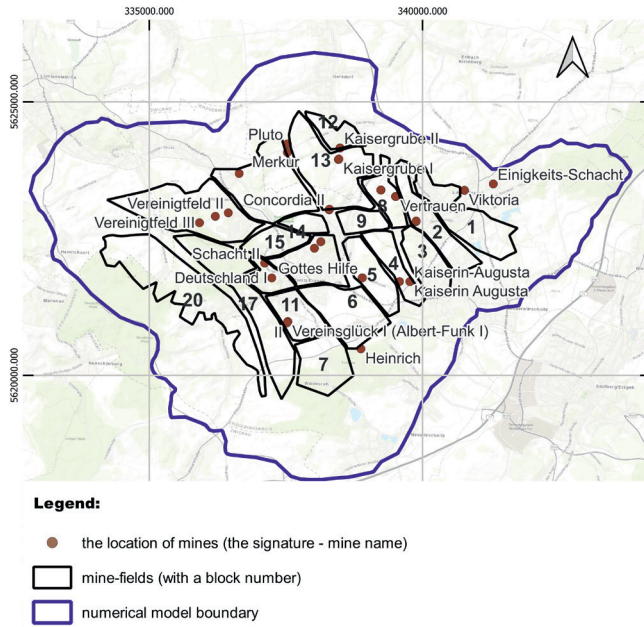


Fig.2: The hydrogeological numerical model domain and mine-fields that are covered by modeling

2.1.1 Hydrogeological and geological settings

The geological structure in the study area belongs to the Permo-Carboniferous formation, while the stratigraphical cross-section building comprises Ordovician, Carbon, Permian and Cenozoic deposits. Productive coal seams compose upper Carboniferous formation, that are presented as a conglomeratic coarse and and fine sandstones with layers of claystone and siltstones in grey facies. The Permian Rotliegend is the thickest unit in the study area (Felix et al. 2007), consists of a distinctive alternating sequence of conglomerates, siltstone and mudstone sequences, thin lacustrine carbonates, pyroclastic horizons and alternating layers of siltstone, medium and coarse sandstone. The Carboniferous-Permian boundary is marked by the occurrence of the “grey conglomerate” of the Lower Rotliegend. Similar to the Carboniferous units, the Rotliegend sediments represent erosion debris, which, after a long period of dormancy in the Upper Carboniferous, accumulated in an overlying Rotliegend depression formed above it.

The sedimentation in the Upper Carboniferous and later Permian took place on a tectonic unit, which is part of the Northeast Bavarian-Central Saxon fault zone. The study area is divided into tectonic blocks by the 16 Faults with NE-SW, NW-SE and N-S dip direction. According to the studies, faults at the investigated area survey rather like water screens than pathways. Nevertheless, the water conductivity of some zones needs further clarification and study, as there are uncertainties in hydraulic parameters of some fault zones as performed hydrogeological modelling demonstrated.

Due to the changes in the rocks and their different degrees of weathering in the individual formations, the groundwater flow varies considerably from one area to another. In particular the fracture-sensitive sandstones and conglomerates can represent good groundwater transmissivity. Thus, the up-per part of the Rotliegend (Müsseln formation) may play the most important role in groundwater re-charge zones forming and groundwater storage. The permeability of Müsseln formation in some cases can achieve 10-4-10-5 m/s (Veb Hydrogeologie, 1977).

Upper Carbon layers and deposits of Haertensdorf formation are considered as low permeable deposits and classified as aquitard, as well as volcanic and siltstone deposits of Planitz formation. Ordovician phyllites are characterized by low permeable properties (permeability – 10-9-10-7 m/s). That's why in hydrogeological modelling they serve as last division of hydrogeological system without assuming the discharge into the upper layers.

2.1.2 Hydraulic boundaries

Model hydraulic boundaries include surface zoning into the zones of recharge from precipitation, constant-head boundary conditions and rivers boundaries.

Direct recharge by infiltration of precipitated water occurs in all portions of the basin considered in the numerical model.

The area of investigation is principally a flat area representing the filled depression with maximum absolute height values +502 m a.s.l. and minimum values +298 m a.s.l., divided into the surface rivers subbasins network, created by watercourses of the rivers Rödlitzbach, Hegebach, Höhlbach, Lugauer and Würschnitz, etc.

The climate regime is warm and temperate. Average annual rainfall is evaluated in 970 mm with maximum precipitation amount in May – up to 130 mm. The annual evapotranspiration amount can be estimated as 20% of precipitation.

The data set with mean monthly groundwater recharge values in the form of recharge zones and historical time series was taken from the Water Resource Portal (www.umwelt.sachsen.de – Grundwasserneubildung). Values, obtained from a database, demonstrate the direct recharge in amount of 10-25% from the annual precipitation amount (22% – the catchment area of the Upper Würschnitz, 25% – Lugauer Bach catchment area).

Constant head boundary conditions were used to represent the model boundaries and the regional flow conditions imposed on them. According to the literature review, the groundwater table of initially not affected by the mining conditions may be set at the depth of 5-20 m below the surface for different parts of the area. Identified on a conceptual model and later in a numerical model groundwater flow features demonstrate preferential directions to the discharge zones with lower topographical marks. Constant heads are represented as flow inputs to the system, maintaining the main component of the water balance and defined minimum value of GWL at +320 m a.s.l. and maximum at the +440 m a.s.l.

Rivers in the numerical MINEDW model are assumed as specified head boundary conditions - drains.

2.2 Steady-state simulations

Steady-state simulations were performed in order to specify initial hydrogeological parameters of the inner hydrogeological structure and to establish natural groundwater flow distribution (ground-water levels), based on the known topography, 3D geological/hydrogeological structure, and known water balance components ratio.

2.3 Transient simulations

Transient simulations were conducted to recreate the mining period and to model the maximum groundwater drawdown, that was caused by mining operations within the investigated area.

The duration of transient simulations corresponds to the real-time frame of the mining operational period at the Lugau-Oelsnitz mining district that took place from approximately 1860-1871 to 1971 year.

The mining operations were simulated with help of drains nodes. Drains nodes are considered as zero-pressure conditions. Each drain is included in the simulation from a certain time (the number of drains 60), which corresponds to the beginning of the new mine horizon excavation stage. The rate of groundwater inflow equivalent for each drain is calculated as shown in Table 1.

Tab. 1: The groundwater inflow to the mining interval calculation example

Block No.	Depth Interval, m a.s.l	Area, km ²	Q m ³ /day by area	Voids volume, m ³	Q m ³ /day by Volume
20	-512- -641	1.8	246	1350500	370

2.4 Predictive simulations

Predictive simulations – were carried out to reconstruct the phase related to the start and the duration of mine working flooding, comparing obtained groundwater level recovery velocity with measurements from monitoring observation wells. Results from predictive simulations were obtained and compared with groundwater rising criteria – such as velocity, that has been observed since 2003 and 2014 for two monitoring wells. The predictive simulation involves 211 time-step intervals. In physical meaning, the duration of predictive simulations represents the time interval between 1971 and 2061.

3 Results and discussion

Based on steady-state conditions simulations the hydrogeological parameters of the major hydrogeological units were derived. Initially, parameters were obtained from the literature review (Veb Hzdrogeologie, 1977; Kolitsch, 2008 and others). The main calibrating criteria in a steady-state simulation was a convergence with conceptual water balance components. Though, uncertainties in some values still exist, such as rivers baseflow measurements (it was possible to check the appropriateness of calculated baseflow for the river Würschnitz only, as a referencing parameter was given by Kolitsch, 2008), the general distribution of the water balance components satisfy the features of the groundwater system.

In general, the depth to the groundwater table within the area of investigation ranges from 0,5 to 2 m, which could be the evidence of permanent effect of hydraulic boundaries, that are not affected by the mining operations. As a result of initial sets of simulations, it can be observed that maximum ground-water level drawdown achieves a mark at +175 m a.s.l., at the depth 147 m below the surface. The maximum drawdowns are related to the East-centre part of the investigated area (namely within lo-cated coal fields blocks 5, 6, 14, 15). The simulation results also show that the process of the ground-water table rebound was completed in 2014-2017, when natural absolute level marks, similar to mod-elled initial levels were achieved (Fig.3). Thus, the process of groundwater rebound might have lasted 43-46 years. The position of the groundwater level (2018-2020 year according to the predictive simu-lations result) at the east border part of the model has been demonstrating the lasting process of the groundwater recovery, while in the rest of the area it had been completed by that period, which could point to the case of unflooded upper mine workings, that exist within the area of 1st, 2d and 3d min-ing blocks of shallow old coal mines.

However, as measures demonstrate (Harms et al., 2016), the groundwater level in Oelsnitz rose from -40 m level to +50 m between 2006 and 2017. It means, that the groundwater level was much more dropped by the end of the mining period that achieved simulations shows. Such a difference may in-dicate that measurements were carried out at the vicinity of the mine shaft or other mine workings, which usually demonstrate a linear relationship between the flooding velocity and groundwater level during the flooding. Meanwhile the correlation in groundwater level behavior between measured lev-els for the monitoring well Oelsnitz "52420804" and simulated groundwater level with appropriate re-siduals in total in 50 m differences.

4 Conclusions

Initial results of groundwater modeling within the Lugau-Oelsnitz mining region demonstrated the following:

- Groundwater system and mine waters can be considered as a joint system now. More likely there is a connection between mines flooding and dynamic equilibrium with the local hydrogeological regime.
- The existing drainage system will participate in flow intake after the groundwater rebound level will achieve the drainage level of the surface network. Flooding – "water logging" – might be the result of combined processes, such as subsidence and remoistening of soils during the final stage of groundwater rebound.

Nevertheless, more simulations in a cycle "steady-state-transient-prediction" are needed to specify hydrogeological properties, as it has to be admitted that a detailed mining plan is key for a more precise understanding of the cone of depression size and behavior during the mining period. These details define the velocity and levels of groundwater rebound in the next prediction simulations and are necessary for more precise drain network establishment in the MINEDW model.

Entwicklung eines Entscheidungsmodells zur Nachnutzung von gefluteten Bergwerken

Mareike Bothe-Fiekert, Oliver Langefeld

Technische Universität Clausthal

ZUSAMMENFASSUNG:

In den letzten zwanzig Jahren hat die nachhaltige Bewirtschaftung von Nachbergbauregionen sowohl national als auch international erheblich an Bedeutung gewonnen. Insbesondere die Frage der nachhaltigen Wasserbewirtschaftung an aktiven und ehemaligen Bergbau-Standorten tritt als eine zukunftsweisende und komplexe Herausforderung in den Vordergrund. Geflutete Bergwerke stellen ein beträchtliches Reservoir für diverse innovative Nutzungsansätze dar. Neben der Funktion als Wasser- und Energiespeichersysteme kann aus ihnen bspw. unmittelbar Energie durch Wasserkraft- und Geothermieranlagen gewonnen werden. Derzeit sind Beispiele für die effektive Nachnutzung von Bergbaustandorten weltweit jedoch begrenzt, und eine gründlichere Untersuchung des europäischen Raums offenbart ein immenses Potenzial für die Wiederverwendung dieser Standorte. Ein Entscheidungsmodell, basierend auf der Multikriteriellen Entscheidungsanalyse (MCDA), wird entwickelt, um potenzielle Nachnutzungsstrategien für geflutete Bergwerke fundiert zu bewerten. Das Modell befindet sich noch in der Entwicklungsphase, mit einer umfassenden Literaturrecherche und der Erstellung einer Datenbank zur Kategorisierung gefluteter Bergwerke. Zukünftige Phasen konzentrieren sich auf die Weiterentwicklung des Modells und seine Prüfung durch Fallstudien, um ein tieferes Verständnis für die Nachnutzung gefluteter Bergwerke zu ermöglichen. Zusammenfassend bietet das Entscheidungsmodell eine innovative Perspektive auf den Lebenszyklus von Bergwerken, fördert die nachhaltige Wiederverwendung stillgelegter Bergbaustandorte und bietet neue Wege für eine effizientere und verantwortungsvollere Bergbauplanung.

1 Einleitung und Motivation

In den letzten zwanzig Jahren hat die nachhaltige Bewirtschaftung von Nachbergbauregionen sowohl national als auch international erheblich an Bedeutung gewonnen. Insbesondere die Frage der nachhaltigen Wasserbewirtschaftung an aktiven und ehemaligen Bergbau-Standorten tritt als eine zukunftsweisende und komplexe Herausforderung in den Vordergrund. Diese wird durch die dynamischen Aspekte der Erderwärmung, den gestiegenen Bedarf an Trink- und Brauchwasser in verschiedenen Sektoren und verschärfte politische sowie gesetzliche Rahmenbedingungen weiter intensiviert.

Der Bergbausektor, als ein signifikanter Wassernutzer, steht zunehmend in der Pflicht, die Ziele für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen (SDGs) zu unterstützen, um seine Legitimität und Rentabilität zu sichern. Hierbei stehen insbesondere die Sicherstellung der Wasserversorgung (SDG 6), die Förderung der Klimaresilienz (SDG 13) und die Minimierung negativer Umweltauswirkungen (SDG 3 und SDG 15) als Schlüsselbereiche einer nachhaltigen Bergbaustrategie im Fokus (Gao et al. 2017). Während für den aktiven Bergbau bereits innovative Ansätze zur

kreislauforientierten Wasserbewirtschaftung existieren, stehen bereits geschlossene Bergwerke vor speziellen Herausforderungen. Derzeit übersteigen die Betriebskosten der Wasseraufbereitung zur Reduzierung von Umweltauswirkungen die Einnahmen, die durch potenzielle Nachnutzungsstrategien des Standortes generiert werden (Tiessen 2021). Dabei stellen geflutete Bergwerke ein beträchtliches Reservoir für diverse innovative Nutzungsansätze dar. Neben der Funktion als Wasser- und Energiespeichersysteme kann aus ihnen auch unmittelbar Energie durch Wasserkraft- und Geothermieranlagen gewonnen werden. Neuste Aufbereitungstechnologien zielen auf eine Rückgewinnung wertvoller Ressourcen direkt aus dem Grubenwasser ab. Die verschiedenen Nutzungsperspektiven könnten dazu beitragen der Nachbergbauphase eines Bergwerks einen langfristigen Mehrwert hinzuzufügen und so das Missverhältnis zwischen Sanierungskosten und potenzieller Einnahmen zu verringern.

Trotz dieses Potenzials wird die globale Landschaft derzeit von negativen Beispielen verlassener Bergbau-Standorte dominiert, die erhebliche Umweltrisiken und wirtschaftliche Verluste mit sich bringen (van de Loo 2021). Eine Studie des Centre for Social Responsibility in Mining (CSR) an der University of Queensland bestätigte, dass nur ein geringer Prozentsatz der erfassten stillgelegten Bergwerke neue Nutzungsmöglichkeiten entwickelt hat. Besonders hervorzuheben ist hier, dass die tatsächliche Zahl der zur Nachnutzung geeigneten Standorte wahrscheinlich höher ist, da die Studie sprachliche und Umfangsgrenzen bei der Datenerhebung aufwies (Holcombe and Keenan 2020). Insgesamt wurden 1804 stillgelegte Bergwerke in der Standard & Poors Global Market Intelligence Database (S&P Database) erfasst, von denen nur 8% Aktivitäten zur Nachnutzung entwickelt haben. Erfasst wurden verschiedene Möglichkeiten zur Landnutzung stillgelegter Bergwerke, wobei häufig mehrere Nutzungsmöglichkeiten gleichzeitig realisiert wurden, ein Phänomen, das in der Studie als „Co-Purposing“ bezeichnet wird. Eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Schließungskonzepten sowie eine detaillierte Untersuchung des Grubenwassernutzungspotenzials innerhalb von gefluteten Bergwerken wurde nicht durchgeführt.

Eine genauere Untersuchung von gefluteten Bergwerken in Europa wurde im Rahmen einer Datenbank des UNEXMIN-Projekts, unterstützt durch die EU-Fördermaßnahme Horizon 2020 durchgeführt (Stasi et al. 2020). Diese umfassende Ressource listet mehr als 8000 Einträge zu gefluteten Bergwerken in 24 europäischen Ländern und unterstreicht das immense Potenzial für die nachhaltige Wiederverwendung dieser Standorte. Jedoch fehlen in dieser Datenbank Informationen zu den bereits implementierten Nachnutzungsstrategien an diesen Standorten, was eine Evaluierung des aktuellen Standes der Bewirtschaftungsstrategien erschwert. Zur Bewertung und Förderung der Nachnutzung dieser Standorte ist eine fundierte Forschung und eine umfassende Datenbasis erforderlich. Derzeitige Projekte wie UNEXMIN und Studien wie die von Holcombe & Keenan (2020) sind Schritte in diese Richtung, wobei die Betonung auf dem Potenzial für nachhaltige Nutzungsmöglichkeiten liegt.

2 Entwicklung des Entscheidungsmodells

Bisher war die Ausarbeitung von Nachnutzungskonzepten für stillgelegte Bergwerke vornehmlich standortspezifisch ausgerichtet, getragen von den individuellen Charakteristika der jeweiligen Standorte und den regional spezifischen Anforderungen. Im Gegensatz dazu soll mit Hilfe des

Entscheidungsmodells eine andere Perspektive eingenommen werden, an dessen Anfang eine Auswahl an Nutzungsmöglichkeiten stehen, welche auf Grund ihrer spezifischen Anforderungen für ein Bergwerk der entsprechenden Kategorie in Frage kommen oder nicht. Die Multikriterielle Entscheidungsanalyse (MCDA) stellt einen strukturierten Rahmen zur Bewältigung solch komplexer Entscheidungsprobleme dar. Diese Methode integriert zahlreiche, oft widersprüchliche Kriterien, und ermöglicht eine systematische Bewertung der Vor- und Nachteile unterschiedlicher Handlungsoptionen. Dabei orientieren sich die unterschiedlichen Methoden generell an der in Tabelle 1 dargestellten Grundstruktur (Geldermann and Lerche 2014):

Tab. 1: Grundstrukturen der MCDA am Beispiel Gebrauchtwagenkauf und Nutzungsstrategien von Grubenwasser in gefluteten Bergwerken nach Geldermann and Lerche 2014.

Strukturelement	Beispiel: Gebrauchtwagenkauf	Beispiel: Nutzungsstrategie von Grubenwasser in gefluteten Bergwerken
Alternativen	Wagen A, Wagen B, ...	Geothermie, Wasserkraftanlage, ...
Zielsystem	Mobilität	Nachhaltigkeit
Kriterien	Spritverbrauch, Leistung, ...	Technische Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit, ...
Präferenzen	Je mehr Zuladung, desto besser	Je mehr Einnahmen, desto besser
Kriterien Gewichtung	Sicherheit wichtiger als Leistung	Sicherheit wichtiger als Einnahmen

Dieser strukturierte Ansatz bedarf einer gründlichen Vorarbeit. Zunächst wird eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, um den aktuellen Forschungsstand sowie die existierenden Nutzungsmöglichkeiten für geflutete Bergwerke zu ermitteln. Eine breite Palette wissenschaftlicher Ressourcen und Bibliothekskataloge weltweit wurde durchsucht und hat bisher eine Vielzahl potenzieller Anwendungen identifiziert:

- Geothermie
- Hydroelektrische Energieerzeugung
- Energiespeicherung (Einsatz von Grubenwasser in Pumpwasserspeicherkraftwerken zur Speicherung von Energie)
- Elektrochemische Energieumwandlung (Nutzung des Grubenwassers in elektrochemischen Zellen zur Erzeugung von Energie durch chemische Reaktionen.)
- Wertstoff Rückgewinnung
- Trinkwasser
- Prozesswasser
- Landwirtschaft
- Aquakultur/Hydroponik (Nutzung von Grubenwasser in Hydroponik-Systemen zur Pflanzenzucht oder in Aquakulturen zur Fischzucht)

Aus den identifizierten Alternativen werden Anwendungskriterien herausgearbeitet, die für die Implementierung der identifizierten Strategien an einem Standort essenziell sind. Dabei werden sowohl die zeitliche Entwicklung der Grubenwasserqualität und -quantität als auch die umliegenden geologischen und infrastrukturellen Bedingungen berücksichtigt. Gleichzeitig wird die

UNEXMIN-Datenbank herangezogen, um eine erste Kategorisierung gefluteter Bergwerke nach bestimmten Eigenschaften zu entwickeln. Zusätzlich wird die Datenbank um Informationen zu bestehenden Nutzungskonzepten erweitert, um einen initialen, umfassenden Überblick über bisherige Nachnutzungen von gefluteten Bergwerken in Europa zu geben. Anschließend erfolgt die Gewichtung der identifizierten Kriterien mit dem Ziel eine fundierte Entscheidungsmatrix zu erstellen, die als Basis für die quantitative Bewertung der einzelnen Optionen nach den festgelegten Kriterien dient. Diese Methodik ermöglicht die Entwicklung einer umfassenderen Perspektive, welche die Auswahl von geeigneten Nutzungsstrategien an einem bestimmten Standort erleichtert. Dadurch wird ein effizienterer und nachhaltigerer Ansatz zur Revitalisierung von gefluteten Bergwerken ermöglicht. Zudem können aus den identifizierten Kriterien Planungsstrategien für neue und aktive Bergbauprojekte abgeleitet werden, wodurch die potenziellen Nachnutzungsstrategien bereits in der Planungsphase eines Bergwerks Berücksichtigung finden. Dadurch kann eine kostspielige nachträgliche sozioökonomische Sanierung vermieden werden, was einen vorausschauenden und nachhaltigen Ansatz zur Bergbauplanung darstellt.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Der Aufbau des Entscheidungsmodells zur Nachnutzung von gefluteten Bergwerken befindet sich derzeit noch im ersten Entwicklungsschritt. Die erste Phase des Projekts konzentriert sich auf eine umfassende Literaturrecherche und die Entwicklung einer Datenbank zur Kategorisierung gefluteter Bergwerke und Identifizierung von Anforderungskriterien der erfassten Nutzungsstrategien. Die Integration dieser Anforderungskriterien in die Bergbauplanung bietet nicht nur die Möglichkeit, Umweltrisiken zu minimieren, sondern eröffnet neue Wege für eine effiziente, verantwortungsvolle und zukunftsorientierte Nachnutzung stillgelegter Bergwerkstandorte, und verheißt eine revolutionierte Perspektive auf den Lebenszyklus der Bergwerke.

Die nächste Phase wird sich auf die Weiterentwicklung und Feinabstimmung des Entscheidungsmodells konzentrieren, mit dem Ziel, ein noch umfassenderes Bild der Chancen und Herausforderungen im Bereich der Nachnutzung von gefluteten Bergwerken zu zeichnen. Die Stärke und Anwendbarkeit des entwickelten Entscheidungsmodells sollen durch die Analyse von zwei konkreten Fallbeispielen überprüft werden. Diese Untersuchungen dienen nicht nur zur Evaluierung der gewählten Methodik, sondern auch zur realistischen Beurteilung der Modellanwendung in der Praxis. Zudem erfolgt eine eingehende Diskussion der gewonnenen Erkenntnisse und der methodischen Vorgehensweise, wobei potenzielle Limitationen berücksichtigt und Richtungen für zukünftige Forschungen skizziert werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- Gao, L., A Bryan, B., Liu, J., Li, W., Chen, Y., Liu, R., Barrett, D. (2017) Managing too little and too much water: Robust mine-water management strategies under variable climate and mine conditions. *Journal of Cleaner Production*:1009–1020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.101>
- Geldermann J, Lerche N (2014) Leitfaden zur Anwendung von Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung: Methode: PROMTHEE

- Holcombe S, Keenan J (2020) Mining as a temporary land use scoping project: transitions and repurposing. <https://www.csr.uq.edu.au/publications/mining-as-a-temporary-land-use-scoping-project-transitions-and-repurposing>. Accessed 23 March 2023
- Statsi G, Fernandez I, Müller P (2020) UNEXMIN Deliverable D5.4 Inventory of flooded mines in europe
- Tiessen R (2021) Zirkuläre Wasserwirtschaft im Bergbausektor Südafrikas: Zielmarktanalyse mit Profilen der Marktakteure
- van de Loo K (2021) Anhaltende Nachbergbaudefizite der Rohstoffpolitik und Neunutzung von Bergwerken. Mining Report Glückauf 157:318–336

**Unsere
Welt.
Unsere
Baustelle.**



Deutschland braucht mehr HEITKAMP.

Für echten Fortschritt Richtung Energiewende.

HEITKAMP forscht, entwickelt, plant und baut für die Energiewende. Mit unserer Nachhaltigkeitsstrategie orientieren wir uns an den 17 Zielen der Vereinten Nationen (UN). Konkret zertifiziert, leisten wir unsere Beiträge im Rahmen der Umweltmanagementnorm ISO 14001 und anderer sinnvoller Standards.

Wenn das alles auch in Ihre Richtung geht, sollten wir mal miteinander reden.

Besuchen Sie
uns direkt:



heitkamp-ug.de

Regionales Webtool zum Managen von europäischen Kohleregionen im Wandel – Statusbericht zum EU-Projekt WINTER

Laura Cebula¹, Lukas Kasperidus¹, Julia Haske¹, Jürgen Brüggemann¹, Konstantina Pyrgaki², Theodoros Zarogiannis², Evangelia Zygouri², Anna Batsi², Pavlos Krassakis², Andreas Karavias², Nikolaos Koukouzas², Aleksandra Szwaja³, Barbara Rogosz³

¹Forschungszentrum Nachbergbau, Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum

²Center for Research and Technology Hellas (CERTH), Athen, Griechenland

³Poltegor Institute of Opencast Mining, Breslau, Polen

ZUSAMMENFASSUNG:

Vor dem Hintergrund des voranschreitenden Klimawandels befinden sich mehr und mehr Staaten in unterschiedlichen Phasen des Kohleausstiegs – sei es Braun- oder Steinkohle. Für die Kohleausstiegsregionen sind energiepolitische Fragen im Rahmen des Ausstiegs ein Aspekt von Vielen. Aus diesem Grund bedarf es innovativer Instrumente zur Unterstützung eines regionalen Managements zur zielführenden Bewältigung von Transitionsprozessen. Im EU-geförderten Projekt WINTER wird deshalb eine interaktive Webplattform entwickelt, die technische, institutionelle sowie sozio-ökonomische Daten barrierefrei zusammenführt. Der holistische Ansatz des Projektes umfasst drei divergente Fallregionen, das Ruhrgebiet, die Konin-Region in Polen und das griechische West-Mazedonien, um umfängliche Daten und Erfahrungen zu bündeln und somit eine Übertragbarkeit auf andere Kohleausstiegsregionen zu ermöglichen.

ABSTRACT:

Against the background of advancing climate change, more and more countries are in different phases of the coal phase-out – be it lignite or hard coal. For the coal phase-out regions, energy policy issues in the context of the phase-out are one aspect of many. For this reason, there is a need for innovative instruments to support regional management in order to manage transition processes in a targeted manner. In the EU-funded WINTER project, an interactive web platform is therefore being developed that brings together technical, institutional and socio-economic data in an accessible way. The holistic approach of the project includes three divergent case regions, the Ruhr area, the Konin region in Poland and the Greek Western Macedonia, in order to bundle comprehensive data and experience and thus enable transferability to other coal phase-out regions.

1 Einleitung

Die Jahre 1957 und 1958 markieren den Beginn der Kohlekrise in Nachkriegsdeutschland, die maßgeblich ausschlaggebend war für die erste Rezession der jungen Bundesrepublik im Jahr

1965. Musste in der ersten Hälfte der 1950er Jahre noch Kohle aus dem Ausland importiert werden, um die Hochkonjunktur am Leben zu erhalten, kam im privaten sowie in der Wirtschaft vermehrt Erdöl als Energieträger zum Einsatz. Die Steinkohlewirtschaft im Ruhrgebiet hat sich hiervon nie wieder erholen können und wurde subventioniert, kontrolliert heruntergefahren, bis 2018 im letzten Bergwerk „Prosper Haniel“ in Bottrop „Schicht im Schacht“ war. Arbeiteten 1955 noch rund 480.000 Menschen untertage, sind es im Jahr 2023 wenige hundert, die die letzten geschlossenen Standorte verwalten. Zwischen 1870 und 1961 stieg die Bevölkerung aufgrund der Kohle- und Stahlindustrie von 859.000 Menschen auf 5.674.000 an, umgekehrt lässt sich kein vergleichbarer signifikanter Rückgang der Bevölkerung erkennen. So leben heute, mehr als 50 Jahre später, immer noch etwa 5,1 Mio. Menschen zwischen Emscher, Rhein und Lippe. Spurenlos ist die Transition nicht vorübergegangen. In vielen Bereichen wie etwa in den Forschungs- und Entwicklungsausgaben, der Arbeitslosigkeit oder auch den Gehältern hinkt die Region im Landes- oder Bundesvergleich hinterher. Zugleich hat man sich stabilisiert und zeigt in anderen Bereichen auf, wie nachhaltige Entwicklungen Früchte tragen. 23 Hochschulstandorte unterrichten aktuell jeden zehnten eingeschriebenen Studierenden in Deutschland, insgesamt etwa 250.000. Dabei ist die erste Universität (Ruhr-Universität Bochum) von 1962 erst 61 Jahre alt. (vgl. RVR 2023)

Es lässt sich sagen, dass das Ruhrgebiet seit Anfang der 1960er Jahre Transitionsprozesse durchlebt, sich in vielen Bereich stets neu erfinden muss, aber auch eine Vielzahl von Erfahrungen gemacht hat. Mit dem beschlossenen Ausstieg aus der Kohleverstromung werden bis spätestens 2038 – nach Landesplänen sogar deutlich eher – auch die letzten Steinkohlekraftwerke geschlossen und künftiger Flächenentwicklung zugeführt (vgl. MWIKE.NRW 2023). War damals noch Erdöl Treiber von Krise und Veränderung ist gegenwärtig und auf nicht absehbare Zeit die globale Klimakrise Agendabestimmend und Motiv für die Energiewende, die umfängliche Abkehr von fossilen Energieträgern. „Just Transition“ oder auf Deutsch „gerechter Übergang“ ist das Leitbild für einen klimaneutralen, resilienten sowie sozialverträglichen Strukturwandel (vgl. BMZ 2023).

Zur Umsetzung des 2019 beschlossenen, europäischen „Green Deal“, der die kontinentale Klimaneutralität bis 2050 anvisiert, wurde mit dem „Just Transition Fund“ („Fonds für einen gerechten Übergang“/ JTF) ein Förderwerkzeug geschaffen, das im Rahmen von EU-Kohäsionspolitik insbesondere Regionen unterstützt, die besonders von der Abkehr fossiler Brennstoffe und den strukturellen Folgen betroffen sind. Andere europäische Kohleregionen, wie beispielsweise der östliche Teil der polnische Woiwodschaft Großpolen „Konin“ oder West Mazedonien in Griechenland, haben gestützt vom JTF und der assoziierten Just Transition Plattform den Braunkohleausstieg beschlossen. (vgl. EC 2023)

Als gemeinsames „Research Fund for Coal and Steel“ Projekt (RFCS) zwischen den genannten Kohleregionen versucht WINTER eine interaktive Webplattform zu entwickeln, welche zur Unterstützung eines regionalen Managements von Kohleregionen in der Transitionsphase dienen kann. Auf Basis gemachter Fehler, Erfolge und Erfahrungen fungiert das Ruhrgebiet als Tutor und Spiegel in Bezug auf Transitionsstrategien, obgleich zwischen den Regionen und ihren Ländern substantielle Unterschiede bestehen – nicht zuletzt in der Förderung von Stein- und Braunkohle und ihren räumlichen Auswirkungen.

2 Holistischer Ansatz

Das übergeordnete Produkt von WINTER ist die Erstellung des interaktiven Webtools zum Managen von Kohleausstiegsregionen. Dies funktioniert allerdings nur unter Einbindung relevanter Daten. Aus diesem Grund gibt es im Rahmen des holistischen Ansatzes drei gleichwertige Arbeitspakete, die sich im Rahmen ihrer Bearbeitung gegenseitig bedingen. In (I) „Umweltfragen und technische Lösungen für Umweltfragen“ wird ein Erfahrungsaustausch und eine vergleichende Betrachtung von Aspekten nachbergbaulicher Rekultivierung und Flächenentwicklung unter Hinzunahme legaler Rahmenbedingungen durchgeführt. (II) „Sozioökonomische und Management bezogene Aspekte“ untersucht vergleichend die Governance- und Managementstrukturen sowie Stakeholder- und Akteursstrukturen in den jeweiligen Fallregionen, beleuchtet die einzelnen Medienlandschaften zum Thema Kohleausstieg und erhebt relevante sozioökonomische Daten, die der Entwicklung und Unterstützung regionaler Strategien dienen können. Im Rahmen von (III) „Interaktives Webtool (...)“ werden die in (I) und (II) erhobenen Daten unter Ergänzung zusätzlicher Open-Data ergänzt. Im Erarbeitungsprozess findet ein stetiger Abgleich mit relevanten Akteuren aus Wirtschaft, Forschung und staatlichen Institutionen statt, um das Produkt zu verifizieren und ggf. frühzeitig steuern zu können.

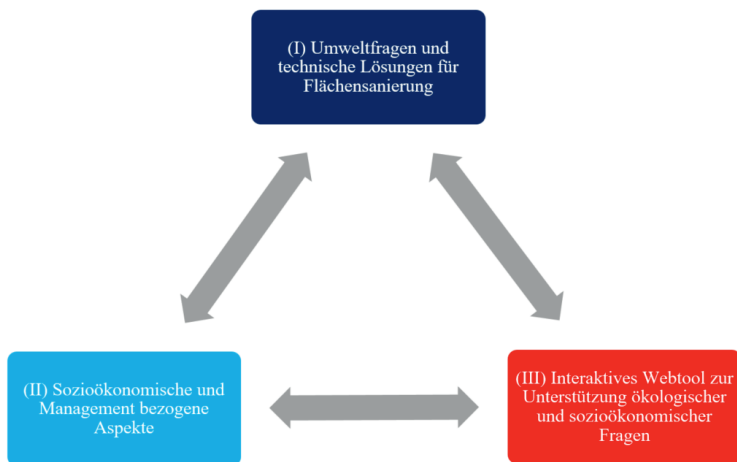


Abb. 1: Abhängigkeiten der Arbeitspakete

Anspruch an die Plattform ist ein barrierefreier Zugang und einfacher Umgang für zukünftige Anwender wie Behörden oder anderweitige Akteure. Weiter wird die Plattform so designed, dass sie gegebenenfalls einfach um neue Funktionen erweitert werden kann. Insgesamt wird die Plattform sechs Jahre durch den Projektpartner CERTH betreut werden, so dass eine tiefergehende Adaption in Konin oder West Mazedonien ermöglicht wird.

3 Zwischenergebnisse

Die im Folgenden dargestellten Zwischenergebnisse beziehen sich auf den internationalen Vergleich der Fallregionen in Deutschland, Griechenland und Polen.

3.1 *Umweltfragen und technische Lösungen für Flächensanierung*

Die Europäische Union hat einen rechtlichen Rahmen geschaffen, um sicherzustellen, dass die Rekultivierung ordnungsgemäß durchgeführt wird. Obwohl es in der EU kein spezifisches Rekultivierungsgesetz gibt, hat sie eine Reihe von Vorschriften erlassen, die sich indirekt auf dieses Thema beziehen. Mit diesen Verordnungen soll sichergestellt werden, dass die Bergbautätigkeiten auf umweltverträgliche Weise durchgeführt werden und dass die Sanierung der Bergbaufolgelandschaften wirksam erfolgt. Zu den wichtigsten EU-Vorschriften, die sich auf den Rekultivierungsprozess beziehen, gehören unter anderem: die Umwelthaftungsrichtlinie, die Richtlinie über Industrieemissionen, die Richtlinie über die Umweltverträglichkeitsprüfung oder die Wasserrahmenrichtlinie. Diese Vorschriften verlangen, dass Bergbauunternehmen die Umweltauswirkungen ihrer Aktivitäten vor Beginn des Abbaus bewerten und Maßnahmen ergreifen, um negative Auswirkungen zu minimieren. Sie verlangen auch, dass Bergbauunternehmen finanzielle Garantien zur Deckung der Kosten für die Wiederherstellung des Bodens nach Beendigung der Bergbautätigkeit stellen. Da die Europäische Union bestimmte Vorschriften für den Umweltschutz, die Raumplanung und den Bergbau erlassen hat, beeinflussen diese Vorschriften die nationalen Gesetze der Mitgliedstaaten. Entsprechend sind die Rahmenbedingungen für die Rekultivierung in den Ländern der Fallregionen sehr ähnlich. Zugleich haben alle Länder eigenes, souveränes Umweltrecht, sodass etwa bei der Frage nach verpflichtenden Rekultivierungszeiträumen erhebliche Unterschiede bestehen. Es ist wichtig, diese Unterschiede bei der Durchführung von Flächenentwicklungsprojekten in verschiedenen EU-Mitgliedstaaten zu berücksichtigen. In Bezug auf Erneuerbare Energien verhält es sich synonym. Insbesondere Abstandsregelungen unterscheiden sich von Land zu Land spürbar. Emissionshandelssysteme hingegen verbinden die einzelnen Mitgliedsstaaten. (vgl. Rogosz et al. 2022; Rogosz et al. 2023)

3.2 *Sozioökonomische und Management bezogene Aspekte*

Hinsichtlich der Erarbeitung einer „idealtypischen“ Governance- und Managementstruktur für Kohleausstiegsregionen im Rahmen der Arbeitspaket Bearbeitung war ein gewisses Maß an Abstraktion gefordert, da sich die Fallregionen in ihrem legalen Planungssystem unterscheiden. Im föderalen System Deutschlands und dem angewandten Gegenstromprinzip verbleiben große Teile der Planungshoheit auf der kommunalen Ebene. Durch die Gesetzgebungskompetenz der Länder und die regionale Planungsebene liegen die rahmengebenden Funktionen auf höher gelagerten Ebenen. Das polnische Planungssystem ist dem Deutschen nicht unähnlich, allerdings besteht eine homogene Gesetzgebung für alle Teile des Landes. Somit sind die Woiwodschaften eher mit Bezirksregierungen bzw. der angesiedelten Regionalplanung vergleichbar. Auch in Polen liegen weite Einflusskompetenzen auf der kommunalen Ebene. Anders sieht es in Griechenland aus. Besonders bei räumlich bedeutsamen Themen steht zumeist das Umweltministerium in der Planungsverantwortung.

Aufgrund der vergleichenden Betrachtung und der Skalierung bergbaulicher bzw. nachbergbaulicher Symptome wurde eine regionale Betrachtungsweise gewählt. Dabei wurden drei maßgebliche Interessensgruppen identifiziert: Öffentliche Interessen, ökonomische Interessen und individuelle Interessen. Letztere sind im Allgemeinen die Bevölkerung, deren Einbindung in Transformationsprozesse durch die Wahrung von „Good Governance“ Prinzipien gewährleistet wird (vgl. COE 2023). Relevante ökonomische Interessen bilden sich durch die Landbesitzfrage heraus. In der Regel ist das Bergbau treibende Unternehmen auch Landeigner. Staatliche bzw. öffentliche Interessen können bei einer nachbergbaulichen Entwicklung ökonomischen Interessen entgegenstehen. Im Ergebnis können daher regionale Kooperationsformen, wie Public Private Partnerships oder andere Gesellschaftsformen helfen Interessenkonflikte auszugleichen und durch zielgerichtete Planung durch die öffentliche Hand viel mehr Entwicklung ermöglichen. Durch die Beschreibung von Managementsystemen in „westlichen“ Wirtschaftssystemen hat Jürgen Brüggemann (vgl. 2021: 66f.) eine Managementstruktur für die Quartierentwicklung entwickelt, die für das WINTER-Projekt auf die regionale Ebene übersetzt wurde. Sinn und Zweck der Managementstruktur ist der Aufbau und die Sicherung einer langfristigen Strategie für regionale Entwicklungen, die über einen Zeitraum von 10 Jahren und mehr hinausgehen. Hierfür muss ein Management im Rahmen bestehender Governance etabliert werden. Aufgabe des Managements ist es die relevanten Akteure für die Produkterarbeitung, also für die Zwischenschritte eines regionalen Masterplans, zu aktivieren. Letztlich bescheiden legitimierte Gremien des Governance-Korpus über den Masterplan und ermöglichen somit strategiekonforme, nachgelagerte Flächenentwicklung der Einzelstandorte.

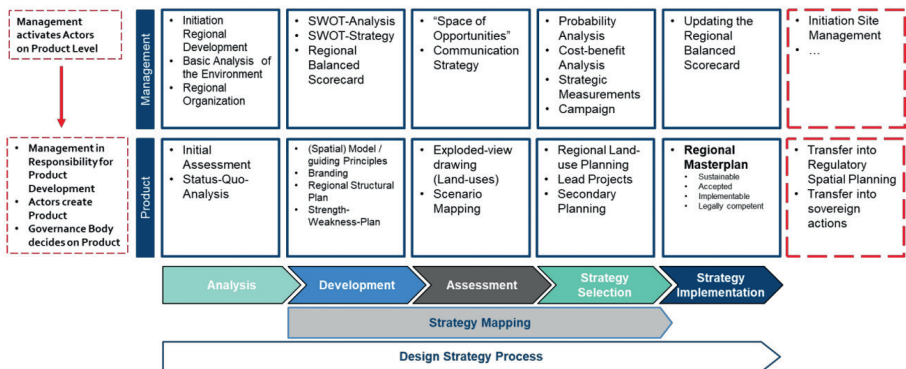


Abb. 2: „idealtypische“ Managementstruktur in Transitionsregionen (vgl. Brüggemann et al. 2023: 43)

Die Idee einer regionalen Kooperationsform zur Umsetzung von Transformationsprozessen in den Kohleausstiegsregionen wurde durch Experteninterviews als geeignet festgehalten, ebenso wie die Durchführung eines strategischen Managements durch die neue Kooperationsform/ Gesellschaft hin zu einem regionalen Masterplan. Im Weiteren gilt es die aufgeworfenen Instrumente auf Management- und Produktebene (Abbildung 2) weiter zu erläutern und im Hinblick auf ein zu erarbeitendes Managementhandbuch aufzubereiten. (vgl. Brüggemann et al. 2023)

3.3 Interaktives Webtool zur Unterstützung ökologischer und sozioökonomischer Fragen

Das in der Entwicklung befindliche Webtool besteht aus zwei Komponenten: Einer Basishomepage zur Kommunikation qualitativer, aber auch quantitativer Inhalte (Storytelling) sowie einer WebGIS-Anwendung über ArcGIS Online. Zur Visualisierung räumlicher Veränderungen über einen gewissen Zeitraum wurden Datensätze von „Corine Land Cover“ (CLC) und Sentinel-2 Satelliten verwendet. Dabei wurde ESA's „Sentinel Application Platform“ (SNAP) zur weiteren Bildverarbeitung genutzt.

Bereits heute lassen sich im WebGIS die verschiedenen eingeladenen Layer vergleichen. Über einfache Schieberegler können so etwa zwei Layer parallel verglichen werden, um Veränderungen über Zeit zu identifizieren.

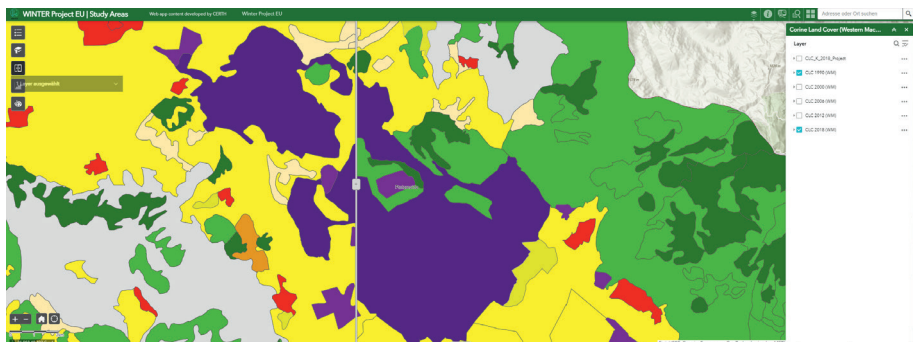


Abb. 3: Screenshot (1) WebGIS - Layervergleich

Weiter können die Daten einfach und händisch ausgewertet werden, indem ein beliebiges Polygon über den auszuwertenden Bereich gelegt wird. Dabei werden zeitnah mehr Auswertungsmethoden implementiert.

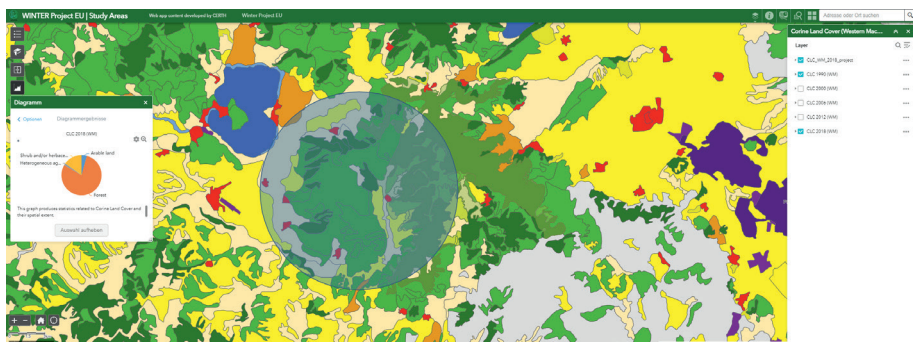


Abb. 4: Screenshot (2) WebGIS - Layerauswertung

Bezogen auf die Braunkohleregionen Konin und West Mazedonien gibt es überdies die Funktionen sich unmittelbar „Best-Practice-Lösungen“ für die Wiedernutzbarmachung ehemaliger Abbaufächen anzuzeigen. Ebenso ist im WebGIS für die Tagebauten der jeweiligen Fallregionen ein

maschineller Lernprozess hinterlegt, der im Zuge von Rekultivierungsmaßnahmen auf den Tagebauflächen das Verhältnis von Abgrabungsfläche, Boden und Abgrabungsgewässer bemisst. Somit konnte etwa für Konin ein signifikanter Unterschied zwischen dem aktiven Tagebau Jóźwin und den stillgelegten Kazimierz und Adamów festgestellt werden. Dies erscheint offensichtlich, jedoch zeigt es auch, dass Rekultivierungsmaßnahmen in den betroffenen Arealen auch aktiv umgesetzt werden. (vgl. Krassakis et. al 2023). Der aktuelle Stand zum WebGIS kann über den QR Code in Abbildung 5 aufgerufen werden.



Abb. 5: Zugang zum WebGIS (Web- INTERactive management tool for coal Regions in transition)

4 Ausblick

Über den Zeitraum von einem Jahr wurden solide Grundlagen geschaffen, um in der zweiten Hälfte des Jahres die Webanwendung weiter auszubauen und mit Inhalten zu füllen. So werden zurzeit sozio-ökonomische Daten erhoben, die interaktiv für die Nutzerschaft dargestellt werden sollen. Das Statistikportal Ruhr des Regionalverbandes Ruhr (RVR) dient hierfür als Vorbild. Weiter wird geprüft in welchem Umfang Werkzeuge aus der erarbeiteten Managementstruktur mit dem GIS durchgeführt werden können. Die Möglichkeit Veränderungen über die Zeit sichtbar zu machen, kann helfen strategische Ziele zu stützen und ebenso in ihrer Erfüllung zu überwachen.

Im Sinne einer gelungenen Regionalentwicklung ist es eine bestmögliche Transparenz zu schaffen und Bürgerinnen und Bürger in anstehende Prozesse einzubinden. Die Schaffung einer öffentlichen Plattform, die sowohl als Analyseinstrument, als auch als Kommunikationsinstrument dienen kann ist im Sinne von Good Governance der richtige Schritt. Durch den Abbau von Informationsasymmetrie wird der Dialog zwischen Interessengruppen erleichtert und auf ein gewisses Maß an Augenhöhe gehoben. WINTER kann somit einen Beitrag zur Digitalisierung von Behördenhandeln leisten.

LITERATURVERZEICHNIS

- BMZ [Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung] (2023): Just-Transition: Den Übergang zu einer klimagerechten Wirtschafts- und Lebensweise gestalten. (abgerufen von <https://www.bmz.de/de/themen/klimawandel-und-entwicklung/just-transition> | zuletzt zugegriffen am 19.09.2023)
- Brüggemann, Jürgen: Städtebaulich-strategisches Projektmanagement für Stadtquartiere. Technische Hochschule Georg Agricola (THGA), Forschungszentrum Nachbergbau (FZN). Bd. 3. Bochum: Selbstverlag der Technischen Hochschule Georg-Agricola, 2021
- Brüggemann, Jürgen; Möllerherm, Stefan; Cebula, Laura; Kasperidus, Lukas; Pyrgaki, Konstantina; Zarogianis, Theodoros; Zygouri, Evangelia; Batsi, Anna; Krassakis, Pavlos; Karavias, Andreas; Koukouzas, Nikolaos; Rogosz, Barbara; Szwaja, Aleksandra; Pawliszyn, Stanisław (2023): Report of an ideal-type governance and management structures for transition regions. Online abrufbar unter: https://winter-project.eu/wp-content/uploads/2023/04/WINTER_D3.1_Report_of_an_ideal-type_governance_and_management_structures_for_transition_regions.pdf
- COE [Council of Europe] (2023): 12 Principles of Good Governance. (abgerufen von <https://www.coe.int/en/web/good-governance/12-principles> | zuletzt zugegriffen am 19.09.2023)
- EC [Europäische Kommission] (2023): The Just Transition Platform. (abgerufen von https://ec.europa.eu/regional_policy/funding/just-transition-fund/just-transition-platform/about_en | zuletzt zugegriffen am 19.09.2023)
- Krassakis, Pavlos; Pyrgaki, Konstantina; Zarogiannis, Theodoros; Zygouri, Evangelia; Batsi, Anna; Rogosz, Barbara; Szwaja, Aleksandra; Pawliszyn, Stanisław; Möllerherm, Stefan; Kasperidus, Lukas; Cebula, Laura (2023): Web INTERactive management tool for coal Regions in transition WINTER (Plakat). Online abrufbar unter: https://winter-project.eu/wp-content/uploads/2023/07/WINTER_Poster_Digital_Earth.pdf
- MWIKE [Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes NRW] (2023): Strukturwandel Steinkohleregionen – Das 5-Standorte Programm für die Steinkohlkraftwerksstandorte im Ruhrgebiet. (abgerufen von <https://www.wirtschaft.nrw/strukturwandel-steinkohleregionen> | zuletzt abgerufen am 19.09.2023)
- Rogosz, Barbara; Pawliszyn, Stanisław; Szczepiński, Jacek; Pyrgaki, Konstantina; Zarogiannis, Theodoros; Zygouri, Evangelia; Batsi, Anna; Krassakis, Pavlos; Karavias, Andreas; Koukouzas, Nikolaos; Möllerherm, Stefan; Cebula, Laura; Kasperidus, Lukas (2022): BAT guide for land rehabilitation and reclamation. Online abrufbar unter: https://winter-project.eu/wp-content/uploads/2023/01/WINTER_D2.1_BAT_guide_for_land_rehabilitation_and_reclamation.pdf
- Rogosz, Barbara; Szwaja, Aleksandra; Pawliszyn, Stanisław; Szczepiński, Jacek; Bajcar, Adam; Pyrgaki, Konstantina; Zarogiannis, Theodoros; Zygouri, Evangelia; Batsi, Anna; Krassakis, Pavlos; Karavias, Andreas; Koukouzas, Nikolaos; Brüggemann, Jürgen; Möllerherm, Stefan; Cebula, Laura; Kasperidus, Lukas (2023): Legal guide for land rehabilitation and reclamation. Online abrufbar unter: https://winter-project.eu/wp-content/uploads/2023/04/WINTER_D2.2_Legal_guide_for_land_rehabilitation_and_reclamation.pdf
- RVR [Regionalverbandruhr] (2023): Statistikportal Ruhr. (abgerufen von <https://statistikportal.ruhr/> | zuletzt abgerufen am 19.09.2023)

Herausforderungen und Lösungsansätze bei der Sanierungsplanung der Bergehalde Duhamel

Silvio Engelmann, Dominic Demand

CDM Smith Consult GmbH

ZUSAMMENFASSUNG:

Der in Ens Dorf an der Saar gelegene Haldenkomplex der Bergehalde Duhamel ist eine der größten Bergehalden des ehemaligen Steinnnnnnnnnnnpkohlenbergbaus im Saarrevier. In den kommenden Jahren wird angestrebt, den Haldenkomplex vollständig aus der Bergaufsicht zu entlassen. Dies erfordert umfangreiche Maßnahmen wie Massenumlagerungen zur Gewährleistung der Standsicherheit der Haldenböschungen, Sicherungsmaßnahmen für die Absetzbecken, Sanierung des Haldenbrandes sowie eine Neugestaltung des Entwässerungssystems. Aus den speziellen Rahmenbedingungen und den damit verbundenen wechselseitigen Abhängigkeiten der separaten Fachplanungen resultiert ein iterativer Planungsprozess. Die sich daraus für die geotechnische Sanierungsplanung ergebenden besonderen Herausforderungen werden veranschaulicht und erläutert. Die Zunahme von Extremniederschlagsereignissen macht für den Endzustand der Halde erstmalig eine Gefährdungsanalyse erforderlich. In einem Pilotprojekt wurde daher gemeinsam mit den Behörden ein Konzept zur gesamtheitlichen Risikoanalyse bei Starkregen entwickelt. Die Ergebnisse dienen dazu, den Endzustand risikomindernd zu planen, weitere Schutzmaßnahmen zu initialisieren sowie das Risiko angemessen zu kommunizieren.

ABSTRACT:

The Duhamel tailings pile complex, located in Ens Dorf on the Saar River, is one of the largest tailings piles of the former hard coal mining industry in the Saar region. In the coming years, the aim is to completely release the tailings complex from mining supervision. This will require extensive measures such as mass relocations to ensure the stability of the tailings pile slopes, safety measures for the tailings ponds, rehabilitation of the tailings pile fire and a redesign of the drainage system. The special framework conditions and the associated interdependencies between the separate specialist plans resulted in an iterative planning process. The resulting special challenges for geotechnical remediation planning are illustrated and explained. The increase in extreme precipitation events makes a hazard analysis necessary for the final condition of the tailings pile for the first time. In a pilot project, a concept for a holistic risk analysis during heavy rainfall was therefore developed together with the authorities. The results are used to plan the final state in a risk-reducing way, to initialize further protective measures and to communicate the risk appropriately.



Altbergbau und Sanierungsbergbau



Gefahrenabwehr
Gefährdungsanalysen
Sanierungsplanungen
Geotechnische Baubegleitungen



1 Bergehalde Duhamel

1.1 Entwicklung des Haldenkomplexes

Bis in die 1940er Jahre wurde im südwestlichen Bereich der heutigen Bergehalde die „Alte Bergehalde“ als Schüttkegelhalde bis auf eine Höhe von ca. 40 m über dem umgebenden Gelände, hauptsächlich mit Material aus der Abteufung des Duhamelschachtes und Streckenauffahrungen des Bergwerks Saar, geschüttet. Die „Alte Bergehalde“ wurde im weiteren Betrieb ab 1949 teilweise überschüttet.

Mit der Inbetriebnahme der Kohle-Nassaufbereitung 1961 wuchs die Bergehalde weiter an und wurde in nördliche und östliche Richtung vorgetrieben. Gleichzeitig bestand das Erfordernis, die anfallenden Flotationsberge in Absinkweihern abzusetzen. Die bis dahin bestehenden kleineren Schlamm- bzw. Klärweiher (Weiher 1) wiesen kein ausreichendes Volumen auf. 1961 ging zunächst der Weiher 2 südöstlich und 1963 der Weiher 3 nordöstlich der Bergehalde in Betrieb. Die Halde wies 1963 bereits eine Höhe von ca. 100 m auf und wurde über einen Schrägaufzug beschickt. Nach Füllung der Weiher gingen 1974 der Weiher 2a und 1976 der Weiher 4 in Betrieb. Bis 1980 wurden die Weiher 2, 2a und 3 komplett durch die Bergehalde überfahren. Östlich angrenzend wurde zunächst 1982 der Weiher 7a und anschließend 1992 der Weiher 8 in Betrieb genommen (Abb. 1). Beide Weiher wurden zur Schaffung zusätzlichen Stauraums ab 1999 durch zwei Dammerhöhungen zur Weiheranlage 7a/8 zusammengelegt.

Ab 1988 wurde das Bergematerial über einen Pipe Conveyor zum Haldenplateau transportiert und anschließend per Absetzer vor Kopf geschüttet. In der Regel stellten sich dabei Schüttneigungen um ca. 36° ein. Bereichsweise wurden in dem Schüttkegel bereits im Zuge des Betriebes Zwischenbermen angelegt bzw. wegen instabiler Schüttzustände nachträglich Abflachungen vorgenommen, sodass die Böschungsneigungen der Halde zwischen ca. 25° bis zum Teil über 40° schwankten.

Im Herbst 1994 begann die Überfahrung des Weiher 7a. Infolge von Kriechbewegungen der Haldenostflanke wurde vor dem Haldenfuß eine Bergevorschüttung kontinuierlich als Schlammauflast mitgeführt. Der östliche Haldenfuß reicht ca. 180 m in Weiher 7a hinein und steht auf ca. 30 m mächtigen Schlammersedimenten.

Mit dem Ende des Bergbaus im Bergwerk Saar wurde auch der Betrieb der Bergehalde am 30.06.2012 eingestellt.

In den Jahren 2011 und 2012 erfolgte die Endprofilierung der Haldenostflanke. Dabei wurden Neigungen der Teilböschungen von ca. 1:2 hergestellt. Die Abflachung der Böschungen an der Südostflanke wurde durch Rückverlagerung der Böschungsoberkante erreicht. Im gleichen Zeitraum wurde das Haldenplateau um 6 m auf die derzeitige Höhe von +330 m NHN (ca. 140 m über umgebendem Gelände) erhöht.

Zur Erinnerung an den jahrhundertelangen Steinkohlebergbau im Saarland wurde im Jahr 2016 auf dem Haldenplateau als weithin sichtbares Wahrzeichen das begehbare „Saarpolygon“ errichtet.

Der südwestliche Haldenbereich und das Haldenplateau wurden bereits Anfang der 2000er Jahre aus der Bergaufsicht entlassen und offiziell einer Nutzung als Freizeitgelände zugeführt (Abb. 1).

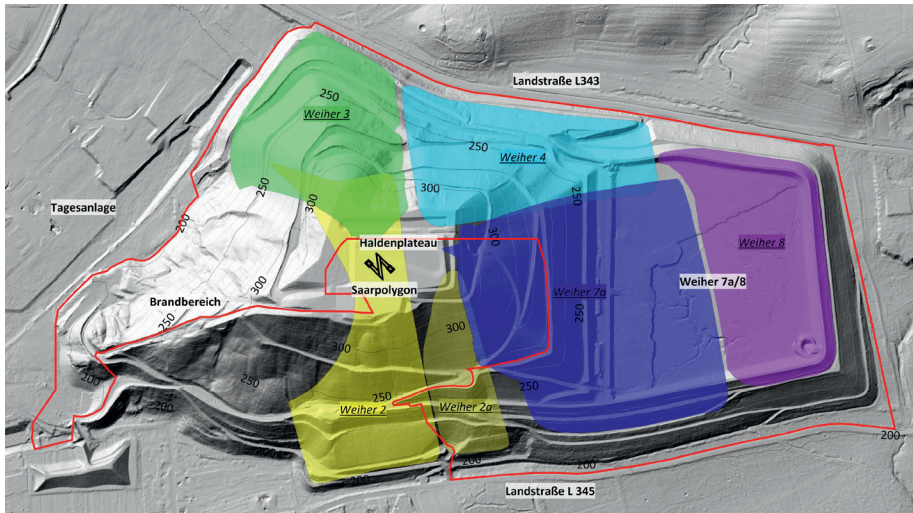


Abb. 1: Bergehalde Duhamel im derzeitigen Zustand mit Weiher und dem unter Bergaufsicht stehenden Areal (rot).

1.2 Geotechnische Verhältnisse

Die Bergehalde Duhamel ist ein komplexes Erdbauwerk, das im Zuge des Steinkohlebergbaus unter Verwendung unterschiedlicher Verkippungsvarianten hergestellt wurde.

Der gewachsene Untergrund wird von oberkarbonischen Gesteinen der Heusweiler-Formation, bestehend aus Wechselfolgen von Sand-, Schluff- und Tonsteinen, deren Verwitterungszonen und teilweise quartären Überdeckungen gebildet.

Der Haldenkomplex setzt sich aus mehreren Absinkweiher mit darin abgesetzten Flotations-sedimenten, deren Dämmen, und den Haldenschüttungen zusammen.

Die in den Absinkweiher sedimentierten Flotationsberge aus der Nassaufbereitung bestehen größtenteils aus Ton-Schluff-Sand-Gemischen. Aufgrund des Einspülprozesses und in Abhängigkeit von der Entfernung zur jeweiligen Einspülstelle sowie dem Wassernachschub sind die in den Weiher abgesetzten Flotationsberge bezüglich der Korngrößenverteilungen stark inhomogen. Die die Weiher begrenzenden Dämme wurden teilweise aus bindigem Material, karbonischen Aushubmassen und teilweise aus Waschbergen aufgebaut. Zur Entwässerung wurden die Dämme des Weiher 7a/8 mit verschiedenen Filter- und Drainageeinrichtungen versehen.

Die aufgehaldeten Waschberge bestehen hauptsächlich aus oberkarbonischem Bergematerial der Steinkohleförderung des Bergwerks Saar. Die Berge liegen in einer Grundmatrix aus grauen Ton-, Schluff- und Sandsteinen in einem weiten Kornspektrum von ca. 0 - 200 mm vor. Mit den Berge-schüttungen wurden mehrere Absinkweiher überfahren.

Rückschlüsse über die hydrogeologischen und hydraulischen Verhältnisse im Haldenkör-

per können über die kontinuierlich durchgeführten Pegelmessungen an einer Vielzahl von Grundwassermessstellen gezogen werden. Im aktuellen Zustand besteht ein weitgehend konstanter Haldenwasserspiegel. Niederschlagsereignisse und saisonal bedingte Schwankungen haben nur geringe bzw. zeitlich stark versetzte Auswirkungen. Auf dieser Grundlage und Beobachtungen über temporäre Wasseraustritte wurden die Durchlässigkeiten für Damm- und Bergematerialien sowie die Sickerlinien ermittelt.

Im südwestlichen Haldenbereich ist seit mehreren Jahrzehnten ein Haldenbrand aktenkundig. An der Westflanke der Halde bestehen mehrere Dampfaustrittsstellen. Anhand von umfangreichen Felduntersuchungen zur Erkundung des Brandbereichs wurde festgestellt, dass der Brandbereich bis an die Basis der Aufschüttungen in Tiefen bis über 80 m reicht. Das Brandzentrum mit Temperaturen bis um 300 °C ist in der Regel in Teufen über 25 m bis 50 m unter der Überdeckung zu finden. Die Brandzone liegt innerhalb der bis Mitte/Ende der 1950er Jahre vorhandenen Altschüttungen mit deutlich höherem Restkohleanteil.

1.3 Sanierungserfordernis und Sanierungsziele

Auf Grundlage von analytischen und numerischen Berechnungen wurden im gesamten Bereich der Süd-, West- und Nordflanke der Bergehalde Standsicherheitsdefizite ermittelt. Diese basieren im Wesentlichen auf zu steil ausgebildeten Böschungssystemen und hohen Sickerlinien in Verbindung mit geringen Scherfestigkeiten der überfahrenen Schlammssedimente.

Zur vollständigen Entlassung des Haldenkomplexes aus der Bergaufsicht ist neben der Haldenbrandsanierung der Ausschluss geotechnischer Gefährdungen erforderlich.

Unter Berücksichtigung der Randbedingungen und Planungsgrenzen sind umfangreiche Maßnahmen zur Herstellung eines standsicheren Zustandes der Haldenflanken durch Massenumlagerungen, Sicherungsmaßnahmen für die Absetzbecken sowie eine vollständige Neugestaltung des Entwässerungssystems notwendig.

2 Sanierungsplanung

2.1 Planungsrandbedingungen

Aufgrund der örtlichen geotechnischen, infrastrukturellen und ökologischen Gegebenheiten sowie der angestrebten Nachnutzung sind als wesentliche Planungsrandbedingungen für die Sanierung der Bergehalde Duhamel folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Einhaltung der bestehenden Grundstücksgrenzen, die im Wesentlichen durch die Landstraße L 343 im Norden, die Landstraße L 345 im Süden, die Wohnbebauung im Südwesten und die Tagesanlage gebildet werden (Abb. 1),
- Erhalt des Haldenplateaus mit der darauf befindlichen Landmarke „Saarpolygon“ und dessen Zugänglichkeit während der Bauzeit und im Endzustand, möglichst ohne Verursachung von Bauwerkssetzungen,
- Fassung und Ableitung des Oberflächenwassers zur Vorflut (Saar) über den südwestlichen Haldenbereich und Gewährleistung der Entwässerung in der Bauphase inkl.

Neubau der Ableitung zur Saar,

- Berücksichtigung ökologischer Belange über die gesamte Bauzeit in Hinblick auf einzelne Bauphasen sowie für den Endzustand,
- Sanierung des Brandbereichs unter geotechnischen und bautechnischen Gesichtspunkten,
- Sanierung unter ausgeglichener Massenbilanz der ab- und aufzutragenden Bergematerialien,
- Berücksichtigung der in Planung befindlichen im Südwesten angrenzenden Anlage zur Grubenwasserbehandlung,
- Minimierung von Emissionen (Lärm, Feistaub, etc.) ggü. den umliegenden Städten und Gemeinden,
- Umverlegung von Infrastrukturanlagen für Gas, Wasser, Strom, Abwasser, etc.

2.2 Sanierungsplanung

Die geotechnische Sanierungsplanung erfolgt durch CDM Smith im Auftrag der RAG Aktiengesellschaft in iterativer Arbeitsweise parallel zur Planung der Sanierung des Brandbereichs durch das Ingenieurbüro CADWerkstatt GmbH und den im Zuge der Sanierung zu berücksichtigenden ökologischen Belangen durch den Fachplaner Landschaftsagentur Plus GmbH. Die Fachplanungen sind integrativer Bestandteil der nach geotechnischen Maßstäben erstellten Gesamtplanung. Die Projekt- und Verfahrenssteuerung obliegt der RAG Montan Immobilien GmbH.

Die Standsicherheit der Bergehalde wird grundsätzlich durch eine Abflachung der bestehenden Böschungen auf bodenmechanisch zulässige Neigungen und Höhen innerhalb der durch die Planungsrandbedingungen festgelegten Grenzen erzielt. In den oberen Bereichen der Haldenflanken werden dazu Massenabträge erfolgen. Gleichzeitig werden, insbesondere im Bereich der Westflanke, Massenaufträge in Form eines verdichteten, profilierten Aufbaus von Böschungen in den unteren Flankenbereichen stattfinden. Durch die Umlagerungen (Ab- und Aufträge) der Bergematerialien wird eine ausgeglichene Massenbilanz erreicht. Auf der nicht überschütteten Fläche des Weihers 7a/8 wird mit dem Ziel einer Entlassung aus der Talsperrenverordnung (DIN 19700) durch Massenauftrag die Trittsicherheit hergestellt.

Die neu herzustellenden Bermen dienen während der Sanierung als Baustraßen und verbleiben im Endzustand als Wege- und Wartungssystem. Das Haldenplateau bleibt während des Bauzustandes und nach Sanierung permanent über die bestehenden bzw. die neu hergestellten Bermen erreichbar. Die Hauptzufahrt zum Haldenplateau erfolgt zunächst vom Gelände der Tagesanlage im Westen der Halde aus (Abb. 2).

Die Sanierung des Brandbereichs wird im Wesentlichen durch den Einbau einer den Sauerstoffeintrag behindernden mineralischen Dichtung erfolgen. Mit der standsicheren Gestaltung des Haldenkomplexes erfolgt die Herstellung eines Entwässerungssystems mit im Wesentlichen wartungsarmen offenen Gräben an den Innenseiten der Bermen und im Haldenfußbereich. Das anfallende Oberflächenwasser wird über den südwestlichen Bereich der Bergehalde durch ein Rückhalte- und ein Klärbecken sowie einen neu herzustellenden Kanal der Vorflut Saar zugeführt.

Da, bis auf die bereits standsicher gestaltete Haldenostflanke und das Plateau, in sämtlichen Haldenbereichen eine erdbautechnische Umgestaltung erforderlich ist, muss auf der gesamten Bergehalde der Bewuchs geholt und gerodet werden. Der Eingriff in den ökologischen Haushalt erfolgt dabei unter natur- und artenschutzrechtlichen Vorgaben auf einzelnen Flächen schrittweise. Teilweise werden sanierte Haldenflächen zum Erosionsschutz und zum Ausgleich ökologischer Eingriffe wieder begrünt.

Die Sanierungsmaßnahmen werden in mehreren Bauphasen über ca. 5-6 Jahre unter Berücksichtigung der Planungsrandbedingungen, insbesondere ökologischer Aspekte, und der speziellen bergbaubedingten Gegebenheiten hinsichtlich der Arbeitssicherheit erfolgen.

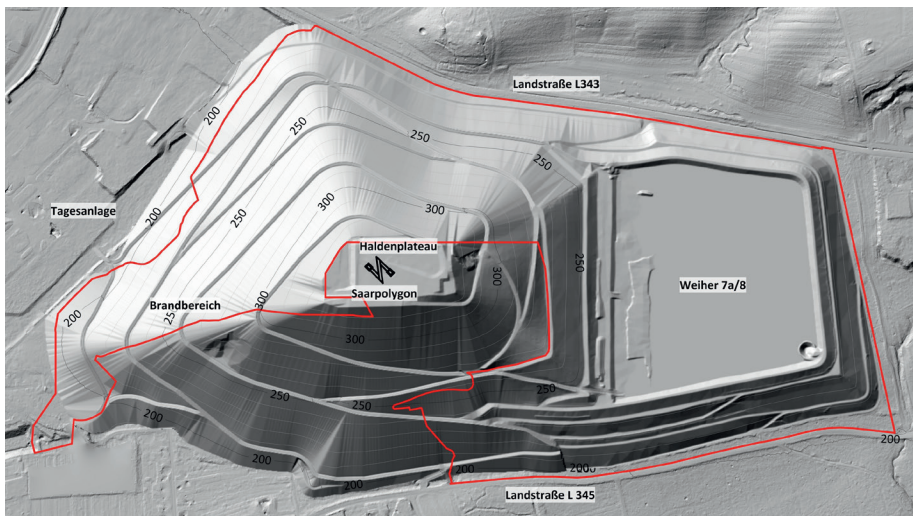


Abb. 2: 3D-Planungsmodell der sanierten Bergehalde mit dem unter Bergaufsicht stehenden Areal (rot).

3 Herausforderungen und Lösungsansätze bei der Sanierungsplanung

Eine unter wirtschaftlichen, zeitlichen und ökologischen Aspekten optimierte Sanierung der Bergehalde Duhamel setzt eine komplexe Planung voraus.

Aus den speziellen Rahmenbedingungen und den damit verbundenen wechselseitigen Abhängigkeiten der separaten Fachplanungen resultiert ein iterativer Planungsprozess. Dabei steht zunächst der Austausch zwischen den einzelnen Fachplanern und dem AG, die Berücksichtigung der Planungsrandbedingungen sowie der Erfordernisse hinsichtlich der Nutzung während der Bauzeit bzw. der angestrebten Nachnutzung im Vordergrund. Besondere Herausforderungen für die geotechnische Sanierungsplanung ergeben sich aus wiederholten Prüfungen/Anpassungen der Planung hinsichtlich sich im Zuge der fortschreitenden Planung ergebender Erfordernisse in Bezug auf die Randbedingungen.

Für eine zielorientierte Planung ist eine permanente Abstimmung zwischen den Fachplanern und dem AG unerlässlich. Die frühzeitige Einbeziehung von anderen an der Planung fachlich Beteiligten wie Behörden und Prüfgutachter sorgt ebenso wie Abstimmungen mit angrenzende Flächeneigentümern, Leitungsträgern usw. für einen optimalen Planungsprozess unter Klärung und Berücksichtigung fachspezifischer Zusammenhänge, Vorgänge und Bedingungen. Auf die sich aus den Vorabstimmungen mit den Behörden ergebende Untersuchung der von der endgestalteten Halde ausgehenden möglichen Gefahren durch ein Starkniederschlagsereignis wird gesondert in Textabschnitt 4 eingegangen.

Die Planung der einzelnen Bauphasen erfolgt in Bezug auf die einsetzbare Gerätetechnik für die Massenumlagerungen, die Logistik der Massentransporte und der Zwischenlagerung von Abtragsmassen. Insbesondere sind dabei aber auch artenschutzrechtliche Belange sowohl im Zuge der Baumaßnahme als auch für die zukünftige Oberflächengestaltung und die geforderten Ersatzmaßnahmen nach Abschluss der geotechnischen Umgestaltung zu berücksichtigen. Die wesentlichen Bauabläufe wie Holzung, Rodung, Massenumlagerungen müssen auf die verschiedenen artenschutzrechtlichen jahreszeitabhängigen Schutzzeiten Rücksicht nehmen. Weiterhin sind Vorlaufzeiten für die Umsiedlung und Vergrämung von ansässigen Arten einzuplanen.

Um die Beteiligung der Öffentlichkeit zu fördern und Fragen von öffentlichem Interesse frühzeitig zu identifizieren und zu klären, wurden in der Gemeinde Ens Dorf transparente Informationsveranstaltungen abgehalten. Weitergehend erfolgt eine kontinuierliche Information der Bürgerschaft.

Des Weiteren war eine im Zuge der Planung erarbeitete Konzeption für den „Zukunftsstandort Duhamel“ zur Eingliederung in die touristische Großregion unter ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Aspekten zu berücksichtigen und auf geotechnische Belange und ökologische Erfordernisse zu prüfen und ggf. anzupassen.

4 Gefährdungsanalyse Starkniederschlagsereignis

Im Rahmen der Genehmigungsplanung zur Sanierung der Bergehalde Duhamel wurde vom Bergamt bzw. der zuständigen Fachbehörde (LUA) eine Untersuchung der von der endgestalteten Halde ausgehenden möglichen Gefahren durch ein Starkniederschlagsereignis gefordert. Die Forderung resultierte aus dem Starkereignis und dessen Schadenspotential im Ahrtal. Daher wurde die von der Bergehalde Duhamel ausgehende Gefährdung bei Starkregen (100-jährlich, 1% jährliche Eintrittswahrscheinlichkeit) im sanierten Zustand analysiert. Dabei wurden die Themengebiete (a) Oberflächenabfluss und resultierende Überflutung, (b) Erosion und Deposition von Sediment und (c) Standsicherheit durch in den Haldenkörper eindringendes Wasser betrachtet. Es handelt sich dabei um ein Pilotprojekt im Saarland und auch deutschlandweit ist uns kein vergleichbares Projekt bekannt.

Diese Fragestellungen wurden weitestgehend durch die Nutzung der entsprechenden gängigen numerischen Modelle der Fachrichtung beantwortet. Hierfür wurde unter anderem das digitale Höhenmodell (DGM) des Planzustandes, das digitale Landschaftsmodell (DLM) und weitere Geodaten verwendet. Eine Besonderheit stellte die Festlegung des Abflussbeiwertes (Anteil des Niederschlags, der oberflächlich abfließt) für die Halde dar. Da die heterogene Schüttung der Halde zu

sehr unterschiedlichen Infiltrationscharakteristiken in verschiedenen Bereichen geführt hat, wurde auch hier mit Annahmen gearbeitet, um die mögliche Spannbreite der resultierenden Gefährdung einzuschätzen. Diese Abflussbeiwerte reichten von 0,4 (realistisch-hoch) bis zu 0,9 (worst-case).

Die Modellierung des Oberflächenabflusses und der dadurch entstehenden temporären Fließwege und Überflutungsflächen bei Starkregen wurde mittels 2D-hydrodynamischem Modell durchgeführt. Zur Modellierung wurde die Software FloodArea (geomer GmbH) in der Version 10.3 verwendet. Die Leistungsfähigkeit von Entwässerungselementen (bspw. Durchlässe) wurde in dieser Betrachtung vernachlässigt, da während solchen Starkregenereignissen häufig beobachtet wurde, dass diese voll ausgelastet oder die Einläufe mit Schwemmgut und Sediment verstopft waren. Auch der Grundablass des Absetzbeckens bzw. geplanten Rückhaltebeckens wurde somit nicht berücksichtigt, was eine „worst-case“-Betrachtung darstellt. Der 100-jährliche Niederschlag betrug laut KOSTRA-DWD-2010R 47,5 mm und die Bergehalde wurde für 1 h beregnet. Die räumliche Auflösung des Modells betrug 1 m x 1 m.

Durch die entstandene Starkregengefahrenkarte konnten die Bereiche identifiziert werden, die von einer aus der Halde resultierenden Überflutung besonders betroffenen wären (Abb. 3). Die Karte stellt neben der Überflutungstiefe und -ausdehnung auch die Fließgeschwindigkeit und -richtung dar.

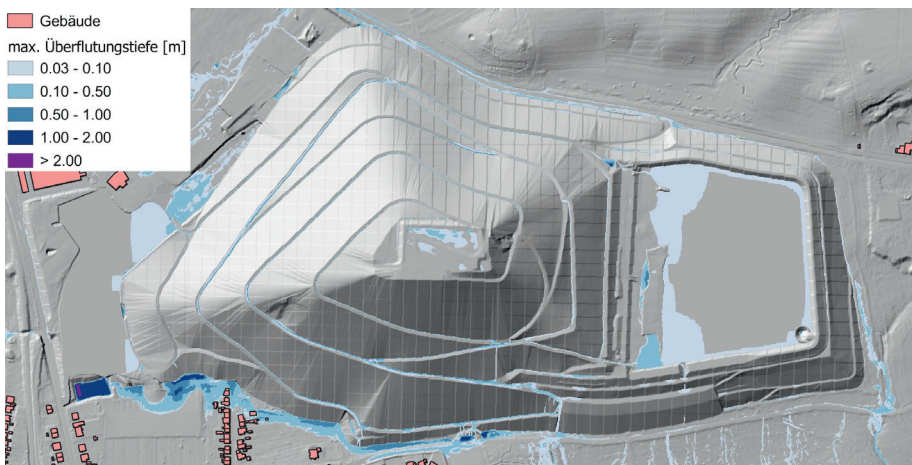


Abb. 3: Ausschnitt Starkregengefährdungskarte mit Stand „Entwurfsplanung“- Thema: Überflutungstiefe (Abflussbeiwert 0,4).

Auf diesen Grundlagendaten und mit Annahmen zur Bodenoberfläche direkt nach der Sanierung (vegetationslos) bzw. aus Siebkurven des Haldenmaterials wurde ein weiteres Modell parametrisiert. Das Modell LISEM Classic wurde dafür verwendet, den Transport von suspendiertem Sediment zu berechnen. Da zur Simulation viele Annahmen getroffen werden mussten, wurden die Ergebnisse in Klassen eingeteilt, um hiermit eine höhere und niedrigere Erosion und Deposition anzeigen zu können. Die räumliche Auflösung dieses Modells lag bei 5 m x 5 m.

Das Ergebnis der Erosions- und Depositionssimulation stimmte sehr gut mit den Fließpfaden und -geschwindigkeiten der hydraulischen Simulation überein (Abb. 4).

Zuletzt wurde geprüft, ob das bei Starkregen in den Haldenkörper eindringende Wasser zu einem schnellen Ansteigen der Sickerwasserlinie in der Halde führen kann und damit gegebenenfalls Standsicherheitsprobleme verbunden sind. Dafür wurde mit einer breiten Spanne an Literatur- und Messwerten das Modell HYDRUS 1D parametrisiert, welches die Fließgeschwindigkeit in der ungesättigten Zone berechnen kann.

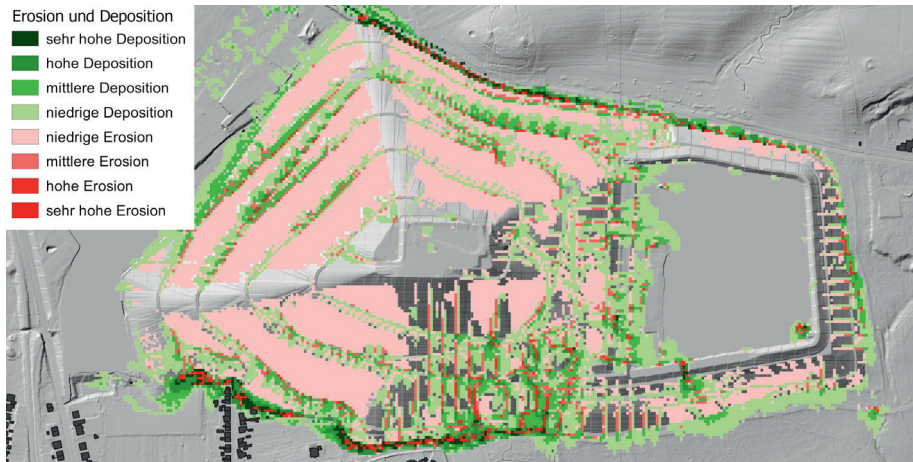


Abb. 4: Flächen mit Erosion und Deposition bei Starkregen laut Modellrechnung mit Stand „Entwurfsplanung“.

Hierbei zeigte sich, dass die Perkolation im Haldenkörper recht langsam ist und der Niederschlagsinput mit der Tiefe sehr gedämpft wird (Abb. 5).

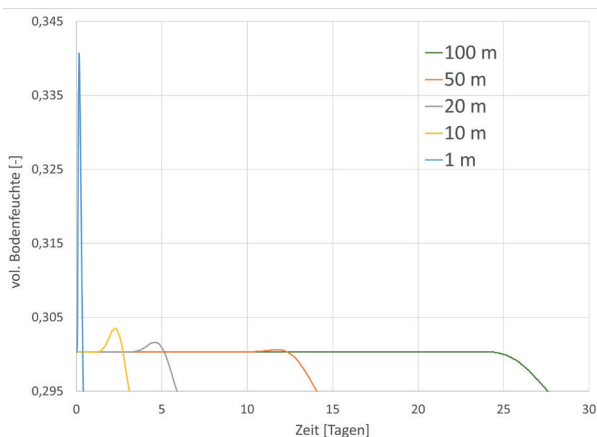


Abb. 5: Propagation der Feuchtefront durch den Haldenkörper in verschiedenen Tiefen für ein Parameterset.

Daher wurde keine Gefahr für die Standsicherheit der Halde im sanierten Zustand auf Basis der Entwurfsplanung gesehen. Es könnte lediglich zu lokalen Hautrutschungen auf Basis der höheren Bodenfeuchte und der Böschungsneigungen kommen (Abb. 6).

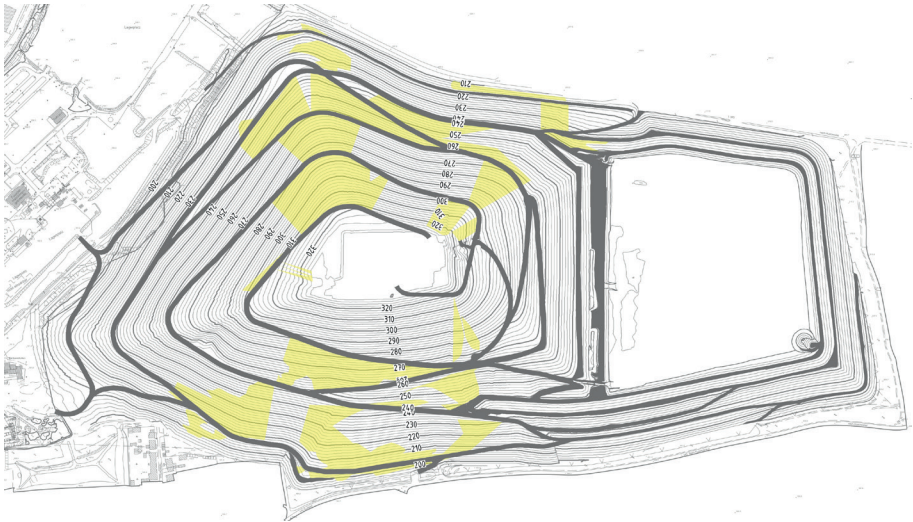


Abb 6: Unverdichtete Böschungsflächen aus Massenabtrag ohne frühzeitige Durchwurzelung, die eine Gefährdung durch Hautrutschungen bei starken Niederschlägen aufweisen können (worst-case).

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass Betrachtungen der Starkregengefährdung für verschiedene Risikobereiche auch im Bereich des Altbergbaus möglich und sinnvoll sind und damit wichtige Erkenntnisse für Sanierungs- oder Sicherungsprojekte gewonnen werden können. Forderungen der Behörden bzgl. einer Anpassung der Sanierungsplanung wurden formell nicht erhoben.

LITERATURVERZEICHNIS

- CDM Smith Consult GmbH: Bergehalde und Absinkweiher Duhamel, Bewertung der Standsicherheit auf Basis vorhandener Erkenntnisse. Berlin, 24.03.2017.
- CDM Smith Consult GmbH: Bergehalde und Absinkweiher Duhamel, Standsicherheitsuntersuchungen und Sanierungsvarianten, LPH 2 – Vorplanung. Berlin, 20.12.2019.
- CDM Smith Consult GmbH: Bergehalde und Absinkweiher Duhamel, Sanierung der Bergehalde Duhamel zur Beendigung der Bergaufsicht, LPH 3 – Entwurfsplanung. Berlin, 30.09.2021.
- Hopp, Luisa; McDonnell, Jeffrey J.; Condon, Pete: Lateral Subsurface Flow in a Soil Cover over Waste Rock in a Humid Temperate Environment, January 2011.
- Naseri, Mahyar, Iden, Sascha C.; Durner, Wolfgang: Effective hydraulic properties of 3D virtual stony soils identified by inverse modeling, February 2022.
- Deutscher Wetterdienst: KOSTRA-DWD 2010R 3.2: Starkniederschlagshöhen für Deutschland, Ens Dorf.
- CDM Smith Consult GmbH: Bergehalde und Absinkweiher Duhamel, Gefährdungsbetrachtung Starkregeneignis. Berlin, 27.03.2023.



LEADERS IN MECHANIZED SHAFT SINKING

Shaft station level 700 m,
Slavkaliy mine Nezhinskiy,
Belarus

ANY MINERAL. ANY GEOLOGY. ANYWHERE.

For more than 130 years we have safely and successfully sunk more than 500 shafts with a depth of over 230,000 m.

We are a member of The Redpath Group, operating on all five continents and belonging to the world market leaders in the field of mine construction.

We provide our customers with a complete range of services from design and engineering to construction, maintenance, reconstruction and rehabilitation. Contact us with your shaft-related inquiries.

REDPATH DEILMANN GmbH

Haustenbecke 1

44319 Dortmund, Germany

Tel.: +49 231 2891 395



REDPATH DEILMANN



www.redpathdeilmann.com



BERGBAU. BODEN. BAUWERK.

IBL Institut für Bergbau Boden und Bauwerk Lisiecki

www.ibl-ruhr.com

IBL 
BERGBAU BODEN BAUWERK

Integrales Monitoring für den Grubenwasseranstieg im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen – eine Plattform zur öffentlichen Präsentation und kritischen Diskussion der Ergebnisse des laufenden Monitorings

Michael Heitfeld¹, Peter Rosner¹, Wolfgang Dronia²

¹Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH, Aachen

²Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie in NRW

ZUSAMMENFASSUNG:

Im Rahmen der Einstellung des Steinkohlenbergbaus in Nordrhein-Westfalen bis zum Ende des Jahres 2018 soll das Grubenwasser im Ruhrrevier flächenhaft auf ein mittleres Niveau um -600 mNHN angehoben und die Wasserhaltung auf wenige Standorte konzentriert werden. Um mögliche Beeinträchtigungen von Schutzgütern frühzeitig zu erkennen und erforderlichenfalls Gegenmaßnahmen einleiten zu können, wurden der RAG Aktiengesellschaft durch die Bergbehörde Monitoringmaßnahmen aufgegeben. Diese bereits laufenden, regional ausgerichteten Monitoringmaßnahmen sollen durch das Integrale Monitoring in ein revierübergreifendes, einheitliches Monitoring überführt und weiterentwickelt werden. Die übergeordneten Projektziele des Integralen Monitorings sind dabei: Validierung der Grundannahmen, Steuerung des Vorhabens, Information der (Fach-)Öffentlichkeit, Transparenz der Verfahren und Steigerung der Akzeptanz.

Zur Sicherstellung von Mitwirkungsmöglichkeiten für einen breiten Personenkreis wurden neben den unmittelbar zuständigen Genehmigungsbehörden insbesondere auch die lokal zuständigen Bezirksregierungen, die betroffenen Kommunen und Kreise, verschiedene Verbände sowie Interessenvertretungen Bergbaubetroffener zur Teilnahme eingeladen. Am 25. August 2020 erfolgte mit der konstituierenden Sitzung der Entscheidungsgruppe der offizielle Auftakt des Integralen Monitorings. Parallel zur Arbeit der Arbeitsgruppen wurde eine Internetplattform geschaffen auf der u.a. relevante Dokumente zum Monitoringprozess, Sitzungsprotokolle und auch Monitoring-ergebnisse sukzessive veröffentlicht werden.

Der vorliegende Textbeitrag gibt einen Überblick über die Organisationsstruktur des Integralen Monitorings, die Systematik der revierübergreifenden Bearbeitung, die bisherigen Arbeitsergebnisse sowie die weiteren Planungen.

ABSTRACT:

As part of the cessation of coal mining in North Rhine-Westphalia by the end of 2018, the mine water in the Ruhr area is to be raised to an average level of around -600 mNHN and dewatering is to be concentrated at a small number of sites. In order to identify possible impairments to protected assets at an early stage, the mining authority has commissioned monitoring measures. These already running, regionally oriented monitoring measures are to be transferred and developed further by the integral monitoring into a district-spreading, uniform monitoring. The overall project objectives of the monitoring are: validation of the basic assumptions, control of the

project, information of the (expert) public, transparency of the procedures and increase of acceptance.

In order to ensure participation opportunities for a broad group of people, in addition to the directly responsible licensing authorities, the locally responsible district governments, the affected municipalities and districts, various local associations as well as interest groups of those affected by mining were invited to participate in the established working groups. On 25 August 2020, the constituent meeting of the decision-making group marked the official start of the Integrated Monitoring process. Parallel to the work of the working groups, an internet platform was created on which, among other things, relevant documents on the monitoring process, minutes of meetings and also monitoring results are successively published.

This article gives an overview of the organisational structure of the Integrated Monitoring, the systematics of the interterritorial processing, the results of the work so far and the further plans.

1 Projektbeschreibung

Seit der vollständigen Einstellung des Steinkohlenbergbaus in Nordrhein-Westfalen im Jahre 2018 werden die betrieblichen Wasserhaltungen auf der Grundlage eines von der RAG AG vorgelegten Konzeptes zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung für das gesamte Ruhrrevier sukzessive umgebaut und die bisherigen Wasserhaltungsniveaus auf ein mittleres Niveau um -600 mNHN angehoben.

Die zentralen Optimierungsmaßnahmen im Grubenwasserkonzept sind:

- Neuordnung der Zentralwasserhaltungsprovinzen durch Stilllegung und Zusammenlegung einzelner Zentraler Wasserhaltungen,
- Anheben der Pumpniveaus und
- Umbau von Grubenwasserhaltungen zu Brunnenbetrieben.

Hierzu sollen langfristig die Wässer der ehemaligen Bergwerke im westlichen Ruhrgebiet sowie der ehemaligen Wasserhaltung Concordia im mittleren Ruhrrevier am Standort Walsum (Annahmenniveau -746 mNHN) gehoben und in den Rhein geleitet werden. Im mittleren Ruhrrevier wurden nach Einstellung der Wasserhaltungen Fürst Leopold und Auguste Victoria sowie nach der Beendigung der Grubenwasserhebung auf dem ehemaligen Bergwerk Prosper Haniel bis 03.2023 sukzessive auch die Zentralen Wasserhaltungen Amalie, Carolinenglück und Zollverein stillgelegt. Die Grubenwässer der Standorte Amalie, Auguste Victoria, Carolinenglück, Fürst Leopold, Prosper Haniel und Zollverein sollen nunmehr am Standort Lohberg angenommen (geplantes Annahmenniveau -630 mNHN) und ab ca. 2030 von dort in den Rhein eingeleitet werden.

Im östlichen Ruhrrevier sollen die am Standort Haus Aden (geplantes Annahmenniveau 650 mNHN) gehobenen Grubenwässer weiter in die Lippe eingeleitet werden. Die im südlichen Ruhrrevier an der Ruhr gelegenen drei zentralen Wasserhaltungen Heinrich (Annahmenniveau z.Zt. -480 mNHN, geplant bis max. -280 mNHN), Friedlicher Nachbar (Annahmenniveau 175 mNHN) und Robert Müser (Annahmenniveau -445 mNHN) sollen weiter betrieben werden.

Im Ergebnis sollen im Ruhrrevier in den Wasserprovinzen West, Mitte, Ost und Ruhr sechs funktionell und hydraulisch voneinander unabhängige Wasserhaltungsbereiche entstehen (Abb. 1).

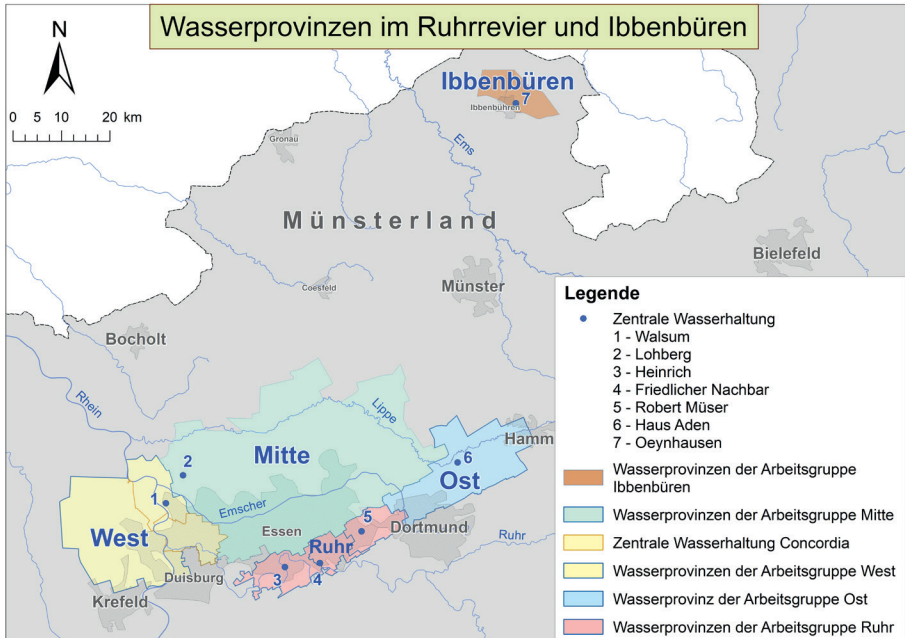


Abb. 1: Lage der Wasserprovinzen und der Einleitungsstellen im Ruhrrevier und in Ibbenbüren
(Quelle: Bez.-Reg. Arnsberg)

Im Rahmen des Grubenwasseranstiegs im Ruhrrevier müssen der Schutz der Tagesoberfläche (Bodenbewegungen, Gasaustritte) sowie ein ausreichender Sicherheitsabstand zu den für die Trinkwasserversorgung und weitere Grundwassernutzungen (z.B. Getränkeindustrie) relevanten Grundwasserkörpern sichergestellt werden. Weiterhin müssen die verbleibenden Grubenwasser-einleitungen in Rhein, Lippe und Ruhr gewässerverträglich sein. Dies ist durch entsprechende Maßnahmen sicherzustellen und durch ein geeignetes Monitoring zu überprüfen. Bei Abweichungen von den Zulassungsvoraussetzungen und potenzieller Gefährdung der Schutzziele kann gegebenenfalls auch eine Anpassung des gemäß Grubenwasserkonzept anzustrebenden Pumpniveaus im Ruhrrevier notwendig werden.

Im Rahmen des Integralen Monitorings soll durch eine überregional einheitliche Konzeption der erforderlichen Monitoringmaßnahmen und Bewertungskriterien eine schlüssige und transparente Grundlage für eine einheitliche Bewertung der möglichen Einwirkungen des Grubenwasseranstiegs und daraus abzuleitender Maßnahmen geschaffen werden.

In dieses übergeordnete Monitoring und Bewertungskonzept wurde auch das Ibbenbürener Steinkohlenrevier einbezogen. Im sogenannten „Westfeld“ ist das Grubenwasser hier bereits seit Jahren auf das geplante Endniveau (+63 mNHN) angestiegen und kann aufgrund der topographischen

Verhältnisse ohne Pumpbetrieb über den Dickenberger Stollen aus dem Bergwerk abfließen. Das Grubenwasser wird in der Kläranlage Gravenhorst enteist und in die Ibbenbürener Aa eingeleitet. Im „Ostfeld“ hat der Grubenwasseranstieg im Juni 2020 begonnen. Das Grubenwasser soll hier ebenfalls auf das natürliche Vorflutniveau der Ibbenbürener Aa ansteigen und über einen aktuell im Bau befindlichen Grubenwasserkanal der Kläranlage Gravenhorst und schließlich der Ibbenbürener Aa zugeleitet werden. Auch hier ist die Einhaltung der Schutzziele durch ein geeignetes Monitoring nachzuweisen.

Mit der Vorlage des Grubenwasserkonzepts der RAG AG im Jahre 2014 hat die breite öffentliche Diskussion um den Grubenwasseranstieg, die Kontrollierbarkeit und die möglichen Auswirkungen nochmals an Fahrt aufgenommen. Auch hierauf soll mit dem Integralen Monitoring reagiert werden. Aus den fachlichen Erfordernissen und dem öffentlichen Interesse ergeben sich somit folgende übergeordnete Projektziele des Integralen Monitorings für den Grubenwasseranstieg im Steinkohlenbergbau in NRW:

- Validierung der Grundannahmen,
- Steuerung des Vorhabens,
- Information der (Fach-)Öffentlichkeit,
- Transparenz der Verfahren und
- Steigerung der Akzeptanz.

Das Integrale Monitoring soll umfassend öffentlich informieren und zugleich eine Diskussionsplattform für alle am Prozess Beteiligten bzw. vom Grubenwasseranstieg Betroffenen sein. Durch die Diskussion soll eine Mitwirkungsmöglichkeit an der Festlegung von Bewertungskriterien, Monitoringmaßnahmen und erforderlichenfalls Anpassungen der Grubenwasserhaltungen ermöglicht werden.

Die im Folgenden erläuterten Inhalte des Integralen Monitorings sind ausführlich in einem Projekthandbuch dokumentiert, welches über die Internetseite des Integralen Monitorings abgerufen werden kann (<https://www.grubenwasser-steinkohle-nrw.de/ergebnisse>).

2 Organisation des Integralen Monitorings

Erste Vorüberlegungen zum Aufbau eines Integralen Monitorings für den Grubenwasseranstieg in NRW wurden bereits im Januar 2019 angestellt. Anhand von Erfahrungen mit anderen großräumig angelegten Monitoringprozessen z.B. im Bereich des Braunkohlenbergbaus in NRW wurden mit Fachexperten aus Industrie, Verwaltung und Ingenieurbüros die Grundgedanken für das Integrale Monitoring entwickelt und die Aufgaben für den Aufbau und die Organisation des Projekts identifiziert. In diesem Rahmen wurden auch die potenziell an der Mitarbeit im Projekt Interessierten identifiziert und über das Vorhaben informiert.

Der formelle Beschluss über den Aufbau und die Durchführung eines Integralen Monitorings für den Grubenwasseranstieg im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen wurde mit einer Vereinbarung zwischen dem Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIKE), dem Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNV) und der RAG AG im Februar 2020 gefasst.

09.–10. November 2023

UNESCO-Welterbe Zollverein | Essen

21. Altbergbaukolloquium



Wir freuen uns in diesem Jahr an der traditionsreichen Fachveranstaltung teilnehmen zu dürfen. Persönlich stehen wir für den fachlichen Austausch bereit. Wir sind Spezialisten. Seit 2007 erkundet und sichert die GbE Grundbau Essen GmbH Gefährdungen, die aus den Folgen des Altbergbaus resultieren. Zusätzlich zu den Arbeiten im Altbergbau führen wir auch Arbeiten aus dem Spezialtiefbau, wie z. B. Unterfangungsinjektionen und Gründungsverbesserungen sowie Baugrunderkundungen aus.



Auf **GbE** können Sie bauen.

GbE Grundbau Essen GmbH

Tel.: 0201 8675 84 80 | info@grundbau-essen.de
www.grundbau-essen.de

Am Projekt beteiligt sind neben der Abteilung Bergbau und Energie in NRW der Bez.-Reg. Arnsberg als zuständiger Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde (Bergbehörde) und den fachaufsichtlich zuständigen Ministerien (MWIKE als oberste Bergbehörde und MUNV als oberste Wasser- und Naturschutzbehörde), der Geologische Dienst NRW (GD NRW), das Landesamt für Umwelt-, Naturschutz und Verbraucherschutz NRW (LANUV), die RAG AG als Unternehmer, die lokal zuständigen Bezirksregierungen, die Bez.-Reg. Köln, Abt. 7 Geobasis NRW, die betroffenen Kommunen, die Umweltschutzbehörden (Kreise und kreisfreie Städte), der Regionalverband Ruhr, Wasserversorger, Wasserverbände, die Landwirtschaftskammer NRW, Naturschutzverbände, Interessenvertreter Bergbaubetroffener und Bergbau-Altesellschaften zu nennen.

Die Organisationsstruktur für das Projekt besteht aus der landesweiten Entscheidungsgruppe (EG), drei thematischen Konzeptgruppen (KG) sowie fünf Regionalen Arbeitsgruppen (RG). Der organisatorische Aufbau der Gremien des Integralen Monitorings ist in Abb. 2 dargestellt.

Die landesweite **Entscheidungsgruppe** ist das Entscheidungsgremium des Integralen Monitorings. Sie bewertet und entscheidet über aufbau- und ablauforganisatorische Fragen und kann Empfehlungen zur Umsetzung des bergrechtlichen Monitorings oder für erforderliche Anpassungsmaßnahmen in der Umsetzung des Grubenwasseranstiegs an die Genehmigungsbehörde aussprechen. Die Entscheidungsgruppe trifft ihre Entscheidungen in der Regel auf Basis von Berichten und Beschlüssen aus den Konzeptgruppen und den Regionalen Arbeitsgruppen und kann Arbeitsaufträge an die Konzeptgruppen bzw. Regionalen Arbeitsgruppen erteilen.

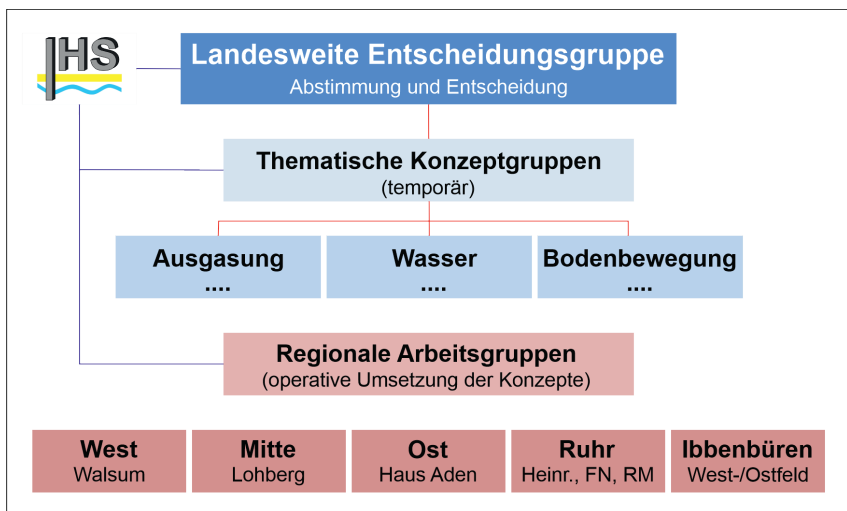


Abb. 2: Organisationsstruktur des Integralen Monitorings

Die **Konzeptgruppen** sind entsprechend den zu bearbeitenden Arbeitsfeldern aus dem Teilnehmerkreis der Entscheidungsgruppe heraus eingerichtet worden. In den Konzeptgruppen werden überregional einheitliche, fachlich fundierte Arbeitsgrundlagen für die Durchführung des Integralen

Monitorings erarbeitet. Hier werden einheitliche Monitoringziele und Bewertungsmaßstäbe definiert, Handlungsanweisungen hinsichtlich Umfang und Art der zu erhebenden Daten und erforderlichen Messstellen erarbeitet sowie die Grundsätze der Bereitstellung von Daten und Monitoringergebnissen formuliert.

Die konzeptionelle Arbeit wurde nach fachlichen Kriterien in die drei Themenbereiche „Ausgasung“, „Wasser“ und „Bodenbewegung“ aufgeteilt. Für die Abarbeitung von speziellen Fragestellungen können Unterarbeitsgruppen eingerichtet werden. Aus den Konzeptgruppen können Arbeitsaufträge an die Regionalen Arbeitsgruppen erteilt oder Anfragen zur übergeordneten Klärung an die Entscheidungsgruppe gerichtet werden.

Die **Regionalen Arbeitsgruppen** sind die operative Ebene des Integralen Monitorings. Hier werden die in den Konzeptgruppen erarbeiteten methodischen Grundlagen unter Berücksichtigung der spezifischen regionalen Besonderheiten umgesetzt, die Ergebnisse des laufenden Monitorings vorgestellt und diskutiert. Auf dieser Grundlage werden Bewertungen vorgenommen und gegebenenfalls Handlungserfordernisse formuliert.

Die Aufteilung in Regionale Arbeitsgruppen orientiert sich an den verbleibenden Wasserprovinzen West, Mitte, Ost, Ruhr und Ibbenbüren (Abb. 1). Die in den Konzeptgruppen erarbeiteten Monitoringgrundsätze werden in den Regionalen Arbeitsgruppen erforderlichenfalls für die jeweiligen regionalen Verhältnisse spezifiziert. Zur Klärung fachlicher Grundsätze des Monitorings können Anfragen an die Konzeptgruppen gestellt werden. Beschlüsse der Regionalen Arbeitsgruppen hinsichtlich der Bewertung der Monitoringergebnisse oder Handlungserfordernisse werden an die Entscheidungsgruppe zur Information bzw. zur Entscheidung weitergeleitet.

Zur organisatorischen Unterstützung der Arbeit des Integralen Monitorings wurde eine externe **geschäftsführende Leitung** an das Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH (IHS) beauftragt. Diese übernimmt primär das übergreifende Projektmanagement, die Vor- und Nachbereitung aller Sitzungen und die redaktionelle Bearbeitung von Ergebnisberichten (Jahresberichte, Projekthandbuch). Weiterhin zählen die Entwicklung, der Betrieb und die Pflege eines Projektinformationssystems zu den zentralen Aufgaben. Die Bezirksregierung Arnsberg, Abt. 6, hat eine koordinierende Funktion als Bindeglied zwischen den o. a. Gremien und der geschäftsführenden Leitung inne.

Der Teilnehmerkreis an den einzelnen Arbeitsgruppen ist bei berechtigtem Interesse grundsätzlich offen.

3 Abgrenzung von behördlicher Überwachung und Integrale Monitoring

Die Überwachung der Einhaltung der in den Genehmigungen zum Grubenwasseranstieg erlassenen Nebenbestimmungen sind eine hoheitliche behördliche Aufgabe. Die behördliche Überwachung und das integrale Monitoring sind daher formal strikt voneinander zu trennen.

Genehmigungen insbesondere die Nebenbestimmungen – entfalten unmittelbare Rechtswirkung gegenüber dem Antragsteller/Genehmigungsinhaber (hier: RAG AG). Die RAG AG unterliegt damit der staatlichen (ordnungsbehördlichen) Aufsicht durch die hier im bergrechtlichen Betriebsplanverfahren zuständige Bergbehörde (Bez.-Reg. Arnsberg, Abteilung für Bergbau und Energie

in NRW). Die Einhaltung der Genehmigungsaufgaben wird laufend überprüft und kann ordnungsrechtlich erzwungen werden. Ergebnisse der Überwachung werden teilweise in einschlägigen Datenportalen (z. B. ELWAS-WEB – www.elwasweb.nrw.de; FIS GDU – www.gdu.nrw.de) öffentlich zugänglich im Internet angeboten bzw. können anlassbezogen durch Auskunftsgesuche bei den zuständigen Behörden erfragt werden (z. B. auf Grundlage § 4 Abs. 1 UIG).

Das Integrale Monitoring soll über das behördliche Handeln hinaus durch die kontinuierliche Begleitung des Grubenwasseranstiegsprozesses bereits frühzeitig unerwünschte oder unzulässige Entwicklungen erkennen und gegebenenfalls bereits vor der behördlichen Eingriffsschwelle in der Diskussion mit dem am Integralen Monitoring beteiligten Unternehmer (RAG AG) Anpassungsmaßnahmen entwickeln. Durch die breite Beteiligung von Fachbehörden, Kommunen und potenziell Betroffenen wird ein vielschichtiger Blick auf die Ergebnisse des Monitorings gewährleistet und die fachliche Diskussion kanalisiert. Arbeitsgrundlage bildet dabei eine umfassende Information aller am Prozess Beteiligten sowie letztlich der gesamten Öffentlichkeit über die Ergebnisse des behördlich auferlegten Monitorings. Dies erfolgt zum einen durch eine regelmäßige Berichterstattung der RAG AG in den Sitzungen der verschiedenen Arbeitsgruppen des Integralen Monitorings. Zum anderen werden die öffentliche Verfügbarkeit von Monitoringdaten erheblich erweitert und die behördlich auferlegten Monitoringberichte der RAG AG unter Berücksichtigung datenschutzrechtlicher Erfordernisse verfügbar gemacht.

Im Rahmen des Integralen Monitorings entwickelte Anpassungsvorschläge werden über die sogenannte Entscheidungsgruppe als Empfehlungen an die Bergbehörde als Genehmigungsbehörde herangetragen. Nur die Bergbehörde kann aber dann letztlich auf der Grundlage berg- und wasserrechtlicher Vorgaben über eine entsprechende Anpassung bergrechtlicher Zulassungen oder wasserrechtlicher Erlaubnisse entscheiden.

4 Arbeit der Organe des Integralen Monitorings

Die Konzeption für das Integrale Monitoring wurde den am Projekt Interessierten im Rahmen von mehreren Informationsveranstaltungen in der ersten Jahreshälfte 2020 vorgestellt. Mit der Auftakt-sitzung der Entscheidungsgruppe am 25.08.2020 in Gladbeck hat das Integrale Monitoring seine Arbeit aufgenommen. Die Folgesitzungen der verschiedenen Arbeitsgruppen wurden als Video-konferenz ausgeführt; dieses Format hat sich grundsätzlich bewährt.

4.1 Konzeptgruppen

In 2020/2021 wurden zunächst in vier Sitzungs-runden der Konzeptgruppen die konzeptionellen Grundlagen des Monitorings erarbeitet. Die Konzeptgruppen Ausgasung und Bodenbewegung wurden danach ruhend gestellt; sie können bei Bedarf wieder einberufen werden.

Wesentlicher Bestandteil der Konzeptgruppenarbeit waren zunächst das Einholen von Informationen über Fachvorträge, die Definition von Themenfeldern und die inhaltliche Bearbeitung der Themenfelder nach einem für alle Konzeptgruppen standardisierten System, den von der Berg-behörde entwickelten „Steckbriefen“.

In den Konzeptgruppensitzungen wurde zum einen durch die RAG AG über den Stand der Planungen zum Grubenwasseranstieg und das laufende Monitoring informiert. Weiterhin wurde mittels Fachvorträgen über wissenschaftliche Hintergründe der verschiedenen Themen des Monitorings informiert. Dies umfasste u.a. Vorträge zu den Themenbereichen Grundwassermodelle (EG/LV), Systematik der tiefen Grundwasserkörper (GD NRW), Grundwasser- und Oberflächengewässermonitoring (LANUV), Boxmodell (DMT), Erdbeben (GD NRW/Ruhr Uni Bochum), Grundsätze der Erfassung von Bodenbewegungen in NRW und Ergebnisse des Projektes „Ruhrgebiet - Höhenänderungen seit ca. 1900“ (GEObasis.nrw), PCB - Probennahme/Analytik/Grubenwasseraufbereitung (RAG AG).

Durch die Konzeptgruppen wurden für die einzelnen identifizierten Themenfelder Ausgasung/Wasser/Bodenbewegung themenbezogene Steckbriefe erarbeitet, anhand derer die Arbeit der Regionalen Arbeitsgruppen einheitlich strukturiert werden soll. In diesen Steckbriefen sind nach einem formal standardisierten tabellarischen Aufbau u.a. Angaben

- zur Zielsetzung des Monitorings im Hinblick auf die identifizierten potenziellen Einwirkungen des Grubenwasseranstiegs,
- zu erforderlichen Daten, Datenquellen und Datenverfügbarkeit,
- zu Grenzwerten, Bewertungsmaßstäben, Warnmechanismen und Handlungsempfehlungen bei Zielabweichung,
- zur Erfassung und Dokumentation von Messdaten und
- zur Dokumentation von Handlungsempfehlungen.

Im Rahmen der Konzeptgruppenarbeit wurden insgesamt 13 Steckbriefe für die identifizierten Monitoringziele erstellt. Der Schwerpunkt der Bearbeitung lag dabei bei der Konzeptgruppe Wasser (9 Steckbriefe).

4.2 *Unterarbeitsgruppe Daten*

Spezielle Fragestellungen zur Datenbereitstellung und zum Datenschutz wurden für alle drei Konzeptgruppen in die Unterarbeitsgruppe Daten ausgelagert. Hier wurden die Sichtung der projektrelevanten Datenbestände und Datenerfordernisse vorgenommen und Zugangsmöglichkeiten auf externe Daten/Datenbanken geklärt. Hierzu wurden auch die datenschutzrechtlichen Belange geprüft und im Hinblick auf die Möglichkeit des öffentlichen Zugangs für jedermann eingeordnet. Bezüglich der Ablage von Informationen wurden hier die Strukturen des Dokumentationssystems für das operative Monitoring erarbeitet und ergänzende Hilfsdokumente (z. B. Formulare) entwickelt. Wesentlicher Grundsatz dabei war, dass im Hinblick auf eine weitgehende Transparenz des Monitorings möglichst alle Monitoringergebnisse öffentlich zugänglich gemacht werden sollen, zugleich aber möglichst auf vorhandene Datenbanken zurückgegriffen wird. Die Ergebnisse sind im Projektinformationssystem umgesetzt worden.

Ein wichtiger Bestandteil der Arbeit war in diesem Zusammenhang die Abstimmung der Datenmigration in das Landessystem HYGRIS C bzw. ELWAS-WEB im Wesentlichen zwischen LANUV und RAG AG. Dazu mussten entsprechende Schnittstellen definiert und die Auffindbarkeit der Daten im ELWAS-Web möglichst transparent gestaltet werden. Zielsetzung ist die Bereitstellung eines

gesonderten Ordners „Grubenwasseranstieg“ im ELWAS-Web, über den unmittelbar auf die relevanten Messdaten des Integralen Monitorings für den Themenbereich „Wasser“ zugegriffen werden kann; diese Arbeiten sollen in 2024 abgeschlossen werden.

4.3 *Unterarbeitsgruppe „Tiefe Pegel“*

Weitere Fragestellungen zur Parametrierung der Messungen für Oberflächengewässer, Grund- und Grubenwasser sowie zur Konzeptionierung und Begleitung des Gutachtens „Tiefe Pegel“ wurden auf die Unterarbeitsgruppe Tiefe Pegel ausgelagert.

Hier wurde zur Überwachung der Qualität von Oberflächengewässern, dem Grund- und Grubenwasser ein differenzierter Parameterkatalog aufgestellt.

Das Projekt „Tiefe Pegel“ war veranlasst worden, weil der Bestand an Messstellen in tieferen Grundwasserkörpern (Cenoman/Turon) sehr lückenhaft bzw. wegen der Lage der Messstellen unzureichend ist, um Fragen der Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs auf diese tieferen Grundwasserkörper revierweit zuverlässig beantworten zu können. Konzeption und Leistungsbeschreibung für dieses Projekt wurden von der RAG AG vorgestellt und mit den Konzeptgruppenmitgliedern diskutiert. Auf dieser Grundlage erfolgte im 3. Quartal 2021 eine gutachterliche Beauftragung an die ahu, Aachen. Über Zwischenstände der Bearbeitung wurde in den Konzeptgruppensitzungen informiert. Der Entwurf des Gutachtens wurde im Juni 2023 an die Konzeptgruppenmitglieder verteilt. Aktuell befindet sich das Gutachten noch in der Abstimmung. Die Unterarbeitsgruppe „Tiefe Pegel“ wurde zwischenzeitlich ruhend gestellt; die Restarbeiten werden in der Konzeptgruppe Wasser weitergeführt.

4.4 *Regionale Arbeitsgruppen*

Die vier Regionalen Arbeitsgruppen des Ruhrreviers haben sukzessive in 2021/2022 ihre Arbeit aufgenommen; die Sitzungen werden in der Regel halbjährlich angesetzt. Die Regionale Arbeitsgruppe Ibbenbüren wurde bereits im Dezember 2020 eingesetzt, da der Anstiegsprozess hier bereits begonnen hatte und sehr schnell erfolgt. Weiterhin gibt es ein bestehendes Gremium zum Monitoring aufgrund der Regelungen des Rahmenbetriebsplans für das Bergwerk Ibbenbüren, auf dem unmittelbar aufgebaut werden konnte.

Inhaltlich wurden hier zunächst einführende Fachvorträge gehalten und die Ergebnisse der Arbeit der Konzeptgruppen vorgestellt (Steckbriefe). Im Weiteren lag der Schwerpunkt der Tätigkeit auf der Identifizierung von geeigneten Messstellen, der darauf bezogenen Steckbriefkonkretisierungen und der Einbindung der bisherigen Monitoringberichte auf Basis der Abschlussbetriebsplanzulassungen und wasserrechtlichen Erlaubnisse in das System des Monitorings.

Wesentlicher Bestandteil der Arbeitsgruppensitzungen ist die Information über den Stand der Grubenbetriebe und des Monitorings durch die RAG AG sowie die Information über den Stand der Genehmigungsverfahren durch die Bergbehörde. Auf dieser Grundlage werden – soweit bereits möglich – sukzessive die Aus- und Bewertungen zu den bereits als einschlägig identifizierten Messstellen, Messberichten und Gutachten aufgenommen. Die Monitoringergebnisse und die Planungen zum Grubenwasseranstieg werden intensiv diskutiert, wodurch eine weitgehende Transparenz der Entscheidungen erreicht wird.

Nach Erledigung der Grundlagenarbeit wird sich zukünftig der Arbeitsschwerpunkt auf die Aus- und Bewertung von Messergebnissen/-berichten und die Empfehlung sowie Überwachung der Umsetzung von Maßnahmen verlagern.

Die Arbeit der Konzept- und Regionalen Arbeitsgruppen wird durch in der Regel halbjährliche Sitzungen der Entscheidungsgruppe begleitet und koordiniert. Hier werden Berichte und Anfragen aus den Arbeitsgruppen entgegengenommen und Beschlüsse zu Bewertungen und gegebenenfalls erforderlichen Maßnahmen sowie den erstellten Dokumenten (u.a. Jahresbericht/Projekthandbuch) gefasst.

Aktuell sind insgesamt rd. 150 Personen als Projektmitglieder geführt. In den einzelnen Arbeitsgruppen sind zwischen 17 und 43 Personen tätig; vielfach sind Einzelpersonen in mehreren Arbeitsgruppen tätig. Besonderes Interesse besteht am Themenbereich „Wasser“.

5 Dokumentation und Berichtswesen

Die Dokumentation der Arbeit in den verschiedenen Gremien ist ein wesentlicher Bestandteil der Öffentlichkeitsarbeit zur Gewährleistung der Transparenz des Integralen Monitorings. Die im Rahmen der Arbeit der Arbeitsgruppen erstellten Dokumente werden über das Projektinformationssystem veröffentlicht.

Die wesentlichsten Dokumente sind hierzu die Sitzungsprotokolle, in denen die Arbeit der Gruppen detailliert dokumentiert und in denen auch die gehaltenen Fachvorträge enthalten sind. In den Sitzungsprotokollen sind insbesondere auch kontroverse Diskussionen wiedergegeben, so dass auch einzelne kontroverse Standpunkte dokumentiert sind, auch wenn sie am Ende einer Diskussion nicht in Beschlüsse aufgenommen werden.

Einen zusammenfassenden Überblick über die Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Integralen Monitoring für den Grubenwasseranstieg sowie die Ergebnisse des operativen Monitorings geben die regelmäßig veröffentlichten Jahresberichte.

Die planerisch-organisatorischen und sachlich-inhaltlichen Grundlagen des Projektes „Integrales Monitoring für den Grubenwasseranstieg im Steinkohlenbergbau in NRW“ werden in einem Projekthandbuch niedergelegt. Das Projekthandbuch wird auf Grundlage des Abstimmungsprozesses mit allen am Integralen Monitoring Beteiligten erstellt und bildet die gemeinsame Geschäftsgrundlage für das Projekt. Hierzu gehören die Beschreibung der Ausgangssituation, die Projektziele, die Projektorganisation und Kommunikation, die inhaltliche Projektstruktur, die Beschreibung der Arbeitspakete und Aufgaben sowie die Ablaufplanung. Das Projekthandbuch dokumentiert zusammenfassend die Vereinbarungen und Ergebnisse der landesweiten Entscheidungsgruppe und enthält Verweise auf die relevanten Dokumente sowie eine Beschreibung der in den verschiedenen Arbeitsgruppen anfallenden regelmäßigen Aufgaben. Das Projekthandbuch wird sukzessive der Projektentwicklung angepasst und fortgeschrieben.

Alle Dokumente werden im Projektinformationssystem veröffentlicht.

6 Projektinformationssystem

Das Projektinformationssystem – als „PiS“ abgekürzt – ist eine öffentlich zugängliche Webseite, auf der alle relevanten Informationen und Monitoringdaten zum Grubenwasseranstieg zusammengetragen werden (<https://www.grubenwasser-steinkohle-nrw.de/>). Anhand der bereitgestellten Informationen wird allen Interessierten ein transparenter Einblick in die Entwicklung des Grubenwasseranstiegs, die daraus resultierenden Einwirkungen auf die Schutzgüter sowie die im Zusammenhang mit dem Grubenwasseranstieg getroffenen Maßnahmen gegeben (s. Abb. 3).



Abb. 3: Startseite des Projektinformationssystems im Internet

Alle im Rahmen des Integralen Monitorings erarbeiteten Ergebnisberichte, Sitzungsprotokolle, sonstige Dokumente und Messdaten werden im Projektinformationssystem abgelegt bzw. verfügbar gemacht. Soweit erforderlich und zweckmäßig, sind auch die maßgeblichen behördlichen Zulassungen und weitere Hintergrundinformationen als Grundlagendaten abgelegt.

Bei extern verfügbaren Messdaten bzw. Berichten/Gutachten enthält das Projektinformationssystem einen Verweis auf die entsprechenden Quellen und verzichtet im Wesentlichen auf die Ablage redundanter Informationen. Des Weiteren enthält das PiS auch Links auf weitere Internetportale, die als Hintergrundinformationen dienlich sein können. Soweit keine Verweise zu externen Datenquellen möglich sind, werden diese Dokumente entsprechend ihrer thematischen und örtlichen Zuordnung der Inhalte an geeigneter Stelle im Projektinformationssystem abgelegt.

Ein Sitzungskalender informiert über die Termine der verschiedenen Arbeitsgruppen des Integralen Monitorings und verweist auf bereits vorliegende Sitzungsunterlagen. Unter dem Menüpunkt //Start/Aktuelles wird regelmäßig über neu eingestellte Unterlagen informiert, um Transparenz und Zugang zu den Informationen zu erleichtern (s. Abb. 4).

Für die Ablage der im Rahmen des Integralen Monitorings erzeugten Dokumente (Steckbriefe, Handlungsanweisungen, Messstellenlisten, Monitoringergebnisse) wurde ein gesonderter Cloud-Speicher („PiS-Ablage“) angelegt, der über eine Schaltfläche der Internetseite unter dem Hauptmenüpunkt „Ergebnisse“ öffentlich zugänglich ist.

In einem nur für Mitglieder der Arbeitsgruppen des Integralen Monitorings zugänglichen „internen Bereich“ werden im Wesentlichen die Mitgliederlisten der einzelnen Gruppen mit Kontaktdaten geführt, die aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht veröffentlicht werden können.

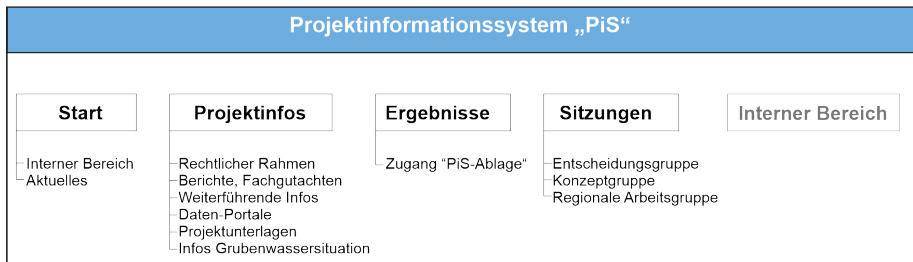


Abb. 4: Menügliederung Projektinformationssystem

7 Ergebnisse und Ausblick

Nach Einsetzung des Integralen Monitorings in 08.2020 haben sich die Arbeitsgruppen zwischenzeitlich etabliert und nach Schaffung der Arbeitsgrundlagen auch die inhaltlich-operative Arbeit aufgenommen. Die Arbeitsgruppensitzungen haben sich unter reger Beteiligung auch von potenziell Betroffenen des Grubenwasseranstiegs als Plattform für einen intensiven Austausch zwischen dem Unternehmer (RAG AG) und den am Monitoring Beteiligten bzw. vom Grubenwasseranstieg potenziell Betroffenen etabliert. In gemeinsamer Arbeit wurden Handlungsgrundlagen und Ziele des Monitorings definiert. Auf dieser Grundlage erfolgt jetzt die kontinuierliche Diskussion über Ergebnisse des Monitorings und laufende Maßnahmen im Rahmen des Grubenwasseranstiegs.

Im Weiteren wird man mit dem Fortschreiten des Grubenwasseranstiegs verstärkt auch in die Bewertung von Monitoringergebnissen einsteigen. Dokumentation und Präsentation der Monitoringergebnisse sollen auf der Grundlage der Anregungen aus dem Kreis der Beteiligten sukzessive optimiert werden.

Das Integrale Monitoring für den Grubenwasseranstieg im Steinkohlenbergbau in NRW bildet somit auch ein wichtiges Vorstück für den Aufbau entsprechender Monitoringkonzepte z.B. im saarländischen Steinkohlenrevier.

LITERATURVERZEICHNIS

ahu GmbH: Hydrogeologisches Gutachten zu Fragen des Grubenwasseranstiegs, betroffenen Grundwasserkörpern und der Positionierung neuer Grundwassermessstellen. Gutachten im Auftrag der RAG AG. Aachen, 14.06.2023.

Bezirksregierung Arnsberg: Integrales Monitoring für den Grubenwasseranstieg im Steinkohlenbergbau in Nordrhein-Westfalen, Konzeptbeschreibung. Dortmund, 19.08.2020.

Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH: Gutachten zu den möglichen Auswirkungen eines Grubenwasseranstiegs im Ruhrrevier auf die Schutzgüter und den daraus resultierenden Monitoring-Maßnahmen. Aachen, 30.04.2007.

RAG AG: Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für Nordrhein-Westfalen. Herne, 08.2014.

Sanierung eines überstauten Wasserlösestollens; Wilsmicker- & Altenberger Stolln in Wenden, Sauerland

**Sebastian Hillinger¹, Philipp Philipp²,
Ingo Milas², Nikolaus Linder¹**

¹Fichtner Water & Transportation GmbH

²Bezirksregierung Arnsberg Abt. 63

ZUSAMMENFASSUNG:

Im Januar 2023 kam es vor einem Wohnhaus in Wenden, Sauerland, zu einem schwallartigen Wasseraustritt aus dem Untergrund. Das Wasser trat im Bereich eines alten Entwässerungsschachtes diffus zu Tage.

Der betroffene Entwässerungsschacht wurde in den 1980er Jahren auf den Wilsmicker Stollen aufgesetzt, der Grubenwässer aus einem weiträumigen Grubengebäude ableitet. Die Gruben gehören zum Altenberger und zum Wilsmicker Revier. In diesen Revieren wurde vornehmlich Eisenerz abgebaut.

Unmittelbar nach Eintritt des Schadensfalles leitete die Bezirksregierung Arnsberg im Rahmen ihres gesetzlichen Auftrages ad-hoc-Untersuchungs- und Sicherungsmaßnahmen ein.

Zu Maßnahmenbeginn wurde im Bereich des Entwässerungsschachtes eine hydraulische Entspannung geschaffen, indem der Schachtkopf partiell freigelegt wurde.

Die altbergbauliche und auch die hydraulische Standortsituation wurden daraufhin umfangreich erkundet. Es zeigte sich, dass der Wilsmicker Stollen tatsächlich von einem zweiten Stollen gekreuzt wird und unter einem erheblichem Überstau steht. Zudem wiesen unterschiedliche Druckspiegel im Stollensystem auf eine abschnittsweise hydraulische Trennung hin, die vermutlich durch Stollenverbrüche entstanden sind.

Nach Abwägung unterschiedlicher Sanierungsvarianten wurde eine Lösung bevorzugt, die das Stollensystem weiterhin im Überstau entwässert. Beim Variantenvergleich wurden nach Rücksprache mit den zuständigen Fachbehörden auch die umwelttechnischen, wasserrechtlichen, wirtschaftlichen und standortspezifischen Randbedingungen mitberücksichtigt.

Im Rahmen der bautechnischen Umsetzung wird in einem ersten Schritt die hydraulische Situation im Wilsmicker Stollen über Bohrungen und Pumpversuche quantifiziert. Anschließend wird der Stollen abstromig über eine Rampe angefahren. Damit kann ein nachhaltiges Hebebauwerk (Entwässerungsbauwerk) inkl. einer hieran angeschlossenen Freispiegelleitung auf den Stollen aufgesetzt werden.

ABSTRACT:

In January 2023, a spontaneous outflow of water occurred in front of a residential building in Wenden (Sauerland). The water flow was linked to the head of an old drainage shaft.

This drainage shaft was constructed on top of the Wilsmicker dewatering tunnel in the 1980s.

The Wilsmicker dewatering tunnel drains water out of the old mining galleries. These mining galleries belong to the Altenberger district and the Wilsmicker district. Mainly iron ore was mined within these districts.

Immediately after the damage, the district government of Arnsberg initiated ad hoc exploration works and security measures as part of their statutory mandate.

After inspection of the damage, the shaft head was partially excavated to allow controlled draw down of the hydraulic system.

Simultaneously, the post-mining situation and the underground hydraulic condition were examined.

The exploration showed that the Wilsmicker dewatering tunnel is crossed by a second tunnel, and that overflow occurs inside the Wilsmicker tunnel.

In addition, different pressure levels were determined in different sections. This indicates that hydraulic separation has occurred in the tunnel system, presumably caused by the tunnel system collapsing.

After weighing up the pros and cons of various rehabilitation options, a solution was favored which would continue to drain the tunnel system under overflow conditions (pressure heads above the tunnel system). During the comparison of the rehabilitation options, environmental aspects, legal issues, economical aspects and site-specific boundary conditions were also considered after consultation with the responsible technical authorities.

Initially, information on the hydraulic situation within the Wilsmicker tunnel will be quantified by means of drilling works and pumping tests. The borehole will be used to drain the tunnel.

Downstream, the tunnel will be accessed by a ramp to build a long-term dewatering shaft (drainage-building) which will be installed on top of the wilsmicker tunnel. Finally, the water will be discharged by gravity at the next natural run-off.

1 Ausgangssituation

Am 13.01.2023 kam es vor einem Wohnhaus in Wenden zu einem schwallartigen Wasseraustritt. Das Wasser trat aus einem Entwässerungsschacht und an der Nahtstelle zwischen zwei Asphaltdecken zu Tage.

Das Wasser strömte unter anderem auf das Wohnhaus zu und ist über die Lichtschächte des Hauses in den Keller geflossen. Der Keller wurde von der Feuerwehr freigepumpt. In Eigenleistungen errichtete der Eigentümer eine Barriere aus Sandsäcken und leitete das Wasser nach Osten zu einem Kanaleinlauf.

Der betroffene Entwässerungsschacht liegt im Bereich einer Garagenzufahrt und wurde in den 1980er Jahren auf dem Wilsmicker Stollen aufgesetzt, um die Grubenwässer aus dem Wilsmicker Stollen abzuführen. Grund hierfür soll eine „Verstopfung“ im Stollenmundlochbereich des

Wilmicker Stollens gewesen sein, da das Stollenmundloch als „wilde Abfallkippe“ genutzt worden ist und damit der Abfluss bzw. die hydraulische Durchgängigkeit gestört ist.

Im Zuge der Errichtung wurde im oberen Schachtbereich eine Rohrleitung (Betonrohr, DN 400) angeschlagen, die die aufsteigenden Wässer im Freigefälle in Richtung Südwesten ableitete.

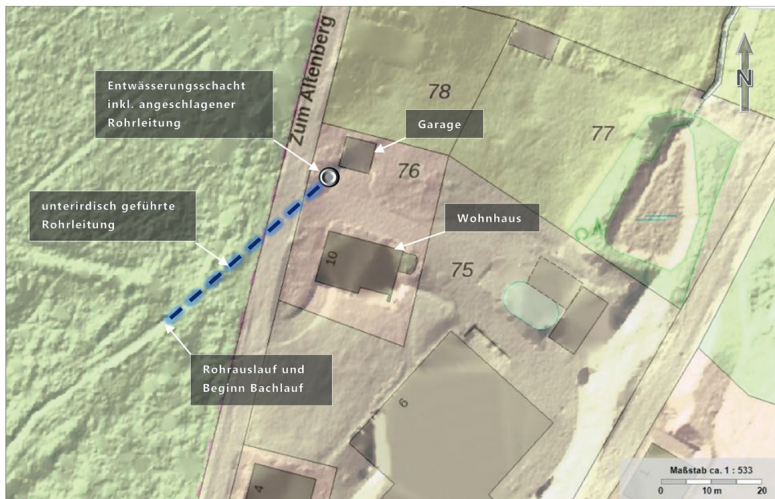


Abb. 1: Standortsituation (DGM)

Nach Eintritt des Schadenfalls wurde im Bereich des Entwässerungsschachtes eine hydraulische Entspannung geschaffen. Dazu wurde der Schachtbereich freigelegt und damit die Entwässerung über die im Schacht angeschlossene Freispegelleitung zu einem nahegelegenen Bachlauf wieder notdürftig hergestellt.

Die folgende Abbildung zeigt den teilfreigelegten Schachtkopf des Entwässerungsschachtes.



Abb. 2: freigelegter Schachtkopf des Entwässerungsschachtes.

2 Erkundungsarbeiten

Laut risswerklicher Dokumentation befindet sich ca. 30 m nordöstlich des Entwässerungsschachtes ein Streckenkreuz, an dem sich der Altenberger und der Wilmicker Stollen kreuzen.

Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus dem Risswerk inkl. des schematisch dargestellten Entwässerungsschachtes.

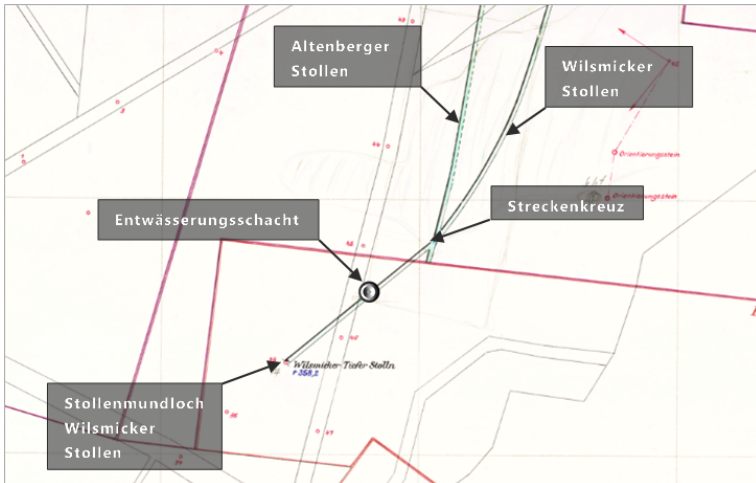


Abb. 3: Ausschnitt aus Risswerk

Auf Höhe des Streckenkreuzes wurde ein Baggerschurf angesetzt und dann in Richtung Osten/Südosten vorangetrieben. Der Baggerschurf wurde auf der gesamten Länge bis zu einer Tiefe von ca. 6 m, entsprechend der Felslinie, durchgeführt (siehe folgende Luftbildaufnahme)



Abb. 4: Drohnenaufnahme FWT während Schurferstellung

Über den Baggerschurf konnten beide Stollen weder durch direktes Anfahren noch über Fehlstellen an der Felslinie erkundet werden.

Im nächsten Schritt wurde die Erkundung mittels einer Bohrkampagne fortgesetzt. Sämtliche Bohrungen wurden als Vollkronendrehbohrungen ausgeführt. Über die Bohrarbeiten konnten die Stollen an insgesamt sieben Bohransatzpunkten erkundet werden.

Zusätzlich wurde ein umfangreiches Wassermonitoring durchgeführt, um die hydraulischen Randbedingungen im Projektgebiet näher zu erkunden. Folgende Arbeiten wurden hierbei durchgeführt:

- Aufnahme der Stollenwasserstände,
- Aufnahme der übertägigen Fließgewässer,
- Ermittlung chemisch-physikalischer Parameter mittels eines portablen Multiparameter-Messgerätes.

Die Bohrarbeiten und die im Anschluss durchgeführten hydraulischen Untersuchungen zeigten, dass der Wilsbacher Stollen tatsächlich von einem zweiten Stollen gekreuzt wird und unter einem erheblichem Überstau steht. Des Weiteren konnten über die chemisch-physikalischen Untersuchungen Informationen über den Fließweg bzw. die Herkunft der Wässer gewonnen werden.

Der Überstau zeigte Druckspiegel, die teilweise bis zur Tagesoberfläche reichten. Zudem wiesen unterschiedliche Druckspiegel im Stollensystem auf eine abschnittsweise hydraulische Trennung hin, die vermutlich durch Stollenverbrüche entstanden sind.

Die folgende Abbildung zeigt einen schematischen Schnitt (Schnittachse: SW – NO) zur erkundeten Situation.

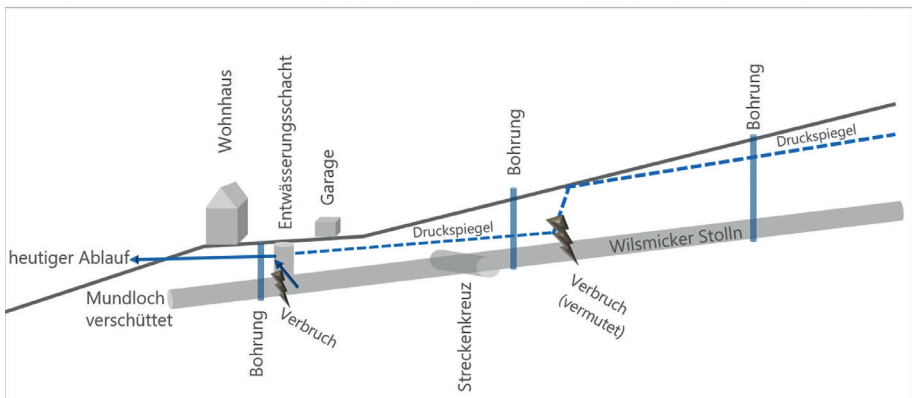


Abb. 5: Schnittdarstellung zur erkundeten Situation

3 Bauausführung

Für die Durchführung der Sanierungsarbeiten ist im ersten Schritt eine temporäre Wasserhaltung notwendig. Die Wasserhaltung erfolgt über Bohrungen, die ca. 125 m nordöstlich des Schadenfalles abgeteuft werden. Nach ihrer Fertigstellung werden die Bohrungen mit Pumpen bestückt, um das Wasser zu heben und in angrenzenden Bach Wilsmicke zu leiten.

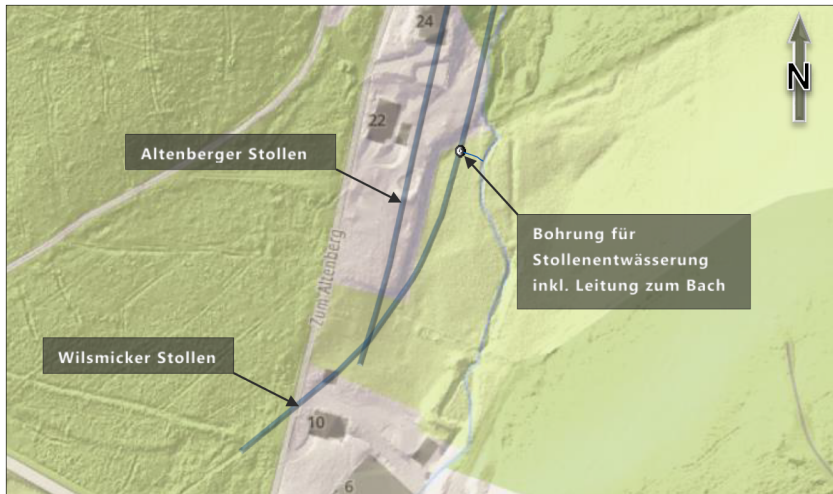


Abb. 6: Übersichtslageplan zur Wasserhaltung

Die Förderhöhe beträgt ca. 11 m. Die Wasserhaltung dient gleichzeitig zur Erkundung der hydraulischen Situation, um die tatsächlichen Schüttungsraten im Stollen ermitteln zu können. In Abhängigkeit von den Untersuchungsergebnissen wird ggf. eine Anpassung hinsichtlich der notwendigen Pumpenleistung notwendig.

Nach erfolgter Sumpfung der Grubenbaue wird der Stollen aufgewältigt bzw. partiell freigelegt. Als Ansatzpunkt für die Aufwältigung des Stollensystems bietet sich das Streckenkreuz (Altenberger und Wilsmicker Stollen) an. Im Bereich des Streckenkreuzes liegt eine verhältnismäßig geringe Überdeckung von ca. 7 m vor. Das Streckenkreuz wird über eine Rampe angefahren, die von Osten in Richtung Westen aufgefahren wird.

Im Bereich des Streckenkreuzes wird nach erfolgter Aufwältigung ein Hebebauwerk (aus Schachtringen DN 1500) bis in ca. 8 m Teufe erstellt.

In diesem Hebebauwerk kann das Wasser kontrolliert aufsteigen, bevor das Wasser über eine hieran angeschlossene Rohrleitung (DN 400) weitergeleitet wird. Der Stollen wird dadurch weiterhin im Überstau entwässert.

Die Rohrleitung soll vom Hebebauwerk bis zum Entwässerungsschacht geführt werden, wo sie an die Bestandsleitung (DN 400) angeschlossen wird. Insgesamt werden ca. 38 m Rohrleitung verlegt.

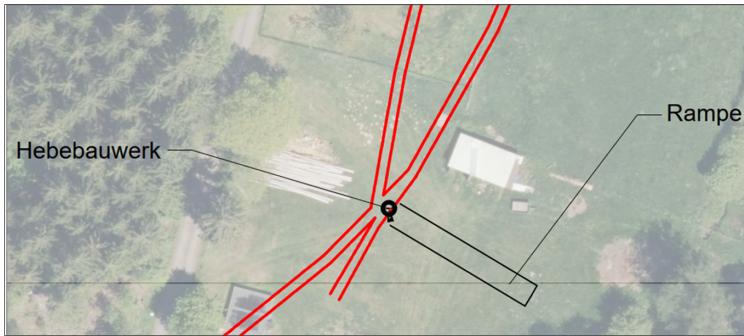


Abb. 7: Ausschnitt Übersichtslegeplan zur Erstellung Rampe u. Hebebauwerk

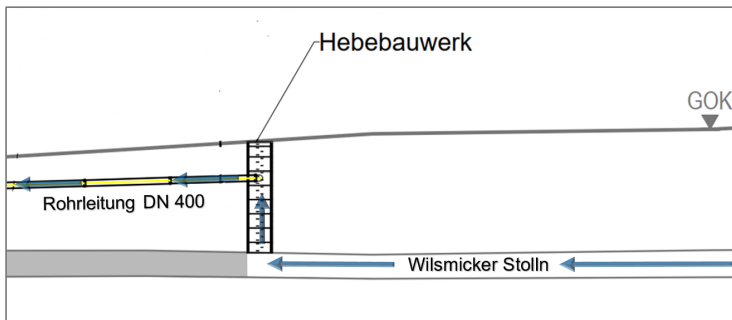


Abb. 8: Schnittdarstellung zur Erstellung des Hebebauwerkes

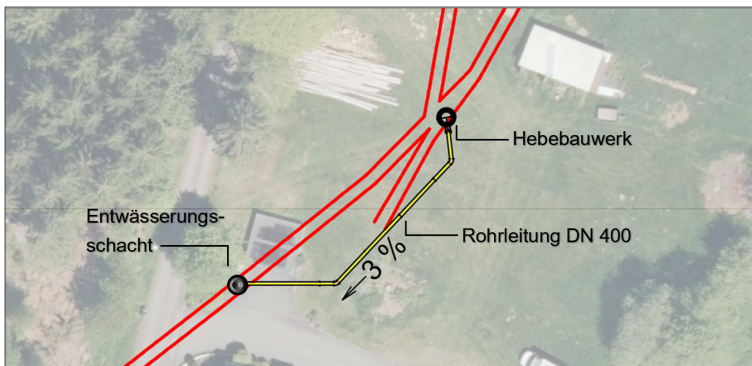


Abb. 9: Ausschnitt Übersichtslegeplan zur Erstellung Rohrleitung

Nach Fertigstellung des Hebebauwerkes wird als zusätzliches Sicherungselement die Bohrung zur bauseitigen Vorentwässerung als Überlaufbauwerk ausgebaut, welches die aufsteigenden Wasser im Falle eines stärkeren Überstauereignisses hebt und kontrolliert über eine Rohrleitung in den östlich angrenzenden Bach Wilsmicke leitet.

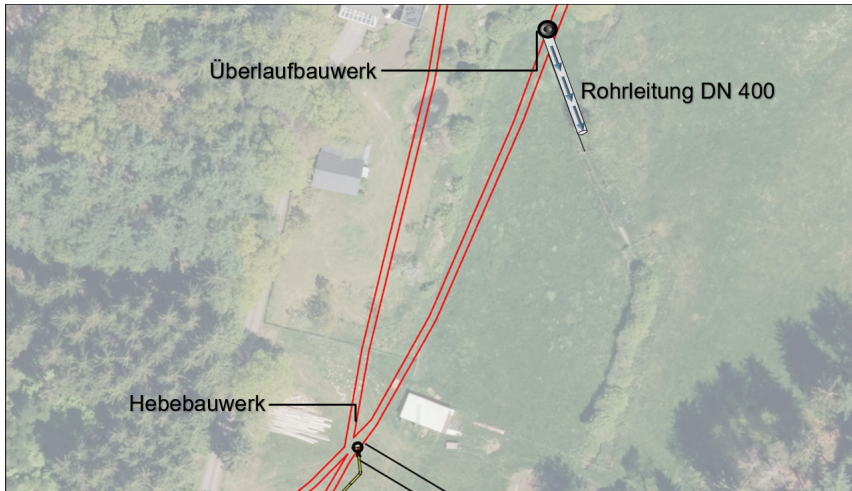


Abb. 10: Ausschnitt Übersichtslegeplan zur Erstellung des Überlaufbauwerkes

Nach erfolgter Sanierung des Entwässerungssystems wird der südlich des Streckenkreuzes befindliche Stollenabschnitt mit einem hydraulisch abbindenden Baustoff verfüllt, wodurch eine hydraulische Barriere geschaffen wird und eine mögliche Tagesbruchgefährdung im Bereich des Wohnhauses und der Garage beseitigt wird.

Die folgende schematische Zeichnung stellt das System nach Abschluss der Baumaßnahme vor.

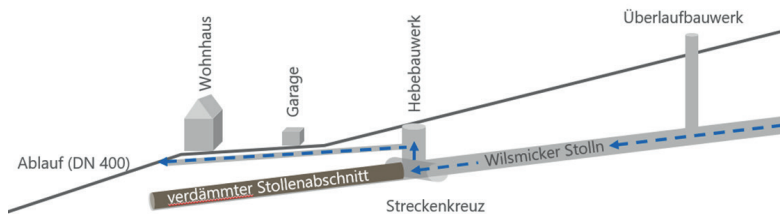


Abb 11: Schnittdarstellung des fertiggestellten Systems

Die Baumaßnahme befindet sich zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses dieser Veröffentlichung in Ausschreibung und soll möglichst noch im Jahr 2023 umgesetzt werden.

LITERATURVERZEICHNIS

Hillinger, Sebastian: Sanierungsvarianten Altenberger & Wilsmicker Stollen, Fichtner Water & Transportation GmbH; nicht veröffentlicht, 2023

Umfahrung eines Teilabschnitts des K. B. Maximilian Erbstollens im ehemaligen Steinkohlenrevier von Stockheim

**Robin Hoffmann¹, Stephan Bachmann²,
Valentin Vossen², Jan Pfänder³**

¹Regierung von Oberfranken – Bergamt Nordbayern

²G.U.B. Ingenieur AG

³FELDDHAUS Bergbau GmbH & Co. KG

ZUSAMMENFASSUNG:

Der Hauptentwässerungstollen des Stockheimer Steinkohlenreviers ist der 1804 begonnene K. B. Maximilian Erbstollen. Der Haupttrakt dieses Stollens ist 580 m lang. Diesem schließen sich bergwärts der westliche Stollenflügel mit einer Länge von 1432 m und der östliche Stollenflügel mit 560 m Länge an. Vom Stollenmundloch, welches heute mit einem schachtähnlichen Abschluss überbaut ist, bis talwärts zum Vorfluter der Haßlach, wird das erschotene Grubenwasser über eine 535 m lange überdeckte Rösche abgeführt.

Der Erbstollen ist zwischen den Stationen 863 m und 990 m nur noch stark eingeschränkt funktionstüchtig sowie auch nicht mehr sanierbar. Dieser Stollenabschnitt ist um mehrere Meter abgesenkt, stellenweise verbrochen und zugesetzt mit eisenockerhaltigem Schlamm.

Um die Wasserlösung des abzuwerfenden Stollentraktes wiederherzustellen, wird eine rund 240 m lange Umfahrung des Stollens neu aufgefahren. Zur Erschließung der Anfangs- und Endstationen der Umfahrung des Stollens mussten der Christopherschacht neu abgeteuft und der St. Katharina Förderschacht aufgewältigt sowie erweitert werden. Beide Schächte erhielten einen kreisrunden Querschnitt mit einem Durchmesser von 4,0 m bis in eine Teufe von jeweils ca. 29,0 m und ca. 34,5 m.

Seit März 2022 und bis voraussichtlich Dezember 2024 erfolgen die bergmännischen Arbeiten zur Herstellung der Umfahrung eines Teilabschnitts des K. B. Maximilian Erbstollens.

ABSTRACT:

The main drainage adit of the Stockheim coalfield is the K. B. Maximilian Erbstollen, which was constructed from 1804. The main section of this adit measures 580 m in length. To its uphill, there are two adit wings – the western wing with a length of 1432 m and the eastern wing with a length of 560 m. Today, the entrance of the adit is covered by a shaft-like closure. The mine water reaches the recipient of the Haßlach via a 535 m long covered channel.

The Erbstollen between section of 863 m and 990 m is no longer functional and cannot be repaired. This section of the adit is sunk several metres, is fractured in places and full of iron ochre sludge.

In order to restore the water solution to the abandoned adit section, an approximately 240 m long bypass will be excavated. The Christopherschacht had to be sunk, the St. Katharina haulage shaft

excavated and widened to provide access to initial and final stations of the bypass. Both shafts were circular in cross-section with a diameter of 4.0m to a depth of approximately 29.0m and 34.5m respectively.

From March 2022 and probably finished until December 2024, mining work will be in progress for the construction of a bypass for a section of the K. B. Maximilian Erbstollen.

1 Bearbeitungsgebiet

Das Bearbeitungsgebiet liegt in der industriell geprägten Gemeinde Stockheim, Landkreis Kronach, Regierungsbezirk Oberfranken westlich der B85 sowie der Bahnstrecke Hochstadt – Ludwigstadt, im sogenannten Oberdorf. Es umfasst den Bauhof der Gemeinde Stockheim in der Bergwerkstraße sowie die sich östlich anschließenden bebauten Grundstücke und die südöstlich gelegenen landwirtschaftlichen Nutzflächen bis nahe dem Friedhof der Gemeinde Stockheim bis zur Bremersgasse. Das Bearbeitungsgebiet wurde seit über 200 Jahren vom Steinkohlenbergbau genutzt und ist der Standort der 1968 stillgelegten Zeche „St. Katharina“. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Gemeinde Stockheim mit dem sich dort befindlichen alten Steinkohlenbergbau.

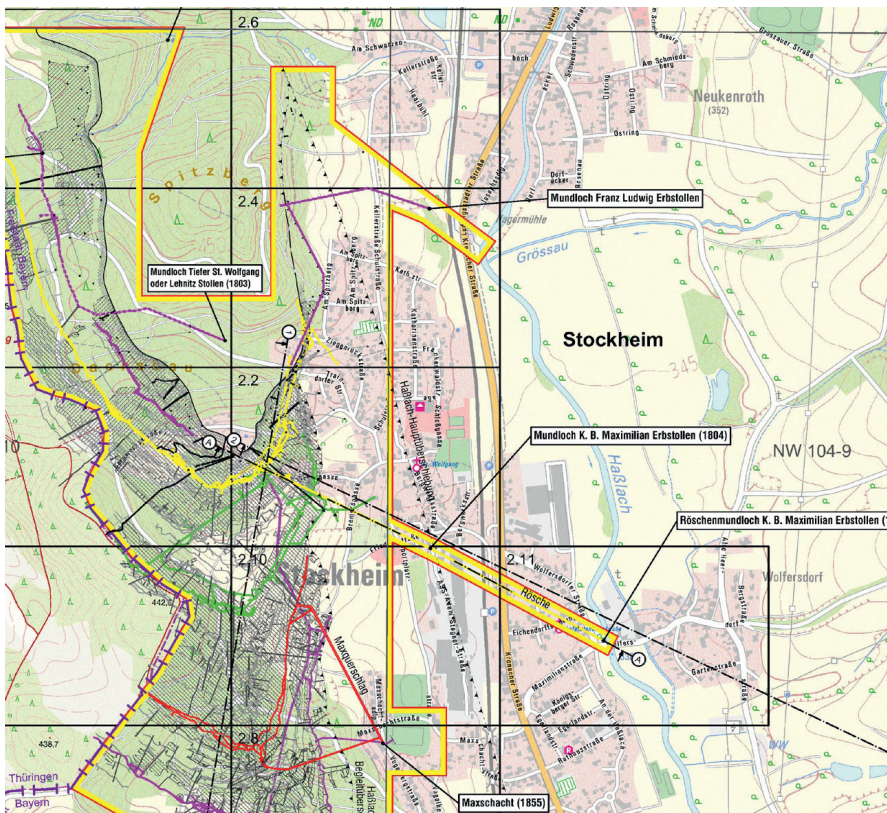


Abb. 1: Gemeinde Stockheim mit Lage des Steinkohlenbergbaus. © Bergamt Nordbayern

Der Steinkohlenbergbau bei Stockheim wurde innerhalb des Rotliegend-Beckens von Neuhaus-Stockheim betrieben. Der Stockheimer Bergbau begann 1756 und wurde nach vorangegangenen Betriebsunterbrechungen im Jahr 1968 endgültig eingestellt. Die Bergaufsicht ist beendet, die Grubenfelder wurden aus dem Bergwerksgrundbuch gelöscht. In Stockheim waren Unwirtschaftlichkeit und Erschöpfung der Lagerstätte die Gründe für die Betriebseinstellung.

2 K. B. Maximilian Erbstollen

Der Königlich Bayerische Maximilian Erbstollen einschließlich Rösche wurde von 1804 bis 1839 aufgefahren und ausgebaut. Ausgebaut wurde der Erbstollen durch zwei Ausbauphasen. Bei der ersten Ausbauphase kam Deutscher Türrstock aus Holz mit Verzug aus Schwarten zum Tragen. Dieser von 1805 bis 1810 verwendete Holzausbau hatte ein lichtetes Profil von 2,0 x 0,7 m (nahezu rechteckig). Zudem wurde 0,4 m über der Stollensohle ein Holzlaufwerk eingebaut. In der zweiten Ausbauphase von 1828 bis 1839 erfolgte der Einbau eines Sandsteingewölbes. Dieses hat ein lichtetes elliptisches Profil von 2,25 x 1,05 m und besaß schlussendlich ebenfalls ein Holzlaufwerk. Der heutige Zustand des Sandsteingewölbes ist in der folgenden Abbildung zu erkennen. Die Längenangaben zu Erbstollen und Rösche sind der vorangestellten Zusammenfassung zu entnehmen.



Abb. 2: Sandsteingewölbe des K. B. Maximilian Erbstollens. © GolHo



DIE INGENIEURE



Katharinenstraße 11 | D-08056 Zwickau

Telefon 0049 375 27175-0 | E-Mail info@gub-ing.de | Web gub-ing.de



FELDHAUS

BERGBAU

3 Christopherschacht

Um die Arbeiten am gegenständlichen Erbstollen ausführen zu können, muss der Stollen an einigen Stellen zugänglich gemacht werden. Hierzu dient der neu angelegte Zugangsschacht. Zudem wird der Schacht als Materialtransportschacht sowie als Flucht- und Wetterweg genutzt. Der neue Zugangsschacht, später zum Christopherschacht umbenannt, wurde von April 2020 bis März 2021 abgeteuft.

Aufgrund der minderen Festigkeit der anstehenden Ton-, Schluff- und Sandsteine konnte auf einen Vortrieb durch Bohren und Sprengen verzichtet werden. Der Vortrieb erfolgte rein maschinell mittels Bagger- und Greiferarbeiten.

Zunächst erfolgte die Sicherung des hergestellten Schachtes mit 4,0 m langen Injektionsfelsankern, die zugleich die erforderlichen zweilagig verlegten Baustahlmatten am Schachtstoß fixierten. Daraufhin schloss sich unmittelbar der Ausbau des Schachtes mit bewehrtem Spritzbeton in 20–30 cm Stärke mit einer Festigkeitsklasse von C 30/37 an.

Der Schacht erhielt einen kreisrunden Querschnitt mit einem Durchmesser von 4,0 m bis in eine Teufe von ca. 29,0 m. Hier traf der Schacht den Erbstollen wie gewünscht in einem Niveau von 345 m NHN an. Die folgende Abbildung zeigt einen Teil der Baustelleneinrichtung und das Schachtmundloch des Christopherschachtes.



Abb. 3: Baustelleneinrichtung und Schachtmundloch. © Bergamt Nordbayern

4 St. Katharina Förderschacht

Eine weitere Stelle, an der der gegenständliche Erbstollen für die Arbeiten zur Wiederherstellung der Grubenwasserableitung zugänglich gemacht werden muss, ist der St. Katharina Förderschacht. Dieser liegt zwar nicht direkt auf dem K. B. Maximilian Erbstollen, doch ist dieser über einen kurzen Querschlag mit diesem verbunden. Um auch hier eine Zugänglichkeit zu schaffen, wurde der ehemalige St. Katharina Förderschacht aufgewältigt und dessen Schachtquerschnitt bis auf einen kreisrunden Durchmesser von 4,0 m bis in eine Teufe von ca. 34,5 m erweitert. Der St. Katharina Förderschacht wurde von April 2021 bis April 2022 aufgewältigt.

Aufgrund der minderen Festigkeit des anstehenden Gebirges konnte auf einen Vortrieb durch Bohren und Sprengen verzichtet werden. Der Vortrieb erfolgte rein maschinell mittels Bagger- und Greiferarbeiten.

Zunächst erfolgte die Sicherung des hergestellten Schachtes mit 4,0 m langen Injektionsfelsankern, die zugleich die erforderlichen Baustahlmatten am Schachtstoß fixierten. Daraufhin schloss sich unmittelbar der Ausbau des Schachtes mit zweilagig bewehrtem Spritzbeton in 20–30 cm Stärke mit einer Festigkeitsklasse von C 30/37 an.

Nachfolgend soll ein Eindruck der ausgeführten Schachtbauarbeiten am St. Katharina Förderschacht wiedergegeben werden.



Abb. 5: Schachtbauarbeiten am St. Katharina Förderschacht. © Bergamt Nordbayern

5 Umfahrung eines Stollenabschnitts

Die Umfahrung soll aus technologischen Gründen im Gegenortbetrieb, von beiden neuen Schächten aus aufgefahren werden. Die Umfahrung verläuft vom St. Katharina Förderschacht zuerst parallel zum alten Stollen, der ca. 6 m nördlich entfernt liegt. Der K. B. Maximilian Erbstollen wurde über einen kurzen Querschlag, der sich in Schachtnähe befindet, an die Umfahrung angeschlossen (2022). Zwischen 35 m und 45 m vom Schacht führt die Umfahrung unter einem Wohnhaus der Schafsgasse entlang. Die saigere Entfernung von Stollen zum Wohnhaus beträgt ca. 30 m. In dem Bauabschnitt soll auch bei standfestem Gebirge die Umfahrung mit stahlbewehrten Spritzbeton ausgebaut werden. Nach ca. 70 m vom Schacht befinden sich auf der nördlichen Seite des K. B. Maximilian Erbstollens zwei Auffahrungen, die als ehemaliges Sprengstofflager dokumentiert sind und offenstehen. Über die Umfahrung und einen noch herzustellenden Erkundungsquerschlag soll das ehemalige Sprengstofflager untersucht und danach verwahrt werden. Von da ab biegt die Trasse in einem flachen Bogen nach Westen ab, um die weitere Wohnbebauung der Schafsgasse zu umgehen und sich danach wieder dem K. B. Maximilian Erbstollen in Richtung des Christopherschachtes anzunähern. Die in dem Abschnitt existierende tektonische Störungszone (Haßlach-Begleitüberschiebung) soll nach Möglichkeit auf kürzestem Weg durchörtert werden.

Um die empfindlichen Gesteine des Rotliegenden zu schonen, wird die Umfahrung nicht im klassischen Bohr- und Sprengvortrieb hergestellt, sondern maschinell, mittels Meißelarbeit. Das gelöste Gestein wird zu den jeweiligen Schächten transportiert, ausgefördert und später entsorgt. Der gesamte Ausbruch einschließlich der Erkundungsquerschläge beträgt ca. 2600 m³. Zum Ausbrechen und Transport des gelösten Gesteins kommen relativ kleine, wendige und umrüstbare Arbeitsmaschinen, wie z. B. Minibagger und Transportlader zum Einsatz. Der Ausbruchquerschnitt der Umfahrung beträgt ca. 10 m², die Erkundungsquerschläge sind kleiner. Die Auffahrung soll aus statischen Gründen eine Hufeisenform erhalten. Zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit wird die Ortsbrust vorgebohrt.

Der Ausbau der Umfahrung richtet sich nach den vor Ort angetroffenen geologischen und geotechnischen Verhältnissen. Die Vortriebs- und Ausbauarbeiten werden ingenieurgeologisch-geotechnisch begleitet. Von den jeweils ermittelten Kennwerten des Gesteins hängen die Festlegungen zur jeweiligen Länge eines Abschlages sowie eventuellen zusätzlichen Maßnahmen zur Gründung oder auch Verstärkung des einzubringenden Ausbaus ab. Zur Erstsicherung gegen Firstfall erfolgt ein Ausbau mit Spritzbeton in einer Stärke von ca. 5 cm. Je nach Gebirgsfestigkeit sind verschiedene Ausbaumöglichkeiten für die Umfahrung vorgesehen, die sich in erster Linie durch die Stärke des einzubauenden Spritzbetons sowie der Anzahl und Stärke der Bewehrungsmatten unterscheiden. Wasserzutritte werden gefasst und in die Umfahrung abgeleitet.

Im Bereich der sogenannten Haßlachüberschiebung, unmittelbar westlich vom Christopherschacht, wird die Umfahrung mit vorgefertigten Segmenten aus feuerverzinktem Stahl (LinerPlates) auf 50 m Länge ausgebaut. Hier lagern Gesteine geringer Druckfestigkeit, außerdem treten tektonische Störungszone auf. Beim Einbau der LinerPlates müssen pro Ausbauschale 7 Stahlbauteile miteinander verschraubt werden. Die einzelnen Stahlbauteile werden auf einer vorgefertigten Betonsohle aufgesetzt und montiert. Dahinter werden die nächsten Stahlsegmente gestellt und miteinander verbunden. Um die Anbindung an das Gebirge herzustellen, wird zum Abschluss der Spalt zwischen Gebirge und dem gestellten Ausbau verfüllt.

Nach der Auffahrung und dem Ausbau der Umfahrung wird die Sohle betoniert, um anschließend zwei Rohrleitungen zwischen den beiden neuen Schächten einbauen zu könne. Die aus dem Schacht aufsteigenden Wässer werden an einem noch einzubauenden Verspünden, dass die Umfahrung vom Schacht trennt, in die Rohrleitungen eingeleitet. Die beiden Rohreinläufe werden bei starkem Zustrom überstaut sein. Über dem Wasserspiegel im Schacht wird eine Umtrittsbühne eingebaut, um aus dem Fahrtentrum, über das Verspünden hinweg, in die Umfahrung um- und absteigen zu können.

Die Zugänglichkeit der beiden neuen Schächte soll für Revisionszwecke erhalten bleiben. Das Kopfbauwerk am St. Katharina Förderschacht erhält eine gasdichte Abdeckplatte samt Durchstiegsmöglichkeit, einschließlich einer Kaue. Der Christopherschacht wird mit einer Betonplatte abgedeckt, überkippt und die alte Geländesituation wiederhergestellt. Der Zugang erfolgt dann seitlich über eine Böschung und einer kurzen Tagesstrecke.



Abb. 6: Umfahrung vom St. Katharina Förderschacht aus. © Bergamt Nordbayern



Abb. 7: Umfahrung vom Christopherschacht aus mit Stahlausbau. © Bergamt Nordbayern

LITERATURVERZEICHNIS

- GolHo I Dipl.-Berging. René Kaiser (2016): Steinkohlengruben bei Stockheim und Reitsch in Oberfranken – Geotechnisch-markscheiderische Bewertung –, Regierung von Oberfranken – Bergamt Nordbayern. 342 Seiten
- G.U.B. Ingenieur AG (2019): Ausführungsplanung zur Herstellung des neuen Zugangsschachtes, Ingenieurleistungen zur Wiederherstellung der Grubenwasserableitung über den Maximilian Erbstollen in Stockheim, Regierung von Oberfranken – Bergamt Nordbayern. 62 Seiten
- G.U.B. Ingenieur AG (2022/23): Ausführungsplanung und Baubeschreibung zur Herstellung der Umfahrung zwinkung K. B. Maximilian Erbstollen bis Damm bei Stat. 990 m, Ingenieurleistungen zur Wiederherstellung der Grubenwasserableitung über den K. B. Maximilian Erbstollen in Stockheim, Regierung von Oberfranken – Bergamt Nordbayern. 70 Seiten
- G.U.B. Ingenieur AG (2021): Ausführungsplanung zur Aufwältigung des St. Katharina Förderschachtes und Erschen dem Christopherschacht und dem St. Katharina Förderschacht in Stockheim, Regierung von Oberfranken – Bergamt Nordbayern. 106 Seiten

Bindemittel für Spezialtiefbau und Geotechnik

Vielfältige Produkte, viele Möglichkeiten

- Verfüllung und Verpressungen
- Dichtwand-, Schlitzwand und Schmalwandbau
- Injektionen
- Geothermie / Hochwärmeleitfähige Verfüllungen

heidelbergmaterials.de



Hydrogeochemisches Monitoring des Grubenwasseranstiegs im Ruhrrevier – ein wichtiger Bestandteil des integralen Monitoring-Konzeptes zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung

**Henning Jasnowski-Peters,
Sebastian Westermann, Christian Melchers**

Forschungszentrum Nachbergbau, Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum

ZUSAMMENFASSUNG:

Hydrogeochemische Spurenstoffe, sogenannte Tracer, sind natürlicher Bestandteil des Grubenwassers. Ihre Konzentrationen sowie ihre isotopengeochemische Zusammensetzung ermöglichen es, Grubenwässer eindeutig zu charakterisieren. Darüber hinaus können wichtige Aussagen über in-situ Prozesse in den Grubenbauen, die Auswirkungen auf den Chemismus des Grubenwassers haben, die Fließwege des Grubenwassers sowie die Interaktionen des Grubenwassers mit dem Umgebungsgestein und anderen Aquifern im Deckgebirge getroffen werden. Ergebnisse der Evaluation hydrogeochemischer Tracer, aktuell bestehend aus Bromid, Chlorid, Lithium, Bor, Sauerstoff-/Wasserstoff-, Kohlenstoff- und Strontiumisotopie wurden auf Ihren Informationsgehalt hin untersucht und bieten eine Grundlage für ein effektives, hydrogeochemisches Monitoring während des Grubenwasseranstiegs. Mit Hilfe der genannten Tracer konnte Grubenwasser im Untergrund von den Formationswässern und Aquifern des Deckgebirges eindeutig abgegrenzt und somit zukünftig detektiert werden. Ergebnisse aus einzelnen Wasserprovinzen im Ruhrrevier ergaben bestehende Infiltrationen von zechsteinbasierten und oberkretazischen Wässern.

ABSTRACT:

Hydrogeochemical trace elements, called tracers, are natural chemical species and constituents of mine waters. Their concentrations and stable isotope fingerprint enables to characterize mine waters in the subsurface explicitly. Moreover, important information on in-situ processes within the mine workings impacting mine water hydrochemistry as well as mine water flow, mine water-rock interactions and infiltration of other aquifers in the overburden section can be identified. Results of the hydrogeochemical evaluation based on bromide, chloride, lithium, boron, oxygen and hydrogen stable isotopes of water, carbon stable isotopes of DIC and strontium isotopes are presented. These results build a foundation of an effective hydrogeochemical monitoring concept accompanying the mine water rebound process. Mine water hydrochemistry was explicitly separated from formation waters and regional aquifers in the overburden. Results from single mine water provinces in the former mining area of the Ruhr District exhibit clear evidence of infiltrations from adjacent Permian (Zechstein) and Upper Cretaceous originated groundwaters.

1 Einleitung

Der Grubenwasseranstieg im oberkarbonischen ehemaligen Bergbaubereich des Ruhrreviers ist ein mehrere Dekaden umspannendes Großprojekt, das einen großindustriellen Ballungsraum mit 5 Millionen Menschen auf einem Raum von ca. 5000 km² betrifft, und von der Ruhrkohle AG geleitet wird. Die Finanzierung dieser sog. Ewigkeitsaufgaben im Rahmen des Grubenwassermanagements, d.h. größtenteils Pumpkosten, Poldermaßnahmen und Wasseraufbereitung/-sanierung wird durch die RAG Stiftung, die 2019 ins Leben gerufen wurde, und ihr Vermögen sichergestellt. Betriebsabschlußpläne und wasserrechtliche Erlaubnisse bilden die rechtlichen Grundlagen für die Grubenwasserhaltung und Anstiegsszenarios (Hensel et al. 2020).

Der ungefähr 150 Jahre industriell betriebene Steinkohlenbergbau an der Ruhr endete mit Schließung der Zeche Prosper Haniel Ende 2018. Daher befindet sich seit 2019 der deutsche Steinkohlenbergbau offiziell in seiner Nachbergbauphase (Melchers et al. 2016). Die Forschung, die mit der wiss. Begleitung der langzeitlichen Grubenwasseranstiege in dt. Steinkohlenrevieren assoziiert ist, kann als Vorzeigemodell in diesem notwendigen Rahmen des Klimawandels für andere Regionen und Arten des Bergbaus in der Welt gelten. Ein wichtiger Punkt ist hier, dass die Strategie für den Grubenwasseranstieg der RAG AG einen strikt kontrollierten Anstieg vorsieht im Vergleich zu unkontrollierten Anstiegen als europäische Beispiele aus dem Vereinigten Königreich oder Frankreich. Ziel ist es, kontrolliert ein nachhaltiges Grubenwasseranstiegsniveau zu erreichen, das sowohl ökologisch als auch ökonomisch vertretbar ist. Einen wissenschaftlichen Rahmen über die vielfältige Betrachtungsweise der Thematik, die im „Forum Bergbau und Wasser“ erarbeitet wurde, gibt (Kessler et al. 2020).

1.1 Geologie & Hydrogeologie

Das ehemalige Steinkohleabbaugebiet an der Ruhr befindet sich in schwach metamorphen, gefalteten paläozoischen Grundgebirge oberkarbonischen Alters, das auch als Rheinisches Massiv bezeichnet wird (Kukuk 1938). Oberkarbonische Siliziklastika mit Einschaltungen von Kohleflözen (Namur bis Westphal A-C) bilden das Umgebungsgestein des ehemaligen Bergbaubereiches. Das gefaltete Oberkarbon fällt mit 1-3° schwach nach Norden ein. Es ist diskordant überdeckt von mesozoischen Sedimenten des Münsterländer Beckens, die größtenteils aus oberkretazischen Karbonaten, Mergeln bis hin zu schwach konsolidierten Sandsteinen bestehen (Hiss und Mutterlose 2010).

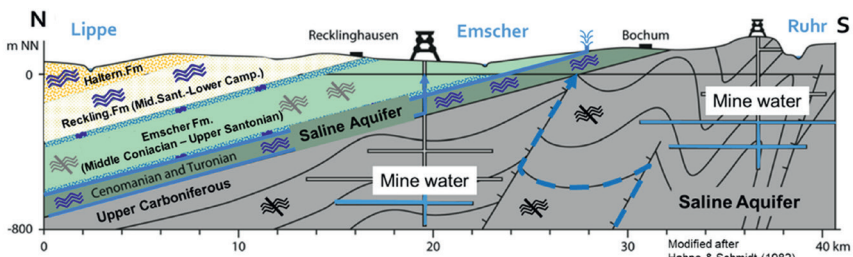


Abb 1: Geologisches Profil des Steinkohlengebietes und Deckgebirges mit hydrogeologischen Charakteristika der einzelnen Schichten (modifiziert nach (Hahne und Schmidt 1982).

Während des Grubenwasseranstiegs spielen insbesondere die Deckgebirgsschichten (1) der „Plänerkalke“ des Cenomaniums-Turoniums mit einem regionalen, gespannten Aquifer, der Salinitäten bis 200 mS/cm aufweist, und (2) die darüberliegende, aus Tonmergeln bestehende Emscher Formation (Mitteloniaceum – Obersantonium) als Aquitard mit einem Formationswasser, das Sulfat- und Eisen dominiert ist, eine Rolle. Beide Formationen werden sich während eines Grubenwasseranstiegs über das Niveau des Oberkarbons potentiell mit Grubenwasser vermischen können bzw. kann das Formationswasser der Emscher Formation aufgrund ähnlicher Hydrochemie fälschlicherweise für Grubenwasser gehalten und im Zuge des Grubenwasseranstiegs mobilisiert werden. Oberhalb der Emscher Formation lagern die oberantonischen Haltern Formation als wichtiger Trinkwasserspeicher für das gesamte Ruhrgebiet sowie die unscharf im Liegenden abzugrenzenden Recklinghäuser Sandmergel, die im nordwestlichen Ruhrgebiet die Emscher Formation direkt überlagern. Die Haltern Formation beinhaltet generell ein Ca-HCO_3 -Typ Formationswasser mit Leitfähigkeiten von max. 2500 $\mu\text{S/cm}$. Vereinzelt wurden im südlichen Bereich höhere Sulfatgehalte gemessen.

1.2 Grubenwasserchemie

Gombert et al. (2017, 2019) hat die gemittelten, Minima und Maxima an Konzentration von gelösten Inhaltsstoffen im Grubenwasser, also Grundwässer, die in Kontakt mit den untertägigen Grubenbauen gekommen sind, aus den europäischen Steinkohlerevieren zusammengefasst und Sulfat und Eisen als Hauptbestandteile sowie As, Cr und Zn als wichtige Nebenbestandteile identifiziert. Sulfat und Eisen entstammen dabei der (Di-)Sulfidoxidation, einem in-situ Prozeß, der thermochemisch und mikrobiell gesteuert ist (Stumm und Morgan 1996). Chloride (Cl^-) wurde nur in hohen Konzentrationen in Grubenwässern aus Deutschland, Polen und dem Vereinigten Königreich gefunden. Oft besitzen diese Grubenwässer auch eine hohe Leitfähigkeit von über 100 mS/cm oder sind sogar hochsalinare Lösungen reich an Chloriden aufgrund langer Wasser-Gesteins Wechselwirkungen mit dem Umgebungsgestein oder angrenzender Evaporitsequenzen. Gombert et al. (2017, 2019) berichteten von einer Grundgesamtheit von 2500 Wasseranalysen aus Einleitungen innerhalb europäischer Steinkohlereviere, die höher als $\text{pH}=6,0$ mit einem Mittelwert von $\text{pH}=6,5$ lagen. Ph-Werte sind wichtig im Zusammenhang mit dem Potential der Mobilisierung von Übergangsmetallen. Eine potentielle Gefahr der Kontamination mit toxischen Übergangsmetallen besteht dabei bei sauren pH-Werten $<5,6$, weil die Löslichkeit der Kationen dieser Übergangsmetalle (z.B. Pb, Zn, Al und Cd) steigt (Cravotta 2008).

Solen, das sind Natriumchlorid-reiche, basale Wässer können unterschiedlicher Herkunft sein (Hannor 1994). Zwei Hauptprozesse, die zu Solen führen, sind (a) Evaporation von eingeschlossenem oder infiltrierendem Meerwasser und (b) Auflösung von Salzmineralen im Untergrund, in erster Linie Halit (NaCl). Die anfängliche Meerwasserzusammensetzung, im engeren Sinne konnates Wasser, kann nach dem Einschluss durch Diagenese, Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen, mikrobiellen Interaktionen und durch Mischungen mit anderen Grundwässern nachträglich verändert werden. Jasnowski-Peters und Melchers (2021, 2023) konnten, basierend auf der Hydrochemie, die Herkunft der Solen aus dem Cenomanium-Turonium einer Halitablaugung durch meteorisch geprägte Wässer bestätigen sowie eine intensive Wasser-Gesteins Wechselwirkung der oberkarbonischen Formationswässer, *sensu lato* Grubenwasser, die eine ehemalige Meerwasserzusammensetzung erreicht.

In Bezug zu den höheren Chlorid-Werten im Grubenwasser, konnten Zechstein-basierte Solen und deren Infiltration lokal und regional innerhalb der Wasserprovinz Prosper-Haniel eindeutig hydrogeochemisch identifiziert werden. Oberkretazische Solen, die bereits oberkarbonische Grubenwässer infiltriert haben, wurden in der Wasserprovinz „Ost“ lokal identifiziert.

Die jetzige Situation der Grubenwasserstände in dem ehemaligen Abbaubereich innerhalb des Ruhrreviers ist als sehr heterogen zu bezeichnen. Östliche Wasserprovinzen der ehemaligen Bergwerke Königsborn und Westfalen, die geologisch und hydraulisch von großen Störungssystemen isoliert sind und nicht Teil der zentralen Wasserhaltung sind, besitzen mittlerweile Grubenwasserstände in der Oberflächennähe mit größtenteils equilibrierten Wasserständen in der Umgebung. Im Gegensatz dazu besitzen Bergwerke aus den zentralen oder nördlichen Wasserprovinzen der zuletzt geschlossenen Bergwerke im Ruhrgebiet Grubenwasserstände im Niveau um -850 bis 1000 m NHN. In Abhängigkeit von rechtlichen Gegebenheiten, werden diese Grubenwasserstände mit großen Tauchmotorpumpen an den Wasserhaltungsstandorten gehalten.

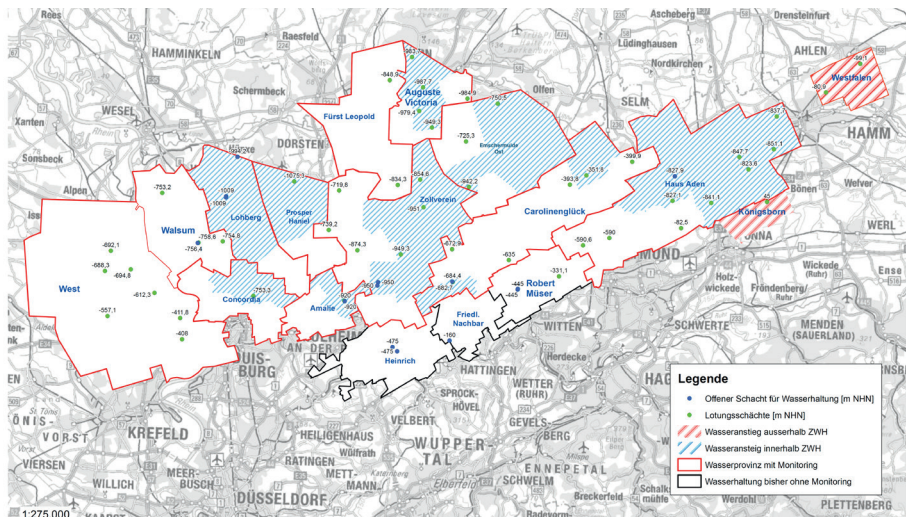


Abb. 2: Grubenwasserstände der einzelnen Wasserprovinzen im Ruhrrevier (Stand 13.3.2023), Bezirksregierung Arnsberg

Es ist geplant, Grubenwasserströme der zentralen Wasserprovinzen, die die ehemaligen Wasserhebungsstandorte Concordia, Amalie und Zollverein sowie Carolinenglück betreffen, über eine Verbindungsstrecke zum Standort Lohberg umzuleiten, um sie dort zu heben und in den Rhein einzuleiten. Von ehemals 13 Hebungsstandorten wurde in den letzten Jahren die Zahl sukzessive auf sechs Einleitungsstellen reduziert. Der westliche sowie zentrale Wasserprovinzbereich wird in den Rhein, der südliche über drei Hebungsstandorte in die Ruhr und der östliche in die Lippe bei Haus Aden derzeit bzw. zukünftig eingeleitet. Ein integrales Monitoringkonzept, an dem die Bezirksregierung Arnsberg, Kommunen, Wasserverbände und Behörden beteiligt sind, begleitet die kontrollierte Hebung des Grubenwassers.

2 Natürliche Tracerstudie im Grubenwasser

Es gibt bei der Vorgehensweise der Auswahl hydrogeochemischer Tracer keinen singulären Ansatz, sondern vielmehr wurde eine Kombination von hydrochemischen Parametern, die aufgrund ihres unterschiedlichen geochemischen Verhaltens indikativ für Prozesse oder ihren lithologischen Ursprung sind, angestrebt. In erster Linie waren damit die natürlichen Spurenelemente (Tracer) inkl. weiterer stabiler Isotopenzusammensetzung von Haupt- und Nebenelementen innerhalb der hydrochemischen Zusammensetzung von zentraler Bedeutung. Von natürlichen Tracern spricht man immer dann, wenn es sich um die bereits in den jeweiligen Fluiden vorhandenen und durch Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen miteinander im Austausch stehenden natürlichen Elementen/Verbindungen handelt.

Wichtige Parameter bei der Betrachtung sind hier die Sensitivität des Parameters basierend auf den Baseline-Daten und der Messmethode und die signifikanten Unterscheidungskriterien anhand des hydrochemischen Inventars der Grubenwässer zu den tiefen und flachen Grundwasserleitern. Die Datenerhebung basiert auf eigenen Daten im Zeitraum 2017-2023 und Literaturdaten aus (Puchelt 1964; Michel et al. 1974; Wedewardt 1995).

Folgende Elementverteilungen oder Elementkonzentrationen haben nach derzeitigem Stand die Voraussetzung, als belastbare hydrochemische Tracer im Rahmen des Grubenwasseranstiegs zu fungieren:

- Bromidkonzentrationen und Chlorid/Bromid (Cl-/Br-) -Verteilung [mg/L]
- Lithium-Kationenkonzentration [mg/L]
- Strontiumisotope $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Durch ihr unabhängiges und unterschiedliches geochemisches Verhalten können diese Tracer für eine detaillierte Betrachtung auch miteinander verschnitten werden und somit ein erweitertes Prozeßverständnis generieren.

Weitere hydrochemische Daten, die nützlich für einen bestimmten Prozeß oder die Herkunft der Wasserkörper erlauben, sind:

- Wasserstoff- und Sauerstoffisotope $\delta^2\text{H}$ und $\delta^{18}\text{O}$
- Molares Natrium vs. Chlorid-Verhältnis: Na/Cl [mol/mol]
- Bor-Gehalte [mg/L]

Mit den identifizierten natürlichen, geochemischen Tracern liegt ein „Baukasten“ an Parametern vor, der es erlaubt, die regionalen Grundwasserleiter und die Grubenwässer bei einem Grubenwasseranstieg gut zu unterscheiden – auch in starken Verdünnungen und kleinen Beimischungen. Die Bandbreite der Tracer gepaart mit ihren unterschiedlichen geochemischen Eigenschaften liefern Hinweise auf vielfältige Prozesse bestehend aus Lösungsverhalten und Herkunft der Tracer.

3 Resultate

Aus den bisherigen Evaluationen der natürlichen Tracer sticht der Parameter Bromid mit seiner an die Salinität und deren Herkunft geknüpften Variationen heraus. So bedingt eine Steinsalz-Ablaugung als Herkunft für eine hohe Salinität eine sehr stark erniedrigte Bromid-Konzentration. Zum einen wird Bromid als konservatives und inkompatibles Element nicht in das NaCl-Kristallgitter eingebaut und wird daher bei Ablaugung nochmals erniedrigt. Eine Ablaugung ist meist durch meteorische Wässer bedingt und so zeigen Halit-Ablaugungswässer zugleich meist eine stark an die globale oder lokale meteorische Wasserlinie aufliegende Wasserisotopie bestehend aus $\delta^2\text{H}$ und $\delta^{18}\text{O}$. Beide Parameter treffen hier auf den Cenomanium-Turonium Aquifer zu. Niedrige Bromid-verhältnisse im Vergleich zu Chlorid bedingen im reziproken Cl-/Br-Verhältnis sehr hohe Werte, ob auf Konzentrationen oder Stoffmengen bezogen. Grubenwässer hingegen zeigen eine intensive Wasser-Gesteins-Wechselwirkung und ähneln daher sehr stark einer ehemaligen Meerwassersignatur des Oberkarbons. Die im Porenwasser ausgefällten Minerale werden durch meteorische Wässer gelöst und bei einer hinreichend langen Residenzzeit des Fluids steht dieses mit dem Umgebungsgestein im Gleichgewicht. Es sind daher für diese Wässer, je nach Perkolationszeit und Fortschritt des Gleichgewichts, unterschiedlich hohe Residenzzeiten zu ermitteln. Man geht von mehreren 100.000 Jahren bis Millionen Jahren für die Gleichgewichtswässer aus. Allerdings gibt es bislang keine gesicherten Altersdaten. Hier ist nochmals erwähnt, dass daher eine Meerwassersignatur dieser Wässer wie sie die molaren NaCl-Verhältnisse sowie die hohen Sauerstoffisotope zeigen, keineswegs bedeutet, dass diese Wässer strikt konnate Wässer und somit bis zu 315 Mio. Jahre alt seien. Aufgrund der guten Chlorid/Bromid Tracer-Daten wurde versucht, diese weiter auf einzelne Bergwerksbereiche/Wasserprovinzen herunterzubrechen. Am Beispiel Prosper Haniel zeigen diese im Log-Log Plot eine gute fast lineare Korrelation, die bei hohen Salinitäten nivelliert wird. Es wird spekuliert, dass dies mit Beimengungen von Zechstein-basierten Wässern zu tun hat oder eine natürliche Maximalkonzentration an Bromid darstellt.

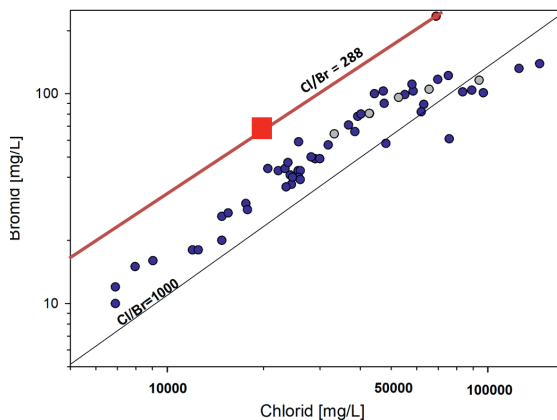


Abb. 3: Chlorid/Bromid-Verhältnisse von Grubenwasseranalysen des Bergwerks Prosper Haniel; blaue Punkte = Literaturdaten; graue Punkte = eigene Daten

In der Wasserprovinz „Ost“ wurde die Hypothese getestet, ob sich Grubenwässer und oberkreidezeitliche Deckgebirgswässer angrenzend unterscheiden lassen. Dichteschichtungen in den Schachtprofilen gelten als bisher nicht langzeitlich stabil, es kommt meist zu konvektiver Vermischung innerhalb einzelner stabiler Konvektionszellen. Teufenorientierte Proben zeigen im Übergang von oberkreidezeitlicher Emscher Formation und Grubenwässern bzw. auch Cenomanium-/Turonium-Wässern hydrogeochemisch Grenzbereiche, die sich unterscheiden lassen.

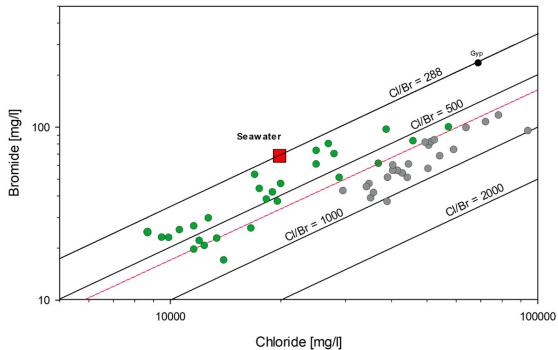


Abb. 4: Chlorid/Bromid-Verhältnisse von Grubenwasseranalysen innerhalb der Wasserprovinz „Ost“ mit den jeweiligen Signaturen; grüne Punkte = Oberkreide-Wässer; graue Punkte = Grubenwasser

Lithium besitzt im Vergleich zu Bromid ein ähnlich konservatives Verhalten, was die Bildung von Feststoffen und insbesondere dessen Inkompatibilität bei Evaporationsvorgängen angeht. Es bleibt wie Bromid bevorzugt in der Lösung und besitzt somit ein wichtiges Kriterium für einen natürlichen Tracer. Lithium gehört zu den lithophilen Elementen, hat eine Dichte von $0,53 \text{ g/cm}^3$, einen Ionenradius von $0,79$ und eine Ladung von $+1$. Im Vergleich dazu besitzt Natrium die gleiche Ladung, aber einen Ionenradius von $0,99$. Lithium substituiert daher sehr gering Natrium in Kristallen – eine Parallele zum Anion Bromid vs. Chlorid. Im Meerwasser besitzt Lithium eine Konzentration von $0,17\text{-}0,19 \text{ mg/L}$. Generell kommt Li in einem Konzentrationsbereich in Fließgewässern von $0,1\text{-}400 \text{ ppb}$ vor, Formationswässer zeigen eine große Bandbreite von $0,04\text{-}100 \text{ ppm}$, je nach Salzgehalt, mit einem Mittel von 10 ppm .

Für Lithium-Konzentrationen, deren Konzentrationen im Grubenwasser im Hinblick auf eine Nachnutzung für Batterietechnik evaluiert wird, wurden sehr gute Korrelationskoeffizienten erreicht, was ein Maß für die „Einzigartigkeit“ der Zusammensetzung ist. Generell finden sich R^2 -Werte größer oder vergleichbar $R^2=0,90$. Für die Wasserhaltungen als Mischsignal wurden Li vs. Na Konzentrationen von $R^2=0,996$ erreicht. Heilbäder und tiefe GWMS, meist aus dem Deckgebirge gespeist, erreichten Korrelationskoeffizienten von $R^2=0,899$ bzw. $0,935$.

Strontium-Isotope weisen für die oberkretazischen Formationswässer zudem die typischen Meerwasserkonzentrationen von $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,708\text{-}0,709$ auf, die teilweise für eine chemostratigraphische Einteilung hinreichend genügen, die für die oberkarbonischen Wässer hier anhand der Wasserhaltungs-Mischproben deutlich über $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,709$ liegen. Im Vergleich zu oberkreidezeitlichen Wässern inkl. der Haltern Formation besitzen die Grubenwässer hier eine enge Abgrenzung mit signifikant höheren Werten oberhalb der phanerozoischen Meerwasserkurven-Verteilung. Diese

deuten auf hydrothermale Beimengungen hin. Mischwässer von zechsteinbasierten Wässern führen zu einer Erniedrigung $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} < 0,710$ Werten. Ein Schachtprofil von teufenorientierten Proben aus Waltrop und Königsborn zeigt einen graduellen Übergang von kreidezeitlichen Meerwasser-Signaturen hinzu stärker Grubenwasser dominierten Signaturen mit der Tiefe.

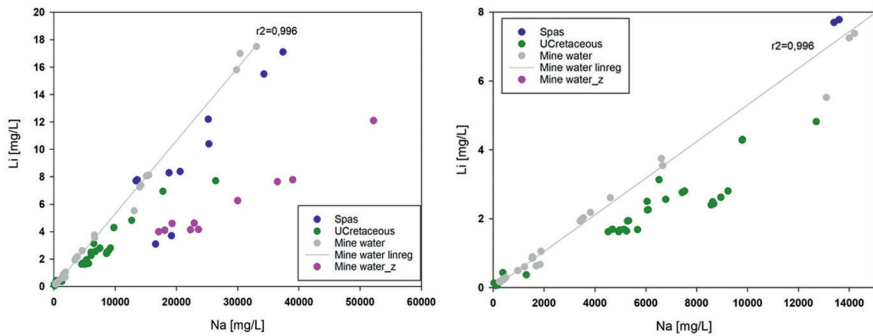


Abb. 5: Lithium- vs. Natriumkonzentrationen von Wasseranalysen bestehend aus Grubenwässern, Oberkreidewässern und Heilbäderanalysen (Spas); li: Gesamtdaten; re: detaillierte Darstellung niedrigerer Li- und Natriumkonzentrationen; Korrelationskoeffizienten R2 der Grubenwässer im Diagramm dargestellt

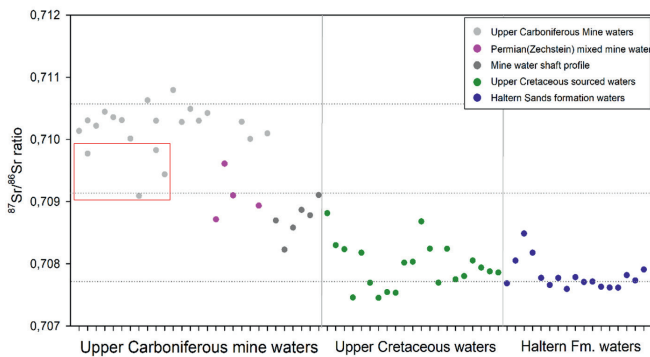


Abb. 6: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopenanalysen von Grubenwässern sowie Oberkreidewässern und explizit Formationswässer der Haltern Formation; rotes Rechteck: Grubenwässer mit potentiellen Beimengungen von Deckgebirgswässern

4 Fazit

Das hydrogeochemische Monitoring ist ein wesentlicher Beitrag zum integralen Monitoring, da durch die Festlegung der natürlichen Tracer die Voraussetzung gegeben wird, Grubenwässer eindeutig zu identifizieren – seien es reine Grubenwässer oder Vermischungen mit anderen Grundwässern. Abschließend lässt sich sagen, dass viele in-situ bzw. teufenorientierte hydrogeochemischen Signaturen im Grubenwasser und somit dessen Verständnis nur mittels einer präziseren

Probenahme identifiziert werden können. Tracer-Daten aus teufenorientierten Probenahmen und Altdaten aus dem aktiven Bergbau besitzen innerhalb der Evaluation eine erhöhte Präzision und können daher bessere Daten für eine eindeutige Tracer-Signatur liefern. Dieser Umstand führt dazu, dass versucht wird in Zukunft die Hypothese einer nach hydrogeochemischen Kriterien zuverlässigen und eindeutigen Grubenwasser-Signatur bzw. eines eindeutigen Nachweises einer Infiltration in andere Aquifere mit besseren Probenahme-Voraussetzungen, d.h. in-situ und teufenorientiert, zu untermauern.

LITERATURVERZEICHNIS

- Cravotta, Charles A. (2008): Dissolved metals and associated constituents in abandoned coal-mine discharges, Pennsylvania, USA. Part 2: Geochemical controls on constituent concentrations. In: *Applied Geochemistry* 23 (2), S. 203–226. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2007.10.003.
- Gombert, Philippe; Sracek, Ondra; Koukoulas, Nikolaos; Gzyl, Grzegorz; Valladares, Susana Tuñon; Frączek, Robert et al. (2017): An Overview of Priority Pollutants in Selected Coal Mine Discharges in Europe. In: *Mine Water Environ* 38 (1), S. 16–23. DOI: 10.1007/s10230-018-0547-8.
- Gombert, Philippe; Sracek, Ondra; Koukoulas, Nikolaos; Gzyl, Grzegorz; Valladares, Susana Tuñon; Frączek, Robert et al. (2019): Correction to: An Overview of Priority Pollutants in Selected Coal Mine Discharges in Europe. In: *Mine Water Environ* 38 (2), S. 463–464. DOI: 10.1007/s10230-019-00607-3.
- Hahne, Karl; Schmidt, Rolf (1982): Die Geologie des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebietes. Einführung in d. Steinkohlengebirge u. seine Montangeologie. Von Carl Hahne u. Rolf Schmidt. Mit einem Beitrag über das Deckgebirge von Wolfgang Müller. Essen: Verl. Glückauf.
- Hanor, Jeffrey S. (1994): Origin of saline fluids in sedimentary basins. In: *Geological Society, London, Special Publications* 78 (1), S. 151–174. DOI: 10.1144/GSL.SP.1994.078.01.13.
- Hensel, Philipp; Kugel, Jürgen; Terwelp, Tassilo; Tuschmann, Jörg (2020): Grubenwasserhaltung des Steinkohlenbergbaus für die Ewigkeit – Zwischenbilanz der Erkenntnisse zu den Betriebspläne und den wasserrechtlichen Erlaubnissen. In: *Mining Report* 156 (2), S. 97–105.
- Hiss, Martin; Mutterlose, Jörg (2010): Field trip E6: Cretaceous geosites of the eastern Ruhr Area and the southern Münsterland. In: *sdgg* 66, S. 168–183. DOI: 10.1127/sdgg/66/2010/168.
- Jasnowski-Peters, Henning; Melchers, Christian (2021): Natural Tracers For Mine Water Fingerprinting – A First Step To A Hydrogeochemical Monitoring Plan For Risk Assessment During Mine Water Rebound In The Ruhr District Area, Germany. In: P. Stanley, Ch. Wolkersdorfer und K. Wolkersdorfer (Hg.): *Mine Water Management for Future Generations*. IMWA 2021. Cardiff, Wales, United Kingdom, S. 212–217.
- Jasnowski-Peters, Henning; Melchers, Christian (2023): Natural Tracers For Mine Water Fingerprinting II – a multi tracer approach to unravel underground fluid movements during Mine Water Rebound in the Ruhr District Area. In: James Pope, Christian Wolkersdorfer und Rachel Rait (Hg.): *IMWA 2022 – Reconnect*. Proceedings of the International Mine Water Association Conference ; November 6-10, 2022, Christchurch, New Zealand. Erscheinungsort nicht ermittelbar: IMWA – International Mine Water Association, S. 167–173.
- Kessler, Timo; Mugova, Elke; Jasnowski-Peters, Henning; Rinder, Thomas; Stemke, Marion; Wolkersdorfer, Christian et al. (2020): Grundwasser in ehemaligen deutschen Steinkohlenrevieren – ein wissenschaftlicher Blickwinkel auf Grubenflutungen. In: *Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie* 25 (4), S. 259–272. DOI: 10.1007/s00767-020-00460-0.
- Kukuk, Paul (1938): Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes. Textband. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Melchers, Chr.; Goerke-Mallet, P.; Kleineberg, K. (2016): Elemente und Aspekte des Nachbergbaus. In: *Mining Report* 152 (3), S. 215–223.

- Michel, Gert; Rabitz, Albrecht; Werner, Hans (1974): *Betrachtungen über die Tiefenwässer im Ruhrgebiet*. In: *Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen*, 20 (1974), S. 215–236.
- Puchelt, Harald (1964): Zur Geochemie des Grubenwassers im Ruhrgebiet. In: *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 116, S. 167–203. Online verfügbar unter
- Stumm, W.; Morgan, J. J. (1996): *Aquatic Chemistry—Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. 3. Aufl. New York: Wiley.
- Wedewardt, Marec (1995): *Hydrochemie und Genese der Tiefenwässer im Ruhr-Revier*. Bochum: DMT (DMT-Berichte aus Forschung und Entwicklung, 39).

RAG Aktiengesellschaft – Als Nachbergbauunternehmen auf dem Weg zur CO₂-Neutralität

Claudia Karus, Joachim Löchte

RAG Aktiengesellschaft, Essen

ZUSAMMENFASSUNG:

Nach der Beendigung der aktiven Bergbauphase sind in der Nachbergbauzeit ganz neue Herausforderungen zu lösen. Dazu zählen auch Klimawandel und Energiewende. Wir wollen mehr sein als nur Endverbraucher der Energie. Dazu haben wir uns das Ziel gesetzt bis 2030 den Strombedarf der RAG CO₂-neutral durch Ausbau von Wind und Photovoltaik zu decken. Der gewaltige Transformationsprozess, den wir vor uns haben, birgt für uns auch große Chancen. Zur Erreichung unseres Ziels wollen wir die Erzeugung erneuerbarer Energien auf ehemaligen Bergbauflächen vorantreiben und so die Energiewende vor Ort mitgestalten. Diese Herausforderungen und der Wandel machen das Unternehmen spannend – für die Öffentlichkeit und vor allem auch für uns selbst. Das ist nicht nur ein Beitrag für das Klima, sondern auch für unsere eigene Wirtschaftlichkeit.

ABSTRACT:

After the end of the active mining phase, completely new challenges have to be solved in the post-mining period. This also includes climate change and the energy transition. We want to be more than just an end user of energy. To this end, we have set ourselves the goal of covering RAG's electricity needs in a CO₂-neutral manner by expanding wind and photovoltaics by 2030. The enormous transformation process that we have ahead of us also holds great opportunities for us. In order to achieve our goal, we want to promote the generation of renewable energies on former mining sites and thus help shape the local energy transition. These challenges and the transformation make the company exciting – for the public and, above all, for ourselves. This is not only a contribution to the climate, but also to our own economic efficiency.

1 Unternehmensstrategie „Nachbergbau. Nachhaltig für Generationen“

Mit der Beendigung des deutschen Steinkohlebergbaus zum Jahresende 2018 ist die RAG Aktiengesellschaft in eine neue Phase ihrer Transformation eingetreten. Die vorherigen Jahrzehnte waren geprägt von den inneren Veränderungen des Unternehmens mit massiven Anstrengungen für den sozialverträglichen Personalabbau und die Schließung der verbliebenen Betriebsstandorte.

In Politik, Wirtschaft und Öffentlichkeit wird intensiv und auch kontrovers über eine Ausrichtung auf nachhaltigere Konzepte in der Wirtschaft und im gesellschaftlichen Miteinander debattiert. In der Stillsetzungsphase, nach 2018, setzt sich auch die RAG zunehmend mit den Erwartungen der Öffentlichkeit und den enorm gestiegenen, regulatorischen Anforderungen an eine verantwortungsvolle Unternehmensführung auseinander. Zur Erfüllung der Aufgaben im Nachbergbau (Altlasten und Ewigkeitsaufgaben) ist die Akzeptanz der Gesellschaft, also die license-to-operate, zwingend

erforderlich. Für ihre Zukunftsausrichtung hat die RAG sich die Themen schlank, digital und nachhaltig auf die Agenda geschrieben.

Die RAG hat sich 2023 eine neue Unternehmensstrategie mit der Vision „Nachbergbau. Nachhaltig für Generationen“ gegeben. Nachhaltigkeit bedeutet, die Auswirkungen der Unternehmensaktivitäten auf Ökologie, Ökonomie und Soziales integriert zu betrachten und abzuwägen. So wird ein verantwortungsvolles Handeln erreicht, dass sich bestenfalls positiv auf alle Anspruchsgruppen auswirkt.

Bereits in der aktiven Bergbauzeit hat die RAG sich mit dem Thema Nachhaltigkeit beschäftigt und dazu Bericht erstattet. Doch mit dem rasanten Wandel des Zeitgeistes und dem Eintritt in die Nachbergbauphase ist klar geworden, dass die RAG ihre Positionierung im Thema Nachhaltigkeit neu betrachten muss.

In einer umfassenden Wesentlichkeitsanalyse hat die RAG ihre ausschlaggebenden Nachhaltigkeitsthemen identifiziert. Dabei wurde nach dem Prinzip der doppelten Wesentlichkeit vorgegangen, also sowohl die Auswirkungen der Unternehmenstätigkeiten auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft als auch die unternehmerischen Konsequenzen, Chancen und Risiken in diesen Feldern betrachtet. Die wesentlichen Nachhaltigkeitsthemen der RAG sind:

- Wir gehen sorgsam mit dem Wasser um
- Wir handeln natur- und umweltverträglich
- Wir schützen das Klima
- Wir übernehmen Verantwortung im Altbergbau
- Wir gehen sorgsam mit den finanziellen Mitteln um
- Wir punkten als guter Arbeitgeber

1.1 Energie und Klimaschutzstrategie

Das hoch aktuelle Thema Klimaschutz hat die RAG als besonderen Schwerpunkt in die neue Strategie aufgenommen und sich das ambitionierte Ziel gesetzt bis 2030 CO₂-Neutralität bei Strombezug zu erreichen. Dabei will das Unternehmen nicht als passiver Endverbraucher auftreten und bereits verfügbaren Ökostrom vom Markt abziehen. Stattdessen will die RAG einen aktiven Beitrag zur Energiewende in den Regionen leisten, indem das Unternehmen eine Eigenstromerzeugung mit erneuerbaren Energien (EE; Wind und Photovoltaik) auf eigenen Flächen in den ehemaligen Bergbauregionen aufbaut.

Mithilfe des zukünftigen EE-Portfolios wird nicht nur die Erreichung des Klimaschutzziels sichergestellt. Darüber hinaus erwartet die RAG eine gesteigerte Resilienz gegen sich verändernde Energiepreise bzw. Marktpreisrisiken. Ergänzend arbeitet das Unternehmen an der Nutzung von Flexibilisierungsoptionen z.B. durch variables Pumpenmanagement abhängig vom Stromerzeugungsprofil.

Über den Schwerpunkt der CO₂-neutralen Eigenstromversorgung hinaus, setzt sich die RAG auch mit den Nutzungspotenzialen des warmen Grubenwassers auseinander. Neben der Energiewende für die Stromversorgung ist auch die Wärmewende eine große Herausforderung. Das

Grubenwasser wird mit Temperaturen von durchschnittlich ca. 30°C an die Tagesoberfläche gepumpt. Diese regenerative Wärme ist prinzipiell zur Einspeisung in Nahwärmenetze und, in Kombination mit einer Temperaturerhöhung durch Wärmepumpen, auch für Fernwärme ausreichend. Die RAG hat in Anlehnung an die „Potenzialstudie Warmes Grubenwasser“ (LANUV Fachbericht 90, 2018) eine Machbarkeitsstudie zur Wärmenutzung an den Ewigkeitsstandorten im Ruhrgebiet beauftragt. Sofern der RAG keine betrieblichen oder wirtschaftlichen Nachteile entstehen, tritt das Unternehmen aktiv als Ermöglicher für die Wärmeauskopplung aus Grubenwasser ein.

1.2 Treibhausgas- und Energiebilanzen (THG-Bilanz)

Für ein wirkungsvolles und realistisches Klimaschutzziel ist es unerlässlich, Energieeinsatz und Treibhausgasemissionen eines Unternehmens unter die Lupe zu nehmen. Die RAG hat entsprechend der Vorgaben der Norm DIN EN ISO 14064-1 „Gestaltung und Entwicklung von THG-Bilanzen für Organisationen“ eine erste THG-Bilanz für die Jahre 2019-2021 erstellt. Die Bilanzierung soll entsprechend der neu etablierten Vorgehensweise jährlich fortgeführt werden.

Für die THG-Bilanz wurden die direkten Emissionen im Unternehmen (Scope 1) sowie die indirekten Emissionen durch den Energiebezug (Scope 2) für die Treibhausgase CO₂ und CH₄ erfasst. Indirekte Emissionen außerhalb der benannten Quellen (Scope 3) wurden nicht einbezogen. In den weiteren Betrachtungen hat sich die RAG auf die Emissionen von CO₂ fokussiert (s. Abb. 1).

Insgesamt sind die CO₂-Emissionen (Scopes 1 und 2) der RAG v.a. durch den Rückzug von den ehemaligen Bergbaustandorten, Umsetzung Grubenwasserkonzept sowie durch Energieeffizienzmaßnahmen aus dem Energiemanagement deutlich gesunken. Betrug die Emissionen im Jahr 2019 241.000 t CO₂, so sank der Wert im Jahr 2020 auf 167.000 t. Im Jahr 2021 betrugen die Emissionen noch 104.000 t. Dies entspricht einem Rückgang um 57 %. Gleichzeitig hat sich der Anteil der Scope 2-Emissionen, also aus dem Energiebezug, von 75% in 2019 auf 98% in 2021 gesteigert. Dabei ist der eingesetzte Strom bereits heute zu über 90% Quelle der Scope-2-Emissionen und wird durch den Betrieb der Grubenwasserhaltungen in Zukunft noch mehr Gewicht bekommen. Im Strombezug liegt somit auch der wesentliche Hebel zur Senkung der THG-Emissionen für RAG.

Für eine lebenswerte Region



Die RAG arbeitet als Bergbauunternehmen auch weit nach Beendigung der Steinkohlenproduktion an nachhaltigen Lösungen für die Nachbergbauzeit. Zu den Aufgaben der RAG zählen das kontrollierte Ableiten des Grubenwassers aus stillgelegten Bergwerken, das Management von Oberflächenwasser in

Bergsenkungsbereichen sowie das Pumpen, Überwachen und Reinigen von Grundwasser an ehemaligen Kokereistandorten. Oberstes Gebot sind dabei der Schutz des Trinkwassers und der Umwelt - in ehemaligen Bergbauregionen, in denen auch wir gerne leben wollen.

RAG Aktiengesellschaft

Im Welterbe 10
45141 Essen

E-Mail: info@rag.de

Internet: www.rag.de

Besuchen Sie uns auf

Facebook.

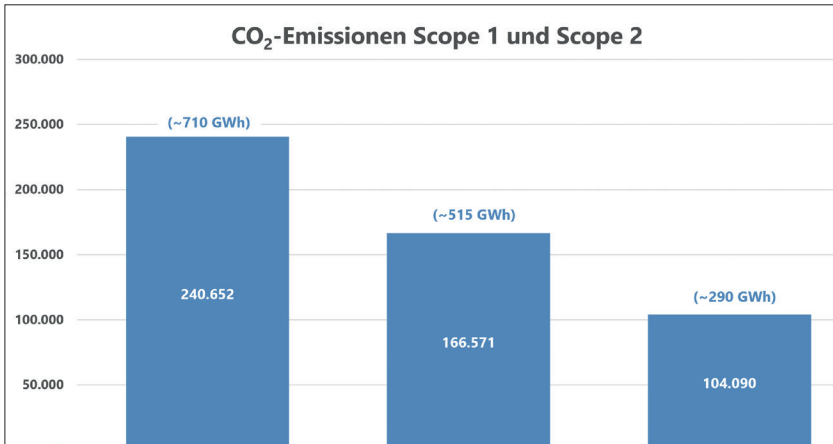


Abb. 1: CO₂-Emissionen der RAG Aktiengesellschaft in den Berichtsjahren 2019, 2020 und 2021 © RAG

1.3 Pfadbeschreibung

Die RAG hat sich das Ziel gesetzt den anfallenden Strombedarf bis 2030, möglichst aus eigener Kraft, CO₂-neutral zu decken. Der Strombedarf wird dauerhaft von den Aktivitäten der Wasserhaltung (Grubenwasserpumpen) dominiert. Die Planungen prognostizieren langfristig (nach Umsetzung der Grubenwasseranstiege) einen Bedarf von rund 250 GWh/a.

CO₂-neutrale Stromerzeugung bedarf eines Ausbaus Erneuerbarer Energien im Zugriff des Unternehmens. Die RAG will das Ziel möglichst schnell und kosteneffizient erreichen und konzentriert sich daher in erster Linie auf den Einsatz der etablierten Technologien im Windkraft- und Photovoltaiksektor (vgl. Abb. 2).

Die RAG hat ihre bestehenden Flächen auf die Eignung für Erneuerbare Energien hin untersucht. Während das Potenzial für Windenergieanlage (WEA) unter den gültigen Rahmenbedingungen eher moderat ist, scheint ein ausreichend großes Portfolio an Flächen für die Errichtung von Freiflächen-PV-Anlagen grundsätzlich geeignet zu sein. Es wird zudem geprüft, ob, im RAG-Konzernverbund bereits vorhandene, Windenergieanlagen in die Stromversorgung der RAG integriert werden können. EE-Anlagen sind für den Eigenbedarf besonders wirtschaftlich zu betreiben, wenn sie direkt am Ort des Verbrauchs stehen („on-site“) und so der Strom ohne Nutzung eines öffentlichen Netzes verfügbar ist. Freie Flächen an den Ewigkeitsstandorten sind allerdings nur begrenzt verfügbar und stehen oft in einer Nutzungskonkurrenz zu anderen betrieblichen Bedarfen der Wasserhaltung. So werden die Flächen z.B. für eine mögliche Aufbereitung vorgehalten. EE-Anlagen auf „off-site“-Flächen müssen den Strom ins öffentliche Netz einspeisen und sind daher mit zusätzlichen Kosten belegt (Netzentgelte, Stromsteuer...). Die Wirtschaftlichkeit der Anlagen muss daher besonders sorgfältig geprüft werden, damit RAG ihrem Wirtschaftlichkeitsgebot gerecht wird. Projekte, die einer wirtschaftlichen Prüfung nicht standhalten, können nicht realisiert werden. Unter den aktuellen Marktpreisbedingungen und Entwicklungsszenarien fallen die Bewertungen meist positiv aus.

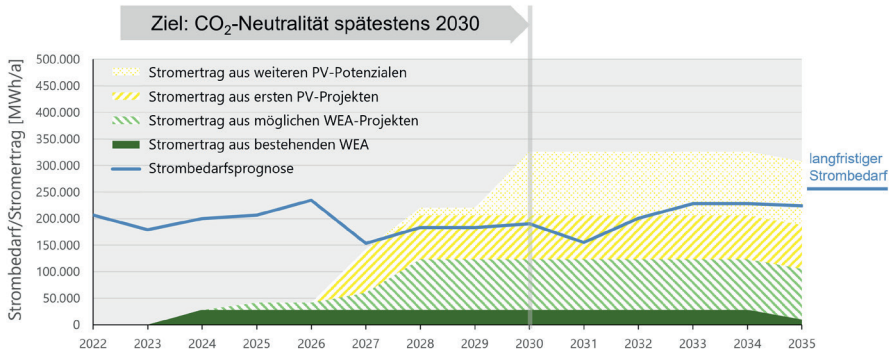


Abb. 2: Grobplanung eines EE-Ausbaupfades zur Erreichung einer CO₂-neutralen Stromversorgung für den Eigenbedarf der RAG Aktiengesellschaft © RAG

Erste PV-Projekte auf privilegierten Flächen entlang von Autobahnen oder Schienenwegen sind bereits angestoßen worden und streben eine Inbetriebnahme 2026 an. Diese Projekte sind aufgrund des vereinfachten Verfahrens (kein Bauleitplanverfahren) besonders schnell realisierbar. Auch die gesetzlichen Bestimmungen für Windkraft sind zurzeit in Bewegung und ermöglichen unter Umständen auch einen Zubau weiterer WEA, welche aufgrund ihrer hohen Leistungsfähigkeit besonders interessant sind.

Windkraft- und Photovoltaikanlagen sind abhängig von der Witterung und unterliegen zudem jahreszeitlichen Schwankungen, sodass ein gemischtes Portfolio verschiedener Anlagentypen zu einer Minderung der Schwankungen in der Stromverfügbarkeit beiträgt. Darüber hinaus wird auch die Nutzung von Speichertechnologien notwendig werden. Da sich die Energiewende systemweit vollzieht und entsprechend große, systemweite Speicherbedarfe generiert, plant die RAG bislang diese Leistung über das Netz einzukaufen und nicht eigene Speicherkapazitäten an den Standorten zu errichten.

Der Lastgang der RAG, also der Strombedarf über die Zeit, ist im bisherige Pumpbetrieb sehr stabil über den Tag und auch das Jahr hinweg. Die RAG untersucht die Optionen das Pumpspiel zu flexibilisieren und so an das zukünftig schwankende Stromdargebot aus eigenen EE-Anlagen besser anzupassen. Hier gilt es einen optimierten Prozess zur Pumpensteuerung unter Abwägung einer effizienten Eigenstromnutzung sowie des Materialverschleiß und der technischen Möglichkeiten aufzustellen.

1.4 Fazit

Der Klimawandel ist eine der großen Herausforderungen unserer Gegenwart. Die RAG nimmt ihre Verantwortung wahr und will bis 2030 aus eigener Kraft CO₂-neutral werden. Gleichzeitig befinden wir uns in einer turbulenten Phase mit stark schwankenden und extrem hohen Energiepreisen am Markt. Mit einer CO₂-neutralen Eigenstromerzeugung in den ehemaligen Bergbauregionen will RAG sich resilienter gegenüber unberechenbaren Marktpreisentwicklungen aufstellen

und zudem einen eigenen Beitrag zur Energiewende leisten. So kann RAG auch ihre Flächen und, über eine mögliche Wärmenutzung, evt. auch das Grubenwasser vermehrt in Wert setzen. Durch das vorhandene Flächenportfolio hat RAG einen Entwicklungsvorteil und große Chancen die Energiestrategie erfolgreich umzusetzen.

LITERATURVERZEICHNIS

Potenzialstudie Warmes Grubenwasser, LANUV – Fachbericht 90, Recklinghausen, 2018

Schachtverwahrung im Sanierungsbergbau – Oder: Was neben der Verwahrung bei der Verwahrung zu tun ist

Susann Krächan, Andy Tauber

Wismut GmbH, Bereich Sanierung Aue

ZUSAMMENFASSUNG:

Die Wismut GmbH ist ein Unternehmen des Bundes in Sachsen und in Thüringen. Ihre Hauptaufgabe besteht in der Stilllegung, Sanierung und Rekultivierung von Urangewinnungs- und Uranaufbereitungsbetrieben.

Der Beitrag gibt eine Übersicht zu den Vorgängen, die bei einer Schachtverwahrung im Sanierungsbergbau neben der eigentlichen Schachtverwahrung durch den Bergbauunternehmer durchgeführt werden müssen. Er zeigt auf, wie die Umsetzung eines Teils eines über 30 Jahre alten Abschlussbetriebsplanes erfolgen kann. Darüber hinaus werden die Erfahrungen aus vorangegangenen Schachtverwahrungen reflektiert und deren Einflüsse auf das aktuelle Projekt dargestellt.

ABSTRACT:

Wismut GmbH is a federal company in Saxony and Thuringia. Its main task is the decommissioning, rehabilitation and remediation of uranium mining and uranium processing sites.

The article gives an overview of the procedures that have to be carried out by the mining contractor in addition to the actual shaft maintenance in rehabilitation mining. It shows how the implementation of a part of a more than 30 years old final operating plan can be carried out. In addition, the experience gained from previous shaft rehabilitations is reflected upon and their influences on the current project are presented.

1 Einführung

1.1 Aufgaben und Sanierungsstand Wismut

Aus dem viertgrößten Uranproduzenten der Welt ist mit der deutschen Einheit ein staatliches Sanierungsunternehmen entstanden. Die als Wismutregion bezeichneten Gebiete in Sachsen und Thüringen sind durch eine mehr als 40-jährige intensive Gewinnung und Verarbeitung von Uranerzen stark beeinflusst. Als der Uranerzbergbau Ende 1990 im Zuge der deutschen Wiedervereinigung abrupt eingestellt wurde, hinterließ er tiefgreifende Schädigungen der Umwelt. Mensch und Natur waren gleichermaßen betroffen. Zurückgeblieben waren 1.400 km offene Grubenbaue, 311 Mio. m³ Haldenmaterial und 160 Mio. m³ radioaktive Schlämme in dicht besiedelten Gebieten. Aufgabe der 1991 gegründeten Wismut GmbH ist es, die vom Bergbau beanspruchten Flächen wieder nutzbar zu machen und Mensch und Natur eine gesunde Umwelt zurückzugeben.

Die Flächen, welche jahrzehntelang vom Uranerzbergbau beansprucht wurden, sind zum großen Teil wieder nutzbar gemacht. Sie erhöhen nun wieder die Umwelt- und die Lebensqualität der im Umfeld lebenden Menschen. Den betroffenen Kommunen wird durch die enge Zusammenarbeit mit der WISMUT eine Grundlage für die Zukunft geschaffen. So ist der Ortsteil Bad Schlema heute wieder ein Kurort und die sanierte Haldenlandschaft im Raum Schlema-Alberoda seit 2019 Teil des UNESCO Weltkulturerbes „Montanregion Erzgebirge/Krušnohoří“.

Am Beispiel der Verwahrung Schacht 208 werden das Vorgehen einer Schachtverwahrung mittels Betonscherpfropfen von der Planung bis zur Durchführung dargestellt. Darüber hinaus reflektiert der Beitrag auf Erkenntnisse aus der Verwahrung des Schachtes 371, der als vorletzter Tagesschacht im Zeitraum 2008 bis 2011 verschlossen wurde.

1.2 Bedeutung tiefer Tagesschächte am Beispiel Schacht 208 und Schacht 371

1.2.1 Schacht 208 – ein Schacht mit vielen Funktionen

Der Schacht 208 hat sich seit seiner Teufe in Aussehen und Funktion mehrfach gewandelt. Zunächst projektiert als Förder- und Seilfahrschacht mit 295 m Teufe im rechteckigen Querschnitt erreichte er 1951 die 240 m Sohle. Bereits 1960 bis 1962 wurde der Schacht nachgeteuft. Er erhielt einen runden Querschnitt mit 6 m Durchmesser und einem Ausbau aus Monolithbeton und wurde als Abwetterschacht genutzt. Die Endteufe betrug 863 m mit 13 neuen Sohlenanschlüssen.

Nach der Betriebseinstellung erlangte der Schacht 208 von 1992 bis 1997 Bedeutung für die gesteuerte Flutung der Grube. Für die Auffahrung einer Entwässerungsstrecke auf der 60 m Sohle zur Wasserbehandlungsanlage (WBA) Schlema-Alberoda musste der Wetterschacht zum Förder- und Seilfahrtschacht umgebaut werden. Er erhielt zudem fünf parallel installierte Tauchpumpen, die eine Zeit lang das Flutungswasser über eine Sammelleitung in der Entwässerungsstrecke in die WBA hoben. Seit der Inbetriebnahme der Pumpen am UG 212 wurden die Pumpen im Schacht 208 nicht mehr benötigt und zurückgebaut. Die technologisch notwendige Rückführung nicht oder nicht ausreichend behandelten Flutungswassers von der WBA in den Flutungsraum ist über eine Rohrleitung vom UG 212 zum Schachtfüllort möglich. Der Schacht 208 wird für die zukünftigen Arbeiten nicht mehr benötigt.

1.2.2 Schacht 371

Die Schachanlage 371 wurde im April 1955 angelegt. Die Teufarbeiten begannen im April 1956. Am 1. Mai 1959 erfolgte die Übergabe des Schachtes vom Objekt 11 an das Objekt 09 zur Aufnahme des Gewinnungsbetriebes. Er ging deshalb als „Jugendschacht 1. Mai“ in die Wismut-Analen ein.

Angeschlossen waren die Sohlen 540 m und 990 m. Der Rundschacht (lichter Querschnitt 7 m) war mit Betonausbau versehen. Der Schacht 371 war ab den 70er Jahren bis zur Einstellung der Bergarbeiten Ende 1990 der Hauptförder- und -seilfahrtschacht des Bergbaubetriebes Aue. Die Schachtförderung erfolgte mit zwei Koepeanlagen mit einer Antriebsleistung von 2.200 kW. Der Schacht war mit 4etagiger Gestellförderung und mit Gefäßförderung (Skip) ausgerüstet. Die beiden Gestelle waren für eine Nutzlast von je 8 t, die Skips für eine Nutzlast von je 7,5 t ausgelegt. Die maximalen Geschwindigkeiten im Förderbetrieb betrugen bei Seilfahrt (3 Etagen á 20 Personen)

12 m/s, bei Güterförderung mit Gestell (4 Etagen á zwei Hunte) oder Skip 16 m/s. Die maximale Förderleistung wird mit 410 t/h (Gestell 160 t/h, Skip 250 t/h) angegeben.

1.3 Anlass und Wahl des Verwahrungsverfahrens

Mit der Einstellung der Erzgewinnung und dem Sanierungsauftrag an die WISMUT der im sogenannten Wismut-Gesetz vom 18.12.1991 formuliert ist, erfolgte für die einzelnen Bergbaubetriebe deren technische Untersetzung und grundsätzliche Genehmigung durch Abschlussbetriebspläne. Für die Lagerstätte Niederschlema-Alberoda wurde dieser bereits am 12.03.1991 zugelassen.

Neben dem Rückzug aus dem Grubengebäude und der Flutung der Grubenbaue sieht der Abschlussbetriebsplan die Verwahrung der Tagesschächte vor. Für die beiden Schächte 208 und 371 wurde dabei eine Technologie gewählt, die sich am Standort Schlema-Alberoda mehrfach bewährt hatte: Den Einbau eines Betonscherppropfens mit anschließender Teilverfüllung der Schachtröhre bis übertage.

Diese Technologie bietet Vorteile gegenüber einer vollständigen Verfüllung:

1. Nur ein relativ kleiner, tagesnaher Abschnitt der Schachtröhre ist zu bearbeiten
2. Die Verwahrung kann jederzeit nach einer Flutung des Grubengebäudes erfolgen
3. Der Einsatz von Baustoffen ist gegenüber einer Vollverfüllung deutlich reduziert
4. Die Schachtröhre bleibt als Wasserwegsamkeit und für spätere Monitoringmaßnahmen frei

Es ergeben sich hingegen auch Nachteile bzw. zu beachtende Randbedingungen:

1. Es bedarf eines tagesnahen, tragfähigen Verwahrhorizontes, in den der Betonscherppropfen eingebracht werden kann.
2. Der technische und personelle Aufwand für die Vorbereitung und Durchführung der Verwahrarbeiten ist größer als bei einer reinen Verfüllung.
3. Vor der Festlegung des Verwahrhorizontes bedarf es einer umfänglichen Erkundung des anstehenden Gebirges hinsichtlich seiner geotechnischen Beschaffenheit.

Aus dem zeitlichen Ablauf der Stilllegung des Grubenbetriebes sowie der Notwendigkeit, Wasserwege und Monitoringmöglichkeiten zu erhalten, ergab sich für diese beiden zuletzt verwahrten Schächte, dass diese bereits bis zu einer Teufe von ca. 50 bzw. 80 m geflutet waren. Beim Schacht 208 kam noch hinzu, dass dieser langfristig als Aufstiegsfad für das zu behandelnde Flutungswasser erhalten bleiben muss. Während der Phase der gesteuerten Flutung war hier zudem eine Wasserhaltungsanlage mittels Unterwassermotorpumpen installiert.

Aufgrund dieser Randbedingungen fiel bei beiden Schächten die Entscheidung zugunsten der Verwahrung mit Betonscherppropfen aus.

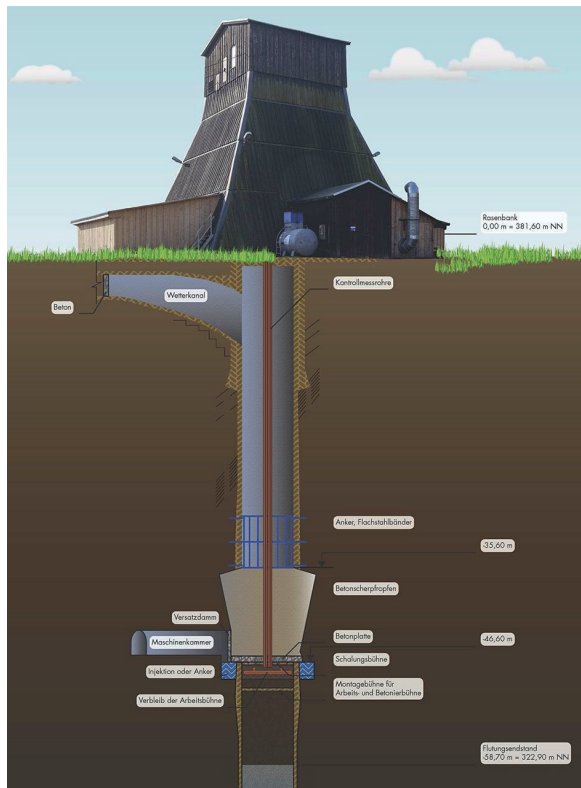


Abb. 1: schematische Schnittdarstellung Verwahrung mit Betonscherppropfen

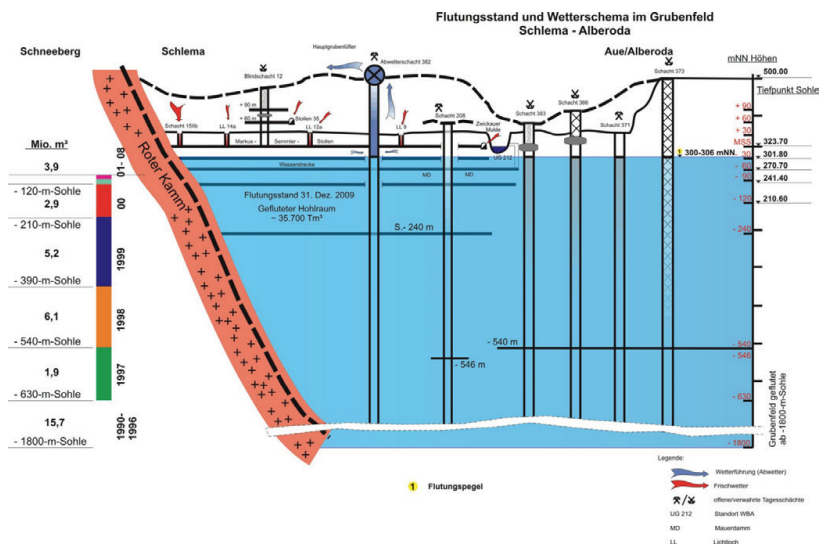


Abb. 2: Flutungsschema Grube Schlema-Alberoda

Grundlage bildet dabei die in § 53 Abs. 1 i. V. m. § 55 BBergG beschriebenen allgemeinen Anforderungen, die darauf abzielen, nach Beendigung eines Bergbaubetriebes eine möglichst lastenfreie und sichere Tagesoberfläche herzustellen. Für den Freistaat Sachsen lassen sich diese konkreten Ziele aus dem Leitfaden des Sächsischen Oberbergamtes für das Verwahren von Tagesschächten vom 10.12.2007 ableiten. Weiterhin werden die Grundsätze für die Verwahrung von Tagesschächten des Institutes für Bergbausicherheit Leipzig vom 25.05.1977 als fachliche Grundlage anerkannt. Eine Besonderheit spielt in diesem Zusammenhang das Alter des Abschlussbetriebsplanes. Dieser bezieht sich häufig auf Rechtsgrundlagen, Normen und anerkannte Technologien aus der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik. Dies war zum damaligen Zeitpunkt durchaus sachgerecht, stellten doch diese Dokumente die regulatorische Grundlage des vorangegangenen Gewinnungsbetriebes dar.

Im Konkreten sind folgende allgemeine Ziele zu berücksichtigen:

- die Sicherung der Tagesoberfläche im Hinblick auf die Folgenutzung (Abstand zu baulichen Anlagen/Infrastruktureinrichtungen, Gewährleistung der Standsicherheit des Schachtes),
- die Sicherung gegen Zutritt/Austritt von gefährdenden Stoffen in das oder aus dem Grubengebäude
- den Schutz des Grundwassers
- den Schutz der Lagerstätte
- den Schutz anderer Bergbaubetriebe.

Ferner ergaben sich Ziele aus betrieblicher Sicht, die insbesondere die Langzeitaufgaben der Wismut GmbH zum Inhalt haben:

- die Möglichkeit, den qualitativen Zustand des Flutungswassers zu beobachten,
- die Steuerung bzw. Überwachung des Flutungswasserstandes über die Lagerstätte hinweg
- die Gewährleistung der Wasserwegsamkeit in der Vertikalen insbesondere für die gezielte und konzentrierte Fassung des Flutungswassers für dessen nachfolgende Reinigung

Neben diesen Zielen waren aber auch Erfahrungen aus bereits erfolgten Schachtverwahrungen über mehrere Dekaden zu berücksichtigen, insbesondere diejenigen, die sich nachträglich als ungünstig bzw. problematisch erwiesen hatten.

2 Vorbereitende Maßnahmen

2.1 Planung Verwahrung Schacht 208

Die Planung der Schachtverwahrung startete mit der Erstellung einer Beschaffungsanforderung für den Einkauf der notwendigen planerischen Fremdleistungen am 24.06.2011. Ausgangs des Vergabeverfahrens wurde am 06.10.2011 das Ingenieurbüro C&E Consulting und Engineering GmbH für die „Planung Verwahrung Schacht 208“ gebunden. Basis für die Planung bildet das Verwahrprojekt des Schachtes 371 aus dem Jahr 2000 bis 2007, welches seinerseits ebenfalls auf Erkenntnissen vorangegangener Verwahrmaßnahmen aufbaute.

Entsprechend der vorgegebenen Verwahrmethode erfolgten zunächst die Auswahl des Plombenstandortes mittels Untersuchungen der geotechnischen Eigenschaften des angestrebten Einbauhorizontes. Dazu wurden drei Kernbohrungen im Schachtumfeld geteuft und gesteinsmechanische Untersuchungen durchgeführt. Die Auswertung durch den Planer ergab folgendes: „Insgesamt kann eingeschätzt werden, dass der konzipierte Standort zum Einbau des Pfropfens geeignet ist und der Schacht 208 so verwahrt werden kann“. Somit war die geotechnische Hürde genommen.

Die weitere Planung umfasst einen geotechnisch-bergmännischen und einen mechanischen Teil der Verwahrung. Dieses Vorgehen wurde bereits bei dem analog verwahrten Schacht 371 angewandt. Die Projekte zur Verwahrung der beiden Schächte ähneln sich stark, es bestehen jedoch Unterschiede in der Dimensionierung und Geometrie der Verwahrbauwerke. Die Planunterlagen wurden im Oktober 2013 durch einen Sachverständigen geprüft und freigegeben. Somit waren die planerischen Voraussetzungen für die Erstellung des erforderlichen Sonderbetriebsplanes (SBP) erarbeitet.

Aus betriebsinterner Sicht stand jetzt die Beantwortung der Frage an, mit welchen personellen Ressourcen die Verwahrungsarbeiten erfolgen sollen. Grundsätzlich waren 2 Varianten möglich:

1. Vollständige Durchführung mit eigenem Personal
2. Vollständige Vergabe der Leistungen an Dritte im Rahmen eines Werkvertrages

Maßgeblich waren hierbei der zur Verfügung stehende Personalbestand an Facharbeitern sowie die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Dabei spielte auch eine Rolle, dass aufgrund der Prioritätensetzung für andere untertägige Arbeiten ein Zeitverzug eingetreten war, der bei einer Vergabe an Dritte zu einer erneuten Anpassung der Planungsunterlagen geführt hätte.

Die finale Entscheidung erfolgte Ende 2016 durch die Geschäftsführung: Die Wismut GmbH verwahrt den absehbar letzten Tagesschacht mit eigenem Personal. Ein zusätzlicher Nebeneffekt dieser Entscheidung war die Möglichkeit der Weitergabe von Wissen, welches bei der Verwahrung des Schachtes 371 durch „dienstältere“ Mitarbeiter erworben und nun an die nächste Generation weitergegeben werden konnte. Dieses ist umso wertvoller, als dass die Wismut GmbH auf lange Zeit noch zwei Tagesschächte, einen Blindschacht sowie diverse schachtartige Zugänge zum Hauptwasserlösestollen zu betreiben hat.

Im Jahr 2017 nahm das Projekt wieder volle Fahrt auf und die vorhandenen Planunterlagen wurden bis zur Genehmigungsreife finalisiert.

2.2 Genehmigung

Die Schachtverwahrung wurde in zwei Teilabschnitten zur Genehmigung beim Sächsischen Oberbergamt eingereicht. Der eine Teil umfasst den Umbau der Schachtanlage zur Verwahranlage. Der zweite Teil umfasst die bergmännischen Arbeiten bzw. den zugehörigen SBP.

Mit der Genehmigung zum Umbau der Förderwinde, erteilt am 15.09.2017, begannen die Vorbereitungen zur Verwahrung des Schachtes 208. Bisher waren sämtliche Schachtanlagen auf

Grundlage der ABAO 120/2 (Arbeitsschutz- und Brandschutzanordnung 120/2 – Bergbausicherheit im Bergbau unter Tage- vom 05.10.1973) der ehemaligen DDR zugelassen worden und werden durch den Bestandsschutz noch immer in dieser Weise betrieben.

Darüber hinaus enthielt die am 09.04.2018 erteilte Zulassung des Umbaus der fördertechnischen Anlage vom Schacht 208 folgenden Hinweis: „*Grundlage für die Prüfung ist die Sächsische Bergverordnung vom 16.07.2009 und die Technischen Anforderungen an Schacht- und Schrägförderanlagen (TAS) mit Stand Dezember 2005. Außerdem gelten für die Dokumentationsprüfung durch den anerkannten Sachverständigen die Regelwerke der ehemaligen DDR, da mehrere zum Einsatz kommende Baugruppen in dieser Zeit konstruiert und gebaut wurden. Somit erfolgt die Einordnung der umgebauten fördertechnischen Einrichtung in das in sich geschlossene Sicherheitssystem der ABAO 120/2 und TGL 39641 zur Gewährleistung der Anlagensicherheit.*“

Der Antrag auf Zulassung einer Ergänzung des Abschlussbetriebsplanes – SBP zur Verwahrung des Schachtes 208 wurde am 30.11.2017 bei der Behörde eingereicht. Die Zulassung erfolgte am 07.02.2018 unter anderem mit folgenden Nebenbestimmungen:

- Der Nachweis der Standfestigkeit des Gebirges im Widerlagerbereich ist durch einen Sachverständigen zu erbringen.
- Die Bewehrung der Stahlbetonschalungsplatte ist vor dem Betonieren von einem Sachverständigen für Schachtförderanlagen auf die Richtigkeit der Verlegung abnehmen zu lassen.
- Die festgelegten Betonqualitäten sind verbindlich einzuhalten und nachzuweisen.
- Das Verwahrbauwerk ist ohne wesentliche Unterbrechungen in seiner Gesamtheit herzustellen.

2.3 externe Überwachung/Beweissicherung

2.3.1 Gebirgsmechanische Begleitung

Zur Umsetzung der Arbeiten gemäß SBP – geotechnisch-bergmännischer Teil – wurden gutachterliche Einschätzungen und Nachweise im Bereich des Widerlagers des einzubauenden Betonscherpfropfens notwendig.

Beim Freilegen des Widerlagers des Schachtpfropfens war entsprechend der Gebirgsverhältnisse über möglicherweise zusätzlich durchzuführende Injektionen und Sicherungsausbau zu entscheiden. Diese Unsicherheiten konnten in der Planung nur sehr begrenzt berücksichtigt werden, da durch den Ortbetonausbau in der Schachtröhre nur eine punktuelle Erkundung der Gebirgsverhältnisse möglich war.

Nach Herstellung des Pfropfenwiderlagers war zudem der Nachweis über die Standfestigkeit des Gebirges im Widerlagerbereich und die Einhaltung – ggf. auch Korrektur – der Vorgaben bezüglich der Dimensionierung des Betonscherpfropfens unter Berücksichtigung der tatsächlichen Vor-Ort-Situation durch einen Sachverständigen bzw. eine sachverständige Stelle oder auch anerkannten Gutachter zu erbringen.



Unsere Formel – Ihre Lösung

Consolidation Line / Spezialtiefbau / Bergbau / Tunnelbau

WEBAC®

webac.de • webac.com



Für diese Leistungen wurde als externe Sachverständigenstelle die DMT GmbH & Co.KG, Zweigniederlassung Leipzig vertraglich gebunden. Diese hatte begleitend zu den bergmännischen Arbeiten die Aufgabe, neben den täglichen Einschätzungen der Sicherheit vor Ort durch das Aufsichtspersonal, als externe Stelle die Umsetzung des SBP zu überwachen. Außerdem wurde nach dem Freilegen des Gebirges im Widerlagerbereich der Standsicherheitsnachweis des Gebirges erbracht. Mit den vorgelegten Freigaben des Sachverständigen am 30.01.2023 und unter Umsetzung der gegebenen Sicherheitshinweise, konnten die weiteren Arbeiten zur Herstellung der Stahlbetontragplatte und des Betonscherpfropfens durchgeführt werden.

2.3.2 Sprengüberwachung/Beweissicherung

Neben den behördlich geforderten Sachverständigenbegleitungen entschied sich WISMUT für eine weitere Sachverständigenleistung. Aufgrund der exponierten Lage des Schachtes 208 in unmittelbarer Nähe der Wohnbebauung am Rande der Ortslage war eine mögliche Schädigung durch die bergmännischen Arbeiten nicht von vornherein auszuschließen. Dies betraf insbesondere die erforderlichen Sprengarbeiten in ca. 40 m Teufe.

Um eventuelle Schadenersatzansprüche (Bergschäden) bewerten und regeln zu können, wurde eine schwingungstechnische Überwachung der Sprengarbeiten durch einen externen Gutachter beauftragt. Zuvor fand die Beweissicherung der aus dem Zeitraum 19. Jahrhundert bis Mitte 20. Jahrhundert stammenden Gebäude in direkter Nachbarschaft statt. Erst nach Installation des Messnetzes und dem Vorliegen der Beweissicherung konnte mit den Sprengarbeiten begonnen werden.

Tatsächlich erfolgte die Anzeige eines Bergschadens im Nachgang der Sprengarbeiten bei WISMUT durch den Eigentümer eines der benachbarten Gebäude. Im vorgelegten Abschlussbericht heißt es dazu: *„Die Anhaltswerte der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“, Teil 3 „Einwirkungen auf bauliche Anlagen“ zur Beurteilung der Einwirkung von Erschütterungen auf das Gesamtbauwerk und der Decken werden an den vier Messorten sicher unterschritten, so dass Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes bei der vorliegenden Erschütterungseinwirkung nicht eingetreten sind.“* Das Verfahren läuft noch.

3 Umsetzung der Maßnahme

3.1 Umbau zur Verwahranlage

Aus seiner vorherigen Nutzung als Wasserhaltungs- und Wetterschacht war bereits eine Förder-technische Anlage vorhanden. Diese umfasste eine einrümige Befahrungsanlage mit seilgeführten Fördergestell sowie eine Schwerlastwindenanlage. Für die Durchführung der Verwahrungsarbeiten war jedoch eine Befahrungsanlage inkl. Hilfsfahreinrichtung, eine Bühnenanlage sowie die dafür erforderlichen Windenanlagen zur Bereitstellung der logistischen Einrichtungen wie Medien und Signaleinrichtungen erforderlich. Der Umbau erfolgte unter Nutzung der vorhandenen technischen Einrichtungen sowie des bereits über dem Schacht befindlichen Teufgerüsts. Die errichtete Bühnenanlage mit zwei Tragböden sowie die zur Seilfahrt geeignete Kübelfördereinrichtung entsprach dabei im Wesentlichen den technischen Einrichtungen einer Schachtteufanlage.

Zudem waren die Schachtverschlüsse und die gesamte Steuerungs- und Signaleinrichtung für die neue Aufgabe umzurüsten und zu erweitern.

Aufgrund des bereits in ca. 80 m Teufe anstehenden Flutungswassers bestand keine wettergängige Verbindung mehr zum Grubengebäude, so dass eine Sonderbewetterung erforderlich wurde. Hierbei zeigte sich eine Besonderheit des Standortes. Bei sommerlichen Temperaturen sammelte sich wiederholt eine erhebliche Menge radonhaltiger Luft in der Schachtröhre, so dass die bergmännischen Arbeiten unter besonderer Beobachtung der Strahlenschutzmaßnahmen erfolgen mussten.

Detaillierte Ausführungen zum Umbau der Verwahranlage werden im Rahmen der 18. Fachtagung für verantwortliche Personen für Schächte und Schachtförderanlagen im November 2023 (TSU e.V.) dargestellt.

Die Sachverständigenabnahme des gesamten Verwahrkomplexes gemäß § 30 SächsBergVO wurde am 25. und 26. November 2020 mit dem Nordhäuser Bauprüfinstitut GmbH und dem Sächsischen Oberbergamt durchgeführt.

3.2 *Bergmännische Arbeiten*

Die ersten Arbeiten zur Herstellung des Verwahrbauwerkes begannen im Juli 2021. Hierzu war entlang der Schachtwandung ein Widerlager im anstehenden Gebirge mit einer Höhe von ca. 6 m herzustellen. Da der Schacht einen Ortbetonausbau besitzt, war es erforderlich, vor dessen Rückbau im Bereich der Plombe den verbleibenden Ausbau lagestabil zu sichern. Dies erfolgte oberhalb und unterhalb des Verwahrhorizontes mittels Gebirgsankern und Bänderolen aus Flachstahl. Das Herausarbeiten des 10 m hohen Widerlagers erfolgte dann mittels Bohr- und Sprengarbeit vom unteren Tragboden der Bühnenanlage aus. Aufgrund der noch immer nicht flächenhaft bekannten geotechnischen Verhältnisse wurden der Hohlraum segmentweise hergestellt. Dabei zeigte sich, dass auf eine temporäre Sicherung der freigelegten Kontur nicht verzichtet werden konnte. Zweckmäßigerweise kam ein Ausbau mit bewehrtem Spritzbeton und Reibrohrankern zum Einsatz. Dieser konnte im Grubenbau verbleiben und mit in die Plombe integriert werden. Eine Besonderheit stellte die im Verwahrhorizont vorhandene Maschinenkammer der ehemaligen Flutungswasserhaltung dar. Diese konnte mit in das Verwahrbauwerk einbezogen werden.

Die Durchführung der bergmännischen Arbeiten erfolgte einschichtig mit durchschnittlich vier Beschäftigten untertage sowie drei Mitarbeitern übertage.

3.3 *Herstellung Verwahrbauwerk*

Um den Betonscherppropfen in den luftgefüllten Schacht einbauen zu können ist eine Schalung in Richtung der offenstehenden Schachtröhre erforderlich. Diese hat die Aufgabe, die Last des monolithisch herzustellenden Verwahrbauwerkes bis zu dessen Abbinden zu tragen und gleichzeitig ein Abfließen von Beton in das Flutungswasser zu verhindern. Die Ausführung erfolgte mittels einer stahlbewehrten Betontragplatte. Zu deren Herstellung war ebenfalls eine Schalung erforderlich. Diese wurde im Form von Profilstahlträgern mit Holz- und Stahlblechauflage hergestellt. Zuvor war der untere Tragboden der Bühnenanlage im Schacht abgesetzt und dauerhaft festgelegt worden. Die Bewehrung der Tragplatte stellte die ausführenden Mitarbeiter vor erhebliche Herausforderungen,

waren doch 6300 kg Betonstahl in vier Ebenen einzuhängen, auszulegen und durch Flechtarbeit zu verbinden. Das gesamte Bauwerk hat dabei eine Höhe von nur 80 cm. Nach der Betonage der Tragplatte war die Zeit bis zum Erreichen der Endfestigkeit von 28 Tagen vor einer Belastung einzuhalten.

Nun konnte die Betonage der Plombe erfolgen. Hierbei ist zu beachten, dass diese unter allen Umständen monolithisch auszuführen ist, d.h. die gesamte Betonage muss frisch in frisch vor Beginn des Abbindevorganges erfolgen. Diese stellte eine logistische Herausforderung dar, war es doch erforderlich, in einem Zeitraum von 15 Stunden eine Menge von 850 m³ Beton herzustellen, per Fahrmischer anzuliefern und mittels Betonpumpe nach untertage zu verbringen. Diese Arbeiten erfolgten am 20.04.2023 zweischichtig unter Aufbietung aller verfügbaren personellen Kapazitäten. Insbesondere die Beschaffung des Transportbetons musste eine Redundanz bei Herstellung und Transport berücksichtigen, um eventuelle Ausfälle kompensieren zu können. Diese Arbeiten sind nicht reversibel bzw. wiederholbar und müssen unter allen Umständen erfolgreich abgeschlossen werden.

Nach dem Aushärten der Betonscherplombe erfolgte nun die etappenweise Verfüllung der verbleibenden Schachtröhre mit kohäsivem Baustoff. Dabei wurden drei Monitoringrohre mit nach übertage geführt, die zukünftig eine Überwachung des Flutungswassers sowie der Schachtröhre unterhalb der Plombe ermöglichen werden. Die Verfüllung wurde am 05.07.2023 abgeschlossen. Zuvor war der verbliebene Teil der Arbeitsbühne demontiert worden.

3.4 Einsatz moderner Messtechnologien

Für die Betonage des Betonscherpfropfens sowie die anschließende Verfüllung der Schachtröhre war die möglichst genaue Ermittlung des zu betonierenden Hohlraumvolumens erforderlich. Dabei waren folgenden Geometrien zu berücksichtigen:

1. die ehemalige Maschinenkammer der Flutungswasserhaltung
2. die eigentliche Plombenkontur
3. die Schachtröhre bis übertage
4. den unter der Rasensohle liegenden Wetterkanal

Zu Ermittlung dieser Werte wurde eine Kombination aus Laserscan sowie tachymetrischer Vermessung durchgeführt. Dabei waren insbesondere die durch die Schachteinbauten vorhandenen Schattenbereiche zu beachten. Im Ergebnis konnte nicht nur eine bemerkenswerte Aufnahme der Schachtkontur, sondern auch eine sehr genaue Ermittlung des Betonbedarfs abgeleitet werden.

3.5 Ausblick

Nach Abschluss der Verwahrungsarbeiten erfolgt in den kommenden Monaten der Rückbau der fördertechnischen Anlagen. Diese werden am Standort weiterhin verwendet und werden zum nächsten Projekt am Schacht 382 umgesetzt. Nach Rückbau des Fördergerüsts und der Maschinenhäuser wird die Sanierung der Betriebsfläche erfolgen. Damit wird dann der Lückenschluss zu den bereits sanierten Halden ober- und unterhalb des Schachtes erfolgen. Nach Abschluss dieser Maßnahmen wird nur noch die Grundwasserbeschaffenheitsmessstelle an den Schacht 208 erinnern.

Fachliche Grundlagen und Möglichkeiten zur Optimierung der Verwahrung/Sicherung von ehemaligen Filterbrunnen

Anja Kühne, Tino Rosenzweig, Thomas Nagel

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik,
Lehrstuhl für Bodenmechanik und Grundbau

ZUSAMMENFASSUNG:

In einer Literaturrecherche wurden Berechnungsmodelle zur Tagesbruchprognose an Filterbrunnen ermittelt. Ausgehend davon wurden die Modelle nach DYCK & HEIDLER und EICHLER & HÖFGEN als geeignet für die Berechnungen zur Tagesbruchabschätzung angesehen. Die Ergebnisse der Berechnungen wurden mit recherchierten Schadensfällen im Verantwortungsbereich der LMBV abgeglichen. Im Anschluss wurden für die ausgewählten Vorzugsmodelle in einer Parameterstudie verschiedene Eingangsparameter variiert, die die Tagesbruchtiefe und den Tagesbruchdurchmesser beeinflussen. Im Modell nach DYCK & HEIDLER waren das der Bruchwinkel und der Auflockerungsfaktor. Im Modell nach EICHLER & HÖFGEN wurden der Primärbruchwinkel und der Auflockerungsfaktor variiert. Der Verfüllungsgrad wurde ebenfalls in beiden Modellen untersucht. In Abhängigkeit der Überdeckungshöhe wurden Nomogramme entwickelt, aus denen zu erwartende Tagesbruchtiefen abgelesen werden können. Als Kriterium wird in den Berechnungen das maximal zulässige vertikale Versatzmaß entsprechend der Handlungsgrundlage der LMBV zu Innenkippen verwendet.

ABSTRACT:

A literature research identified calculation models for cave-in prediction. On this basis, the DYCK & HEIDLER and EICHLER & HÖFGEN models were found to be suitable for cave-in calculations. The results of the calculations were compared with the investigated damage cases in the area of responsibility of the LMBV. Subsequently, various input parameters affecting the cave-in depth and diameter were varied for the selected preferred models. In the DYCK & HEIDLER model, these were the fracture angle (angle at which the collapse opens to the ground surface) and the loosening factor. In the EICHLER & HÖFGEN model, the primary fracture angle and the loosening factor were varied. The degree of backfilling was also varied in both models. Nomograms were developed as a function of backfill height to give the expected cave-in depths. The maximum allowed vertical depth according to the LMBV action basis for dumps is used as a reference value in the calculations.

1 Anlass

Im Zuge der Sanierung der Braunkohlentagebaue im Verantwortungsbereich der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) ist sicherzustellen, dass keine Gefahr von vorhandenen Filterbrunnen (FiBr) für das Leben und die Gesundheit Dritter ausgeht. Für den Verantwortungsbereich der LMBV wurden ca. 17.600 Brunnen (Stand: 02/2022) als Brunnen

mit Handlungsbedarf in einer Brunnendatenbank erfasst. Insbesondere für die überkippten Brunnen muss ausgeschlossen werden, dass sich durch mögliche im Brunnen vorliegende Hohlräume Tagesbrüche bis zur Geländeoberfläche (GOF) ausbreiten. Ausgehend von dieser hohen Anzahl werden die Optimierung der eingesetzten Technologie und die Vereinheitlichung der Vorgehensweise für die Verwahrung angestrebt. [1]

2 Berechnungsverfahren zur Abschätzung eines Tagesbruches

2.1 Allgemeines

In der Literaturrecherche zu den Berechnungsmodellen für die Tagesbruchabschätzung wurden verschiedene Modelle mit unterschiedlichen Ansätzen recherchiert. Die Berechnungsmodelle können grundsätzlich nach Abbildung 1 in empirische, analytische und numerische Modelle klassifiziert werden.

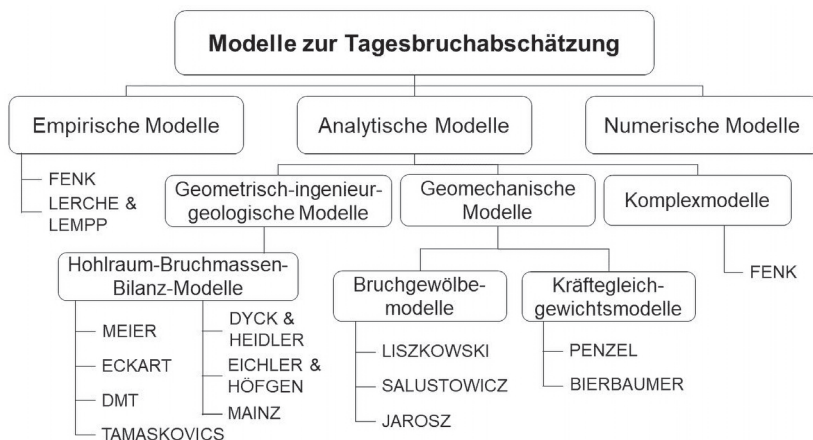


Abb. 1: Übersicht über bekannte Modelle zur Tagesbruchabschätzung nach [2, S. 29] (erweitert)

Die Modelle nach DYCK & HEIDLER und nach EICHLER & HÖFGEN wurden für die FiBr-Problematik in Altkippen konzipiert. Beide Modelle werden in den weiteren Berechnungen aufgrund ihrer Eignung verwendet. In den Abschnitten 2.2 und 2.3 wird auf diese beiden Bruchmodelle eingegangen. Die verbleibenden Modelle wurden vorwiegend für Streckenverbrüche entwickelt oder betrachten das Verbrechen eines monolithischen Körpers und sind somit im Lockergestein nicht anwendbar. Auch empirische Modelle sind aufgrund ihres Ortsbezuges nicht anwendbar.

2.2 Bruchmodell nach DYCK & HEIDLER

Im Berechnungsmodell nach DYCK & HEIDLER der FCB Fachbüro für Consulting und Bodenmechanik GmbH werden der Tagesbruchdurchmesser D und die Tiefe t des Tagesbruches in Abhängigkeit des Bruchwinkels sowie des Auflockerungsfaktors bestimmt (vgl. Abbildung 2). Die Überdeckungshöhe H_{Gebirge} geht ebenfalls in die Berechnungen ein. Aus Beobachtungen nach [3] geht

hervor, dass sich der Bruchprozess nicht mit dem Durchmesser d des FiBr bis zur Tagesoberfläche fortsetzt. Eine Abweichung von ca. 5° zur Vertikalen tritt bei dem Aufweitungsvorgang auf. Der Winkel zur Horizontalen ist der Bruchwinkel θ . [3]

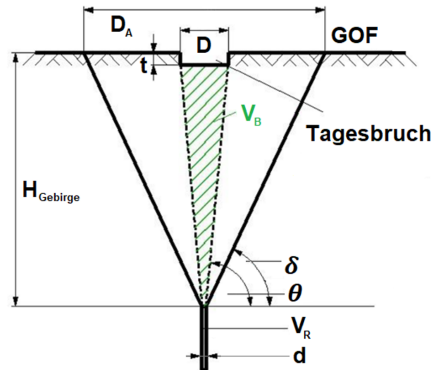


Abb. 2: Bruchmodell nach DYCK & HEIDLER mit den geometrischen Daten nach [3, S. 7] (überarbeitet)

Der Durchmesser D des Tagesbruchs ermittelt sich für den in Abbildung 2 dargestellten Fall nach Gleichung 1.

$$D = d + 2 \cdot H_{\text{Gebirge}} \cdot \tan(90^\circ - \theta) \quad (1)$$

Kommt es zu einem Bruch, dann stürzt das Material, welches sich über der offenen FiBr-Röhre befindet, in diese hinein. Das nachbrechende Überdeckungsmaterial lagert sich in der offenen FiBr-Röhre und im Bruchraum aufgelockert ab. Der Auflockerungsfaktor f wird in diesem Modell zu 1,05 angesetzt. Dieser vergleichsweise niedrige Auflockerungsfaktor liegt in der lockeren Lagerung der Kippenmischböden begründet. Mit einem Fortschreiten des Bruches verringert sich somit das Hohlraumvolumen. Es besteht die Möglichkeit, dass der Bruchprozess zum Stillstand kommt, ohne dass die Tagesoberfläche erreicht wird. Es ist davon auszugehen, dass sich der Bruchprozess bis zur Tagesoberfläche fortbildet, wenn der auflockerungsbedingte Volumenzuwachs durch die FiBr-Röhre aufgenommen werden kann, also die Bedingung nach Gleichung 2 erfüllt ist (mit dem Volumen der offenen FiBr-Röhre V_R und dem Volumen der Bruchmassen V_B). [3]

$$V_R + V_B > f \cdot V_B \quad (2)$$

Mithilfe der Volumendifferenz ΔV nach Gleichung 3 kann die Tiefe t des Tagesbruchs nach Gleichung 4 abgeschätzt werden. Dabei wird von einem zylindrischen Tagesbruch ausgegangen. [3]

$$\Delta V = (f \cdot V_B) - (V_R + V_B) \quad (3)$$

$$t = \frac{4 \cdot \Delta V}{\pi \cdot D^2} \quad (4)$$

Weiterhin muss beachtet werden, dass die Bruchentwicklung nicht immer senkrecht nach oben stattfindet. Bruchausbreitungswinkel von bis zu $\delta = 65^\circ$ sind möglich (vgl. Abbildung 2). Somit ergibt sich nach Gleichung 5 ein Durchmesser D_A des Gefährdungsbereiches, innerhalb dessen es zu einem Tagesbruch mit dem Durchmesser D kommen kann. [3]

$$D_A = d + 2 \cdot H_{\text{Gebirge}} \cdot \tan(90^\circ - \delta) \quad (5)$$

2.3 Bruchmodell nach EICHLER & HÖFGEN

Im Berechnungsmodell nach EICHLER & HÖFGEN der G.U.B. Ingenieur AG werden zwei Berechnungsfälle zur Einschätzung eines Tagesbruches aufgeführt. Hier ist der erste Berechnungsfall von Bedeutung, da dort die sich ausbildende Tagesbruchform infolge des Grundwasserwiederanstieges betrachtet wird (nach der Beendigung der Braunkohlentagebaue kommt es planmäßig zum Grundwasserwiederanstieg des für den Betrieb des Tagebaues abgesenkten Grundwassers). Es können der Tagesbruchdurchmesser und die Tagesbruchtiefe berechnet werden. [4]

Zunächst wird der Primärbruch betrachtet. Dieser breitet sich mit dem Primärbruchwinkel aus und beinhaltet das Lösen und Auflockern des Materials oberhalb des FiBr sowie das Verfüllen des offenen Anteiles des FiBr. Davon ausgehend kann das gewölbeförmige Volumen des Primärbruches V_{Pr} (vgl. Abbildung 3) unter Berücksichtigung der Auflockerung gleichgesetzt werden mit dem un-gefüllten Volumen V_{initial} der FiBr-Röhre (siehe Gleichung 6). [4]

$$V_{\text{Pr}} \cdot f = V_{\text{initial}} \quad (6)$$

In den Berechnungen wird von einem halbkugelförmigen Gewölbe ausgegangen. Die Bruchzone setzt sich in der Sekundärbruchphase nach oben in Richtung der GOF fort. Der in der Primärbruchphase entstandene Hohlraum wird durch aufgelockertes Material aus der sich entwickelnden Bruchzone verfüllt. Der Bruch gelangt bis an die Tagesoberfläche, wenn das Volumen von Primärbruch und Sekundärbruch V_{Sek} zusammen größer ist als das aufgelockerte Material des Sekundärbruches (gemäß Gleichung 7). [4]

$$V_{\text{Pr}} + V_{\text{Sek}} > V_{\text{Sek}} \cdot f \quad (7)$$

Wenn sich der Bruch senkrecht entwickelt ($\theta = 90^\circ$), dann gilt für das Sekundärbruchvolumen die Gleichung 8. Die theoretische Höhe H_{Sek} des Sekundärbruchkörpers ist die gesamte Überdeckungshöhe abzüglich der Höhe des Bruchkegels und anteilig der Höhe des gewölbeartigen Primärbruches. Das Volumendefizit ΔV berechnet sich nach Gleichung 9. [4]

$$V_{\text{Sek}} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_{\text{Sek}} \quad (8)$$

$$\Delta V = (V_{\text{Pr}} + V_{\text{Sek}}) - (V_{\text{Sek}} \cdot f) \quad (9)$$

Bedingt durch das Volumendefizit kommt es an der GOF zur Ausbildung eines Tagesbruches mit der Tiefe t innerhalb des Bruchdurchmessers D . Für $\theta = 90^\circ$ gilt die Gleichung 10. [4]

$$t = \frac{4 \cdot \Delta V}{\pi \cdot D^2} \quad (10)$$

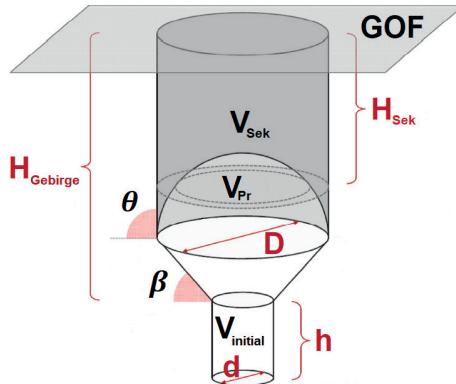


Abb. 3: Bruchmodell nach EICHLER & HÖFGEN mit den geometrischen Daten nach [4, S. 22] (überarbeitet)

Es ist zu erkennen, dass die Länge des unverfüllten FiBr maßgeblich das Primärbruchvolumen und somit den Bruchdurchmesser beeinflusst. Der Primärbruchwinkel β entspricht in etwa dem effektiven Reibungswinkel ϕ' und wurde im vorliegenden Modellansatz für Kippenböden mit $\beta = 32^\circ$ angesetzt. Er bestimmt, in welcher Höhe der Primärbruchbereich ausgebildet wird, hat aber auf die Senkung an der GOF nur einen geringen Einfluss. [4]

Die Tagesbruchtiefe wird sowohl durch das Primärbruchvolumen als auch durch die Überdeckungshöhe und die Auflockerung des Materials beeinflusst. Eine Zunahme im Primärbruchvolumen führt zu einer Vergrößerung der Tagesbruchtiefe. Eine Zunahme der Überdeckungshöhe mindert die Tagesbruchtiefe ab. [4]

3 Schadensfallrecherche

Aus dem Verantwortungsbereich der LMBV stehen sieben Schadensfälle (siehe Tabelle 1) zur Verfügung, die im Zusammenhang mit unzureichend oder nicht verfüllten FiBr stehen. Es wurden nur die Brunnen mit Ereignissen berücksichtigt, für die alle relevanten Daten zur weiteren Berechnung vorhanden sind. Hierzu zählen Informationen zur Höhenlage der GOF am Brunnenstandort, zur Teufe des Brunnens, zur Überdeckungshöhe der Brunnenoberkante mit Boden zum Zeitpunkt des Ereignisses, zum Ausbaudurchmesser des Brunnens sowie zum Ausmaß des Ereignisses.

Tab. 1: Informationen zu geotechnischen Ereignissen an FiBr im Verantwortungsbereich der LMBV nach [5], [6] und [7]

Geotechnisches Ereignis	GOK _{DHHN92}	Teufe	Überdeckung	Durchmesser FiBr-Röhre	Ausmaß Ereignis (Durchmesser, Tiefe)	
[-]	[m NHN]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	100,65	83,5	13,25	0,35	ca. 2	0,9
2	100,69	66,0	1,7	0,35	1,3	1,5
3	146,93	52,5	1,5	0,35	1,6	1,3
4	95,9	80,0	3,0	0,35	0,9*	5,0**
5	160,6	88,5	1,5	0,35	0,4	ca. 50**
6	105,2	71,0	7,53	0,35	1,5	0,8
7	-	39	5	0,35	ca. 1	-

* Es erfolgte keine Angabe eines Ereignisdurchmessers. Dieser wurde aus dem Trichtervolumen von 1,0m³ des Ereignisses rückgerechnet.

** nicht als Tagesbruchtiefe, sondern als freie Teufe im FiBr-Rohr zu interpretieren

4 Vergleich der Berechnungsmodelle mit den Schadensfällen

Die Berechnungen in den Modellen nach DYCK & HEIDLER und EICHLER & HÖFGEN wurden mit einem Bruchwinkel von 85° bzw. mit einem Primärbruchwinkel von 30° und einem Auflockerungsfaktor von 1,05 durchgeführt. Dabei wurde ein Verfüllungsgrad von 0 % (entspricht einer vollkommen unverfüllten FiBr-Röhre) angenommen. Die errechneten Tagesbruchdurchmesser und Tagesbruchtiefen wurden mit den Abmessungen der vorgefallenen Ereignisse abgeglichen (vgl. Tabelle 2).

Bezüglich des Tagesbruchdurchmessers kommt es nach DYCK & HEIDLER zu einer Überschätzung im Vergleich zu den Ereignis-Ausmaßen mit Ausnahme der Ereignisse Nr. 2, 3 und 4. Dies ist mit einer stärkeren Abweichung des aus den Felddaten ableitbaren Bruchwinkels vom angenommenen Bruchwinkel zu begründen. Die Tagesbruchtiefe wird für das Ereignis Nr. 1 leicht überschätzt. Die Überschätzung kann damit begründet werden, dass in der Berechnung die FiBr-Röhre als komplett unverfüllt angenommen wurde, wohingegen in der Realität eine Teilverfüllung zu erwarten ist. Für die weiteren FiBr wurden Tagesbruchtiefen errechnet, die die Überdeckungshöhe übersteigen und somit nicht auftreten können. Es ist davon auszugehen, dass der Tagesbruch mit der jeweiligen Geometrie von der GOF bis zur Oberkante der FiBr-Röhre reicht und in der FiBr-Röhre in Form eines Hohlraumes vorhanden ist.

Nach EICHLER & HÖFGEN wird der Tagesbruchdurchmesser in allen Fällen überschätzt, die Tagesbruchtiefe wird stets unterschätzt.

Tab. 2: Berechnungen nach DYCK & HEIDLER und EICHLER & HÖFGEN für die ausgewählten FiBr und Vergleich mit den Schadensfällen

Geotechnisches Ereignis	Tagesbruchdurchmesser nach DYCK & HEIDLER	Tagesbruchbruchtiefe nach DYCK & HEIDLER	Tagesbruchdurchmesser nach EICHLER & HÖFGEN	Tagesbruchbruchtiefe nach EICHLER & HÖFGEN	Abmaße der Ereignisse (Feldaufnahme)	
	D [m]	t [m]	D [m]	t [m]	D [m]	t [m]
1	2,67	1,22	3,08	0,44	ca. 2	0,9
2	0,65	19,26	2,85	0,94	1,3	1,5
3	0,61	17,12	2,64	0,87	1,6	1,3
4	0,87	12,75	3,04	0,94	0,9	5,0
5	0,61	28,88	3,14	1,05	0,4	ca. 50
6	1,67	3,00	2,92	0,67	1,5	0,8
7	1,22	3,10	2,39	0,61	ca. 1	-

Eine Regelmäßigkeit in der Abweichung der berechneten Parameter von den Ereignissen ist nicht zu erkennen. Es ist lediglich bei einer geringen Überdeckung (bspw. 1,5m) zu erkennen, dass diese eine auffallende Auswirkung auf die berechneten Werte hat, bspw. bei den stark überschätzten Tagesbruchtiefen nach DYCK & HEIDLER. Beide Modelle finden nebeneinander Anwendung.

5 Parameterstudie

In diesem Abschnitt wird der Einfluss der Eingangsparameter auf die Berechnungsergebnisse untersucht. Maßgebend sind dabei der Bruchwinkel (DYCK & HEIDLER) bzw. der Primärbruchwinkel (EICHLER & HÖFGEN), der Auflockerungsfaktor und der Verfüllungsgrad.

Aus der Überdeckungshöhe, dem Tagesbruchdurchmesser und dem Durchmesser der FiBr-Röhre wurden Bruchwinkel für die recherchierten Schadensfälle ermittelt. Die Bruchwinkel liegen zwischen 74° und 89° , deshalb wird diese Spanne für die Parametervariation angenommen. Für den Primärbruchwinkel wurde zwischen 25° und 37° variiert. Für den Auflockerungsfaktor wurde zwischen 1,00 und 1,06 variiert. Immer nur ein Eingangsparameter wurde verändert.

Variation des Bruchwinkels (DYCK & HEIDLER) bzw. Primärbruchwinkels (EICHLER & HÖFGEN)

Mit einem kleineren Bruchwinkel gehen größere Bruchmassen einher, die sich aufgelockert ablagern. Mit einem zunehmenden Bruchwinkel verringert sich der Tagesbruchdurchmesser und die Tagesbruchtiefe nimmt zu, wobei auch das Zusammenspiel von Bruchwinkel, Länge des FiBr, also Volumen der FiBr-Röhre, und die Überdeckungshöhe betrachtet werden muss.

Mit einem zunehmenden Primärbruchwinkel nimmt die Tagesbruchtiefe minimal zu. Einen Einfluss auf den Tagesbruchdurchmesser hat der Primärbruchwinkel nicht.

Variation des Auflockerungsfaktors

Mit einem zunehmenden Auflockerungsfaktor nimmt die Tagesbruchtiefe geringfügig ab. Je größer die Überdeckungshöhe am FiBr ist, desto größer ist der Einfluss des Auflockerungsfaktors auf-

grund des größeren Materialvolumens, das sich aufgelockert ablagern kann. Auf den Tagesbruchdurchmesser hat der Auflockerungsfaktor nur im Modell nach EICHLER & HÖFGEN einen Einfluss. Mit zunehmendem Auflockerungsfaktor wird der Tagesbruchdurchmesser geringfügig kleiner.

Variation des Verfüllungsgrades

Der Verfüllungsgrad beeinflusst die Tagesbruchtiefe. Mit zunehmender Verfüllung nimmt die Tagesbruchtiefe ab, da ein kleinerer Hohlraum vorhanden ist, der sich zur Tagesoberfläche bewegen kann. Auf den Tagesbruchdurchmesser hat der Verfüllungsgrad nur im Modell nach EICHLER & HÖFGEN einen Einfluss. Mit zunehmender Verfüllung der FiBr-Röhre nimmt der Tagesbruchdurchmesser ab.

Die Variation der Eingangsparameter macht darauf aufmerksam, dass neben dem Verfüllungsgrad im Modell nach DYCK & HEIDLER der Bruchwinkel und im Modell nach EICHLER & HÖFGEN der Auflockerungsfaktor bzw. die unverfüllte Rohr-Länge von Bedeutung sind. Eine Anpassung der Berechnungsverfahren wird aufgrund fehlender Tendenzen im Vergleich zwischen berechneten Abmaßen und Ereignis-Abmaßen nicht vorgeschlagen. Zudem ist die Datengrundlage (Anzahl geotechnischer Ereignisse) für eine Kalibrierung der Modelle zu gering.

6 Entwicklung von Nomogrammen

Anhand der beiden Berechnungsmodelle wurden Nomogramme aufgestellt, aus denen abgelesen werden kann, ab wann bei einem FiBr, der unzureichend verfüllt wurde, Handlungsbedarf besteht. Dafür wurden vier theoretische FiBr mit den Längen 4,5 m, 35 m, 70 m und 100 m und einem Durchmesser von 350 mm betrachtet. Mit einem Bruchwinkel von 85° bzw. mit einem Primärbruchwinkel von 30° , einem Auflockerungsfaktor von 1,05 und einem Verfüllungsgrad von 0 % kann somit über die Überdeckungshöhe die Tagesbruchtiefe aufgetragen werden. In den Nomogrammen ist eine Linie bei 3 m Tiefe aufgetragen, da im Verantwortungsbereich der LMBV bis zu dieser Tiefe Suchschürfe zum Auffinden von FiBr durchgeführt werden. Erst danach ist es von Interesse einen möglichen Tagesbruch über einem FiBr zu betrachten. Das maximale vertikale zulässige Versatzmaß (0,5 m) beschreibt im Verantwortungsbereich der LMBV die zu akzeptierende Tiefe in infrastrukturell nicht stark beanspruchten Gebieten (nur land- und forstwirtschaftliche Nutzung), die nicht überschritten werden darf. Es wird die Überdeckungshöhe ermittelt, bei der ein Aufsuchen und (Nach-)Verfahren des FiBr nicht mehr notwendig ist.

In diesem Zusammenhang kann erneut der Einfluss von Bruchwinkel und Auflockerungsfaktor auf die Tagesbruchtiefe untersucht werden. Dabei fällt auf, dass die Werte einen direkten Einfluss auf die Überdeckungshöhe haben, bei der das maximal zulässige vertikale Versatzmaß unterschritten wird.

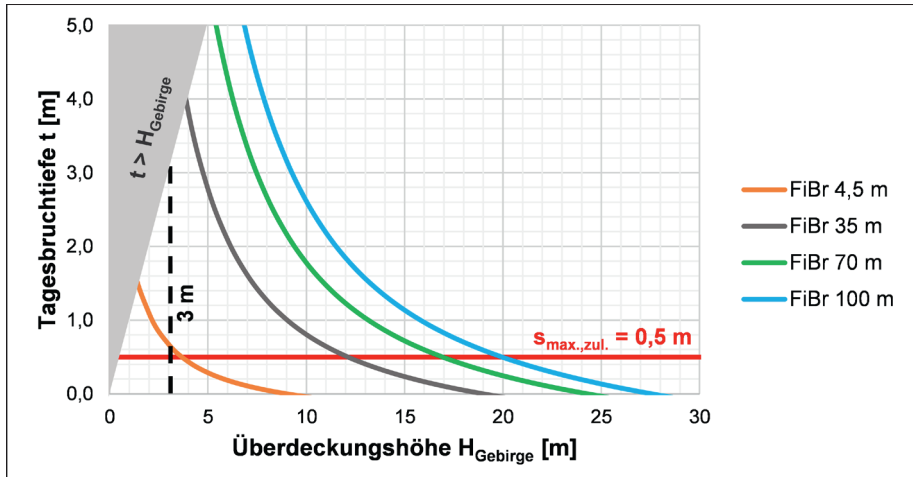


Abb. 4: Tagesbruchtiefen in Abhängigkeit der Überdeckungshöhe für verschiedene FiBr nach DYCK & HEIDLER ($f = 1,05$, $\theta = 85^\circ$, DN 350 mm)

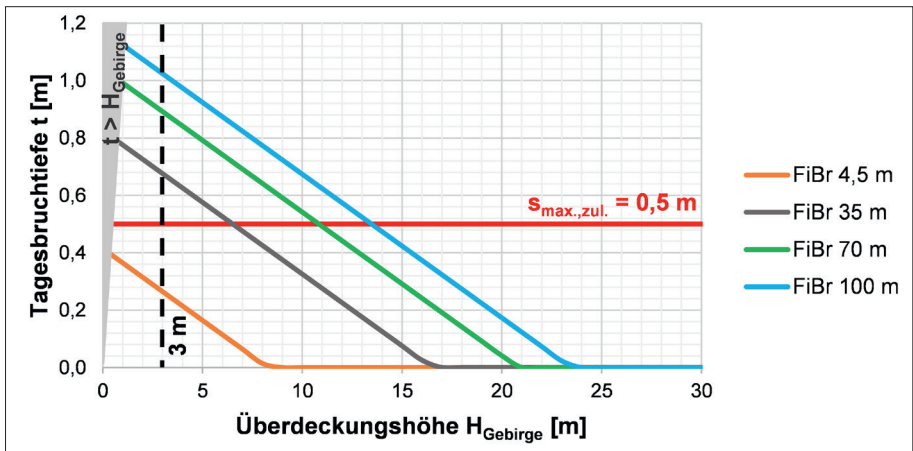


Abb. 5: Tagesbruchtiefen in Abhängigkeit der Überdeckungshöhe für verschiedene FiBr nach EICHLER & HÖFGEN ($f = 1,05$, $\beta = 30^\circ$, DN 350 mm)

7 Schlussfolgerung

In der Literaturrecherche wurden insgesamt dreizehn Modelle recherchiert. Dabei wurden zwei Modelle ermittelt, die die vorliegenden Anwendungsvoraussetzungen erfüllen und für die Tagesbruchabschätzung an FiBr geeignet sind. Ein Vergleich von berechneten Tagesbruchtiefen und Tagesbruchdurchmessern mit den Schadensfällen ergibt eine akzeptable Übereinstimmung unter der Berücksichtigung der Anzahl der Schadensfälle. Mithilfe der Parametervariation konnte keine Anpassung der Modelle vorgenommen werden. Allerdings wurde eine Möglichkeit

(Aufstellung von Nomogrammen) vorgestellt, wie die beiden Modelle hinsichtlich der zu erwarteten Tagesbruchtiefen bei bekannter FiBr-Länge und Überdeckungshöhe an FiBr nutzbar sind. Im Rahmen des Projektes wurden weitere Möglichkeiten zur Optimierung der Vorgehensweise geprüft und entwickelt [1].

Wir danken der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) für die Finanzierung und Unterstützung der vorgestellten Untersuchungen.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] ROSENZWEIG, T.; KÜHNE, A.: „Studie – Optimierung der Filterbrunnenverwahrung/-sicherung“, Bericht (unveröffentlicht), Technische Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg, 2023.
- [2] KATZENBACH, R.: „Grundsatzstudie Alternativvarianten – Rückbauverfahren unsicher verwahrter Filterbrunnen“, Bericht (unveröffentlicht), Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Katzenbach GmbH, Darmstadt, 2021.
- [3] DYCK, A.; HEIDLER, J.: „Geotechnische Untersuchung – Auswirkung teilweise unverwahrter Filterbrunnen auf die Tagesoberfläche“, Bericht (unveröffentlicht), FCB Fachbüro für Consulting und Bodenmechanik GmbH, Espenhain, 2005.
- [4] EICHLER, R. A.; HÖFGEN, A.: „Geotechnische Stellungnahme zur Tagesbruchgefahr durch unverwahrte Filterbrunnen und Grundwassermessstellen im westlichen Innenkippenbereich des Tagebaus Jänschwalde“, Bericht (unveröffentlicht), G.U.B. Ingenieur AG, Berlin, 2015.
- [5] LMBV: „2022-09-02_Auftrag 42404 – DB geotechn. Ereignisse_Fibr+GWM“, Excel-Datei mit Daten zu Filterbrunnen (unveröffentlicht), Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH, Senftenberg, 2022.
- [6] WALKO, M.: „Tagesbrüche FiBr“, E-Mail vom 27.03.2023, Übergebene Daten zu Schadensfällen an Filterbrunnen (unveröffentlicht), Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH, Senftenberg, 2023.
- [7] LMBV: „Protokoll über eine Konsultation des SfB zur Problematik Sicherung von Filterbrunnen im Bereich des ehemaligen Sicherheitspfeilers Nord RL Störmthal am 05.08.2004“, Geotechnik Mitteldeutschland, Beratungsprotokoll (unveröffentlicht), Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH, Espenhain, 2004.



EFTAS.GeoIT

GENAU FÜR IHRE WELT

Wir kombinieren mit Unternehmen der Montanindustrie die terrestrische Vermessung und die Auswertung von Luft- und Satellitendaten. EFTAS ist Partner im EIT RawMaterials-Netzwerk der Europäischen Union. Eine Kernexpertise ist die Analyse von Radar-Satellitendaten für das Bodenbewegungsmonitoring. Drei Anwendungsbeispiele aus dem Bergbaulebenszyklus:

Exploration in NEXT



Betriebsüberwachung in STINGS



Nachbergbau in i2Mon



Monitoring im Kavernenfeld Epe

Andreas Mütterthies¹, Sebastian Teuwsen¹, Tobias Rudolph²

¹EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Münster

²Forschungszentrum Nachbergbau, Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum

ZUSAMMENFASSUNG:

Die integrierte Geo- und Umweltüberwachung bei der Bereitstellung von Georessourcen stellt eine hochdimensionale Herausforderung dar (Ort, Höhe/Tiefe, Zeit, Sensoren). Dieser Prozess ist bereits für Experten eine Herausforderung, stellt aber eine Vielzahl von Stakeholdern und Betroffenen vor große Probleme, hier ein vollständiges Prozessverständnis aufzubauen. Die Forschungskooperation Epe hat sich zum Ziel gesetzt, die Bodenbewegungen am Kavernenspeicher Epe durch einen öffentlichen Beteiligungsprozess erklärbar zu machen und Transparenz über die Einflussfaktoren der Bodenbewegungen herzustellen. Zu diesem Zweck wurde die Forschungskooperation von der Stadt Gronau, der Bürgerinitiative Kavernenfeld Epe e.V., der Firma EFTAS GmbH, Münster und dem Forschungszentrum Nachbergbau (FZN) der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA), Bochum gegründet. Darüber hinaus wird dieses Projekt von den Betreibern im Kavernenfeld unterstützt.

In der Forschungskooperation werden das markscheiderische Risswerk mit den Ergebnissen der flächenhaften Radarinterferometrie (SBAS-Methode) und mit den vor Ort verfügbaren öffentlichen Geodaten zusammengeführt, um ein erweitertes Gesamtbild zu erhalten. Gleichzeitig wird diese technische Arbeit von einem Bürgerbeteiligungsprozess begleitet. Die Ergebnisse zeigen, dass neben den bergbaubedingten Bodenbewegungen auch andere Prozesse die Bewegung der Tagesoberfläche, insbesondere am Rande des Bergbaueinflussgebietes, beeinflussen.

Die wissenschaftlich-neutrale Forschungskooperation stellt somit eine direkte Zusammenführung der unterschiedlichsten Beteiligten an einem bergbaubezogenen Projekt dar. Mit den eingesetzten Werkzeugen entwickelt sich das bergmännisch-vermessungstechnische Monitoring zu einem integrierten Geo- und Umweltmonitoring mit der Entwicklung eines erweiterten, transparenten Prozessverständnisses.

ABSTRACT:

Integrated geo- and environmental monitoring in the provision of geo-resources represents a high-dimensional challenge (location, altitude/depth, time, sensors). This process is already challenging for experts, but poses major problems for a multitude of stakeholders and affected parties to build up a complete understanding of the process here.

The research cooperation Epe has the goal to make the ground movement at the cavern storage Epe explainable with a public participation process and to build transparency in the influencing factors of the ground movements. For this purpose, the research cooperation was

founded by the City of Gronau, the citizens' initiative Kavernenfeld Epe e.V., the company EFTAS GmbH, Münster and the Research Center of Post-Mining of the Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum. In addition, this project is supported by the operators in the cavern field.

In the research cooperation, the mine survey maps will be merged with the results of the areal radar interferometry (SBAS method) and with the public geodata available on site in order to obtain an extended overall picture. At the same time, this technical work is accompanied by a public participation process. The results show that, in addition to mining-induced ground motion, other processes influence the movement of the day surface, especially at the edge of the mining impact area.

The scientific-neutral research cooperation thus represents a direct bringing together of the most diverse participants in a mining-related project. With the applied tools, the mine surveying-technical monitoring develops towards an integrated geo- and environmental monitoring with the development of an extended, transparent process understanding.

1 Einleitung

Die Bereitstellung von Georessourcen stellt einen Eingriff in Natur und Umwelt dar, bei dem der Eingriff und die Folgen an der Oberfläche sichtbar werden. Im Falle der unterirdischen Gasspeicherung ist die Bereitstellung jedoch nur teilweise sichtbar. Bergbauvermessung, Geo- und Umweltmonitoring dienen der technischen Überwachung und dem Aufbau eines Verständnisses des Prozesses und unterstützen damit die Öffentlichkeitsbeteiligung. Dieser Prozess der Öffentlichkeitsbeteiligung geht über eine einfache Kommunikation („Kommunikation der Ergebnisse“) hinaus und stellt eine multilaterale Beteiligung der verschiedenen Interessengruppen dar.

2 Das Kavernenfeld Epe – Öffentliche Wahrnehmung

Das ländliche und ehemalige Moorgebiet des Kavernenfeldes Epe befindet sich im Nordwesten Nordrhein-Westfalens im deutsch-niederländischen Grenzgebiet zwischen Gronau (D) und Enschede (NL). Am 24. Juli 1964 wurde die Bohrung Epe-1 abgeteuft und das Zechsteinsalz entdeckt (Abbildung 1). Die Salzschrift wurde daraufhin erschlossen und wird heute zur untertägigen Solegewinnung und Produktspeicherung (Erdgas, Helium, Wasserstoff) in mehr als 114 Kavernen genutzt. Die bergbaubedingten Bodenbewegungen im Kavernenfeld verlaufen sehr langsam und gleichmäßig, wobei ein jahreszeitlicher Überdruck erkennbar ist (Entnahme, Injektion, Wetter).

Am 12. April 2014 ereignete sich beim Betrieb des Kavernenfeldes ein schwerer Betriebsunfall, der Schäden an Natur und Umwelt verursachte (BezReg 2014). Dieser Unfall löste eine breite öffentliche Diskussion über die Überwachung von Kavernenspeichern und die Bodenbewegung aus. Der gesamte Prozess wird von der örtlichen Bürgerinitiative „BI-Kavernenfeld Epe e.V.“ aufmerksam verfolgt.

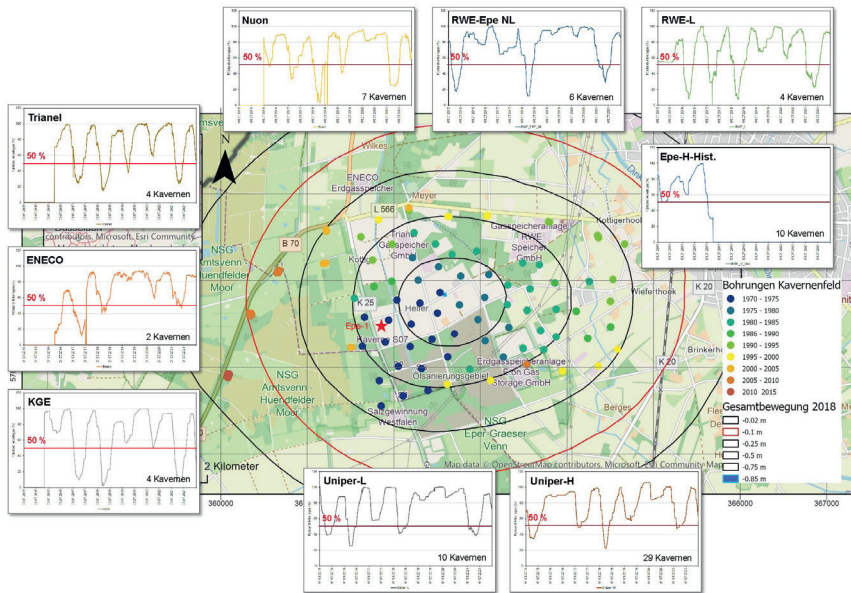


Abb. 1: Lage des Kavernenfeldes und seiner Senkungsmulde sowie Betriebsdaten (grobe Lage) (AGSI+ 2022, SGW 2018).

Aus dieser öffentlichen Diskussion ist die „Forschungsk Kooperation Epe“ mit den Kooperationspartnern Stadt Gronau, BI-Kavernenfeld e.V., EFTAS GmbH, Münster und dem Forschungszentrum Nachbergbau (FZN) der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA), Bochum entstanden. Im Ausschuss für Mobilität, Umwelt und Klimaschutz (A-MUK) wurde eine Entscheidung verabschiedet, die von den Vertretern einstimmig angenommen wurde und folgende Ziele verfolgt:

1. Vertiefung des technischen Verständnisses von Bohrlochbergbau und Untertagespeicherung im Zusammenhang mit Bodenbewegungen und der Ermittlung des Einwirkungsgebietes
2. Einsatz von Methoden der Radar-Satelliten-Fernerkundung (EU-Copernicus-Programm) zur Erhöhung der flächenhaften Beobachtungshäufigkeit sowie der retrospektiven Zeitreihenanalyse unter Verwendung der Dokumentation des Markscheiders, GNSS-Messungen von Geobasis NRW, offener Geodaten (z.B. Geobasis NRW, Geoportal NRW) sowie Analysen vor Ort
3. Integriertes Verständnis der Bodenbewegungen am Rande der Senkungsmulde
4. Entwicklung eines Verständnisses der hydrologischen und hydrogeologischen Entwicklung des Kavernenfeldes, insbesondere unter dem Gesichtspunkt des Hochwasserschutzes in der Senkungsmulde
5. Zusammenführung von Kompetenzen, Akteuren und Bürgern für die Analyse vor Ort und den Wissenschaftstransfer
6. Wissenschaftlich-technische und unabhängige Bearbeitung der Fragestellungen.

3 Öffentliche Beteiligung

Gesellschaftliches Vertrauen – insbesondere in die Wissenschaft – ist ein wertvolles Gut, das aufgebaut und kontinuierlich erhalten werden sollte. Dies gilt insbesondere bei Projekten des Bergbaulebenszyklus mit einem Einfluss auf Natur und Umwelt bei gleichzeitigem Wandel der gesellschaftlichen Wahrnehmung sowie der schnellen Verfügbarkeit von Informationen (über das Internet, soziale Medien). Dies machte es notwendig, aktiv Transfermaßnahmen aufzubauen, um Verständnis für die wissenschaftliche Arbeitsweise und die erzielten Ergebnisse zu erzeugen und das soziale und subjektive Vertrauen der Bürger zu erhalten. Die Herausforderungen lagen primär vor allem in der Vermittlung wissenschaftlicher und technischer Inhalte an die Zielgruppe der Bürgerinnen und Bürger mit ihren unterschiedlichen Bedürfnissen und Erfahrungen sowie der Meinungsbildung. Das sekundäre Ziel war es, ein Verständnis zu wecken, das eine faktenbasierte Bewertung der vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Entwicklungen der Kavernennutzung ermöglicht.

Als wesentliches Bindeglied wurde eine Website (www.monitoring-epe.de) eingerichtet, um die Inhalte, die Termine und die Ergebnisse der Forschungskooperation offen zu kommunizieren. Auch eine sehr aktive Pressearbeit wurde aufgebaut (Abbildung 2). Auf diese Weise wird Transparenz für die untertägigen Prozesse erreicht und Vertrauen aufgebaut. Als wichtiges Instrument für die Beteiligung enthielt die Website ein WebGIS mit öffentlich zugänglichen und offiziellen Geodaten und eine öffentliche Umfrage zur Einreichung von Fragen und Anmerkungen.

Auch die Folgen des Klimawandels spielen hier eine wichtige Rolle. Die Gründe für die Bodenbewegungen, die zu möglichen Schäden an Gebäuden führen können, sind:

1. Kavernenbetrieb unter Tage (bergbaubedingt)
2. Die Restmoorflächen des Amtsvenn- und Hündtfelder-Moores mit den teilweise abgetorften und landwirtschaftlich genutzten Flächen
3. Starke Schwankungen des Grundwasserspiegels
4. Zersetzung der Biomasse durch Luftzufuhr zum Boden
5. Ehemalige Auenbereiche entlang der Vorfluter mit Wasserstandsschwankungen
6. Örtlich sehr unterschiedlich entwickelte, setzungsempfindliche Böden mit starker Neigung zur Staunässebildung
7. Alte Streusiedlungen, z.T. >60 Jahre alt, mit moderner Aufwertung von Gebäudehüllen und Erweiterungen.

4 Erfolgsgeschichte Geomonitoring

Der integrierte Arbeitsablauf aus Nachbergbauprojekten mit der Auswertung der Grubenvermessungen, der verfügbaren, öffentlichen Geodaten sowie einer umfangreichen Internet- und Literaturrecherche ergab eine Überlagerung verschiedener Effekte, die Bodenbewegungen im Bereich des Kavernenfeldes Epe auslösen können (Abbildung 2).

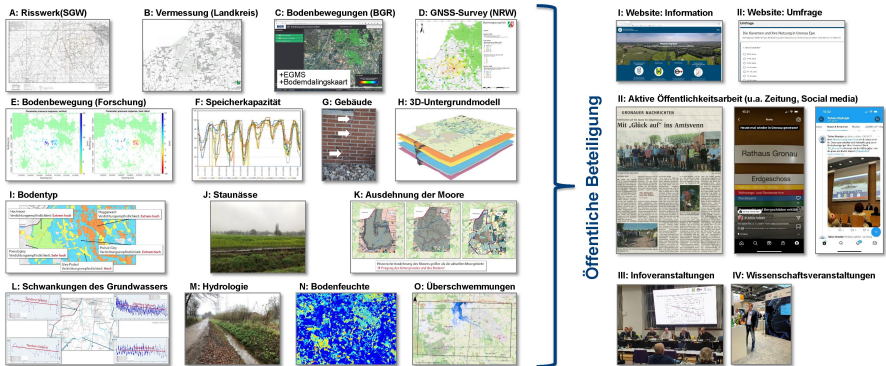


Abb. 2: Präsentation der Ergebnisse der Geodatenfusion (AGSI+ 2022, Biologische Station Zwillbrock 2010, BBD 2023, ELWAS 2022, EO-Browser 2022, Geobasis NRW 2022, GeoPortal 2022, SGW 2018, SUBI 2022, Theis 2020).

5 Zusammenfassung

Die Gewinnung von Sole und die unterirdische Lagerung von chemischen Produkten stellen einen Eingriff in die Natur und die Umwelt dar und haben somit direkte Auswirkungen auf die Oberfläche und die Öffentlichkeit. In dieser Hinsicht stellt der Bohrlochbergbau einen Sonderfall dar, da die Prozesse unter Tage stattfinden und daher nicht sichtbar sind. Lediglich die Auswirkungen an der Oberfläche, wie z. B. Bodenbewegungen, stellen einen sichtbaren Effekt dar, der unmittelbare Veränderungen an Gebäuden und Infrastruktur oder sogar an Gewässern auslösen kann.

Die veränderte öffentliche Wahrnehmung, der Klimawandel, aber auch die veränderte Notwendigkeit, die Versorgungssicherheit Deutschlands zu gewährleisten, machen neben der klassischen, bergmännischen Vermessung erweiterte Geo- und Umweltmonitorings und intensive Beteiligungsformate notwendig. Diese Öffentlichkeitsbeteiligung ermöglicht es, Transparenz in diese komplexen geowissenschaftlich-technischen Prozesse zu bringen, um die untertägige Raumnutzung belastbarer zu machen.

Die Auswertung der verfügbaren Geodaten für das Kavernenfeld Epe zeigt, dass die geowissenschaftlich-technische Situation hier komplex ist. Ein Teil des Kavernenfeldes ist mit einer Moorfläche und Böden mit hohem organischen Anteil bedeckt. Die Böden sind sehr empfindlich gegenüber Setzungen. Gleichzeitig ist der Grundwasserspiegel sehr niedrig und die starken Grundwasserstandsschwankungen führen zu Auftriebsverlusten und Zersetzungen im Boden, was wiederum Bodenbewegungen auslöst.

Die räumliche Radarinterferometrie (SBAS) ist eine wichtige Ergänzung zur Bodenbewegung in der Bergwerksvermessung. Die Anwendung dieser Methode lieferte räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Bodenbewegungen und ermöglichte es, die Einflussgrößen der Bodenbewegung für das Kavernenfeld Epe klar zu trennen (Abbildung 3). So zeigen die Ergebnisse der Zeitreihenanalyse den direkten Einfluss der veränderten Niederschlags- und Bodenarten.

Der Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung 6, Bergbau und Energie in NRW, der Bezirksregierung Köln, Geobasis NRW sowie dem Kreis Borken – FB62 Geoinformation und Liegenschaftskataster sei für die Begleitung im Prozess gedankt.

Dem Vorsitzenden des Ausschusses für Mobilität, Umwelt und Klimaschutz im Rat der Stadt Gronau Herrn Josef Krefter und dem stellvertretenden Vorsitzenden Herrn Wolfgang Rövekamp ist für die Zusammenarbeit im Lenkungsausschuss gedankt.

Ein besonderer Dank gilt der Herrn Markscheider Stefan Meyer von der Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen mbH für den fachlichen Austausch, die Bereitstellung von Datensätzen und die Befahrung der Anlage. Den verschiedenen Betreibern von Gasspeichern im Kavernenfeld und Ihren Mitgliedern in der Betreiberrunde sei ebenfalls für die vielfältigen Diskussionen gedankt. Insbesondere gilt hier der Dank Herrn Jost Müller und seinen Kolleg:innen von Uniper Energy Storage GmbH für die Möglichkeit der Befahrung der Kavernenanlage.

LITERATURVERZEICHNIS

- AGSI+ (2022): Aggregated Gas Storage Inventory – Remit Storage Data; <https://agsi.gie.eu/#/>; 4. September 2023
- BezReg (2015): Jahresbericht 2014 der Bergbehörden des Landes Nordrhein-Westfalen. – 140 S.; https://www.bra.nrw.de/system/files/media/document/file/jahresbericht_2014_berg.pdf; 4. September 2023
- Biologische Station Zwillbrock (2010): Schutz für Moor und Heide – Die Naturschutzgebiete Amtsvenn und Hündfelder Moor. 2. S.; <https://www.bszwillbrock.de/fileadmin/dateiverzeichnis/wir/publikationen/amtsvennflyer.pdf>, 17. March 2010
- BBD (2023): BodenBewegungsdienst Deutschland.; <https://bodenbewegungsdienst.bgr.de/>; 4. September 2023
- ELWAS (2022): Fachinformationssystem ELWAS für die Wasserwirtschaftsverwaltung in NRW; <https://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.xhtml>; 4. September 2023
- EO Browser (2022): Sentinel Hub; <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>; 4. September 2023
- Geobasis NRW (2022): Produkte und Dienstleistungen; https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/wir-ueber-uns/index.html; 4. September 2023
- Geoportal NRW (2022): Webservice Geodaten NRW; <https://www.geoportal.nrw/>; 4. September 2023
- SGW (2018): Salzbergwerk Epe / Untergrundspeicher – Bodenbewegungsriss Gesamtsenkung 1972 – 2018. Karte im Maßstab 1:10.000
- SUBI (2022): SUBI – Safety of Underground Gas Storage Sites – Sicherheit von Untertagespeichern bei zyklischer Belastung: Funktionalität, Integrität und Überwachung von Speichern und Bohrungen; <https://www.subi-ugs.de/index.php>, 4. September 2023
- Theis, K.-P. (2020): Bodenbewegung im Bereich der SGW in Gronau Epe – 17.08.2020 Ausschuss für Verkehr, Energie und Tierschutz der Stadt Gronau, https://gronau.ratsinfomanagement.net/tops/?__=UGhVM-0hpd2NXNfFcExjZX-c0a0xSEAOmcl7Mb_AOOg, 4. September 2023

Grundlagen und Grenzen der Modellbildung

Maria-Theresia Schafmeister

Universität Greifswald

ZUSAMMENFASSUNG:

Die Dynamik von Grubenwasseranstiegen in stillgelegten Steinkohlenbergwerken ist in vielen Fällen ein wenig bekannter Prozess, da ehemalige Schächte verfüllt werden und Langzeit-Monitoringinstrumente fehlen. Gleichzeitig ist es für die Wasserhaltung des Nachbergbaus von großer Wichtigkeit den Grubenwasseranstieg quantifizieren zu können, um einen unkontrollierten Anstieg verbunden mit einer Infiltration in oberflächennahe Trinkwasservorkommen frühzeitig unterbinden zu können. In der Vergangenheit wurden verschiedene numerische Modellansätze entwickelt, um den Grubenwasseranstieg quantitative abzubilden und mögliche Entwicklungen prognostizieren zu können.

In der Praxis wird häufig ein Volumenbilanzansatz (pond-and-pipe) angewendet. Diese Methode entspricht numerisch einem Finite-Volumen Modell, das eine Minimierung von Modellvolumina zugunsten der Integration einer Vielzahl von Bergwerken bzw. hydraulisch getrennter Bergwerksbereiche ermöglicht. Die Dynamik des Grubenwasseranstiegs ergibt sich schließlich aus der Differenz der Zu- und Abflüsse in das Grubengebäude bezogen auf das berechnete Resthohlraumvolumen. Mit einem solchen Modell kann der Wasserstand im Grubengebäude und die Anstiegskurve relativ gut angenähert werden. Dieser Ansatz erweist sich als geeignet für eine auf das Bergwerk an sich fokussierte Betrachtung.

Für die umfassendere Sichtweise, bei der das Bergwerk im Zusammenhang mit dem hydrodynamischen Geschehen in Nebengestein, Deckschichten und Oberflächengewässer von Interesse ist, bieten sich Modellvarianten an, welche einen Modellraum mit einer höher aufgelösten, kontinuierlichen Diskretisierung beschreiben. Finite-Elemente Modelle bieten die Möglichkeit, das Grubengebäude, geologische Hohlräume und das Nebengestein gleichermaßen in den jeweils relevanten Skalenbereichen zu diskretisieren. Solche Modelle müssen räumlich hochauflösend hydraulisch parametrisiert werden und benötigen eine wesentlich breitere Datenbasis, um verlässliche Modellprognosen erstellen zu können.

Neben der Prognose des hydrodynamischen Geschehens und der anfallenden Grubenwassermengen, ist es wichtig, mögliche (Schad-)Stofffrachten zu quantifizieren. Diese umfassen eingetragene gelöste Inhaltsstoffe ebenso wie solche, die aus Gesteins-Wasserwechselwirkungsprozessen resultieren. Dies Prozesse können mit Hilfe von reaktiven Stofftransportmodellen realistisch abgebildet werden.

Der Beitrag zeigt anhand von zwei Beispielen die Möglichkeiten und Grenzen der numerischen Modellierung von Mengenflüssen (FEFLOW) und Beschaffenheit (TOUGHREACT) von Grubenwasser.

LITERATURVERZEICHNIS:

Schafmeister, MT., Steffen, M., Zeissler, KO. et al. Extension variance: an early geostatistical concept applied to assess nitrate pollution in groundwater. *Hydrogeol J* (2023). <https://doi.org/10.1007/s10040-023-02666-x>

Schafmeister M.-Th: High-level radioactive waste repository: How Geology combined with societal principles can lead to public acceptance—the German experiment .- *Comptes Rendus. Géoscience*, Volume 355 p. 1-15, (2023)

Auf unsere Stärken bauen



Keller Grundbau GmbH
Mausegatt 45-47
44866 Bochum
Deutschland

Telefon +49 69 8051100

Wir verwirklichen Lösungen für Ihre Baugrund-, Gründungs- und Grundwasserprobleme. Komplexe Grundbauaufgaben wickeln wir gerne ab und greifen dabei auf selbst entwickelte Verfahren und eine breite Palette moderner Technologien zurück.

Fragen Sie uns, wir beraten Sie gern!

info.de@keller.com

www.kellergrundbau.de

Stabilisieren von Lockermassenfüllsäulen in alten Bergbauschächten – wie geht es noch effektiver?

Rainer Scherbeck¹, Tobias Bobka², Michael Thorquindt²

¹TABERG Ingenieure GmbH, Lünen

²Masterstudiengang „Geotechnik und Bergbau“, THGA Bochum

ZUSAMMENFASSUNG

Die bohrtechnische Stabilisierung von Lockermassenfüllsäulen unter Einsatz von Verfüll-, Verpress- und Injektionstechniken stellt oftmals die einzige Möglichkeit, eine Schachtfüllung standsicher zu gestalten (z.B. bei tonnlägigen Schächten). Die Mengenprognose der dabei einzusetzen den Baustoffmassen vor und die Einschätzung des erreichbaren Standsicherheitszustandes nach der Verfüllung sind oftmals schwierig bis unbefriedigend. Größere Massenverluste zur Teufe sind häufig hinzunehmen und beinhalten dadurch ein erhebliches wirtschaftliches Risiko. Abhilfe können Bauverfahren schaffen, die neben den Effekten der Porenraumverfüllung gleichzeitig die Verdichtung der mineralischen Füllung bewirken und damit die Füllung zusätzlich verspannen und größere Materialverluste zur Teufe verhindern bzw. eingrenzen. Praktisch umsetzen lässt sich dieser Ansatz durch die Verwendung einer hochviskosen Baustoffsuspension (Dickstoff), die den Porenraum kaum penetriert und das Korngerüst zusammenschiebt und damit verdichtet.

Im Beitrag werden – neben dem Verfahrensablauf – insbesondere Projekterfahrungen aus den letzten Jahren vorgestellt, um die Effektivität einer Dickstoffverpressung zu belegen. Gleichzeitig wird ein Standsicherheitsnachweis skizziert, der die durch eine Dickstoffverpressung erreichbaren Verspannungseffekte quantifiziert.

ABSTRACT:

Stabilization of mineral filled abandoned mining shafts based on drilling technique with injection of cement based grout inhibits an appropriate way to receive full stability of the shaft body. In many cases the forecast of grout consume is difficult due to gravity induced behaviour of liquid grout. Furthermore, there is no satisfying approach available to calculate sliding safety of stabilized mass.

This paper introduces an injection process giving additional safety due to compacting and prestressing the fill horizontally. This effect can be activated in practice when using an highly viscous cement-based suspension available e.g. from geotechnical ground improvement market. As well, an empirical approach to calculate the prestress-effect is introduced and proofed giving realized prestresses in some shaft stabilization projects executed during the last years.

1 Einleitung

Um die Stabilität von Lockermassenfüllungen alter Tiefbauschächte wieder herzustellen bzw. zu erhalten, haben sich in der Vergangenheit insbesondere bohrtechnische Herangehensweisen bewährt (siehe /1/ und /2/). Hierbei wird die vorhandene Füllung durch das Einpressen einer hydraulisch abbindenden Baustoffsuspension (aus Zement oder einem Dämmerbaustoff) in den Porenraum des Füllsäulenmaterials stabilisiert. Bei diesen Injektionsverfahren wird – ebenso wie bei einer kohäsiven Füllung – stets vorausgesetzt, dass eine einwandfreie Bettung des vorhandenen Schachtausbaus im umgebenden Gebirge vorliegt, um die erdstatische Wirkung zu aktivieren.

Problematisch bei diesen Verfahren ist üblicherweise das schwerkraftbedingte und weitgehend unkontrollierte Abfließen der Baustoffsuspension bis weit unter die eigentliche Sicherungsendteufe. Ein Materialeinsatz mit einem Mehrfachen des zu bearbeitenden Schachtvolumens ist nicht ungewöhnlich. Um diesem planerisch, bautechnisch und wirtschaftlich unbefriedigenden Verhalten einer niedrig viskosen, aber gut verarbeitbaren Baustoffsuspension entgegenzuwirken, wurde Mitte der 2000er Jahre das Bullflex-Schachtsicherungsverfahren entwickelt (siehe /3/ bis /5/), das auf bewährten Bohr- und Injektionstechniken beruht. Das Grundprinzip dieses Vorgehens besteht darin, die vorhandene Füllsäule zusätzlich durch laterale Verdrängung zu verdichten und damit die horizontale Verspannung zur Schachtwandung zielgerichtet zu erhöhen. Die Verdrängung wird dabei durch das druckbeaufschlagte Auffüllen von geotextilen Bullflex-Schläuchen (Nenndurchmesser bis 1,2 m) erzielt, die über Bohrungen eingebracht werden und sich beim druckhaften Befüllen lateral ausdehnen, wodurch eine entsprechende Horizontalspannung induziert wird. Anschließend wird die vorverdichtete Füllsäule zwischen den suspensions-befüllten Bullflex-Schläuchen und dem Schachtausbau mit einem hydraulisch abbindenden Baustoff verpresst, so dass ein kompakter Füllsäulenabschnitt entsteht. Die verdichtungsinduzierte Vorspannung der befüllten Bullflex-Schläuche wird anschließend durch die Porenrauminjektion dauerhaft fixiert. Die laterale Verspannung bewirkt eine Erhöhung der Mantelreibung zwischen Füllsäule und Schachtausbau, so dass die Standsicherheit des stabilisierten Füllsäulenabschnittes (Gleitsicherheit, siehe Kapitel 3) ebenfalls entsprechend erhöht wird. Eigene Erfahrungen deuten darauf hin, dass die Einsatzfähigkeit des Bullflex-Verfahrens bei vorhandener schafkantiger Füllung im Schacht stark eingeschränkt ist.

Eine alternative Vorgehensweise, um eine Lockermassenfüllsäule gezielt lateral zu verspannen und zu stabilisieren besteht darin, auf die geotextile Bullflex-Druckfläche zu verzichten und den Verschiebungs- bzw. Verdichtungseffekt durch die Wahl eines dazu geeigneten Verpressmaterials zu erzeugen. Von der Fa. Keller Grundbau wird ein entsprechendes, patentrechtlich geschütztes Verfahren unter dem Namen „Compaction Grouting“ in der geotechnischen Ausführungspraxis seit geraumer Zeit angewendet /6/. Erste Anwendungen bei der Stabilisierung von Füllsäulen alter Bergbauschächte unter Verwendung eines Verpressmörtels liegen bereits vor (siehe /7/ und /8/) und werden bei der weiteren Bewertung mit betrachtet.

Unabhängig von diesem geschützten Bauverfahren lässt sich auf Grundlage verfügbarer Verpressmaterialien, die hochviskos verarbeitet werden, und den besonderen Gerätschaften (Mörtelpumpen) eine allgemein nutzbare technische Herangehensweise beschreiben. Dieses Vorgehen wird im Weiteren unter der Sammelbezeichnung „Dickstoffverpressung“ ausführlich vorgestellt. Es werden zunächst eigene praktische Erfahrungen aus der Bearbeitung von Schachtfüllsäulen mit der

Dickstoffverpressung vorgestellt. Abschließend wird ein Berechnungsverfahren erläutert, mit dem die stabilisierende Wirkung einer Dickstoffverpressung für die Verwahrungspraxis abgeschätzt werden kann.

2 Was ist überhaupt eine Dickstoffverpressung?

2.1 Material- und Verfahrensbeschreibung

Im Vergleich zu anderen Baustoffsuspensionen auf Basis von Dämmen bzw. Zement, die üblicherweise in einem nahezu flüssigen Zustand ($W/F > 0,8$) verarbeitet werden, ist der Dickstoff deutlich ($W/F > 0,2$) pastöser und entfernt sich kaum von der Eintrittsstelle, wie der Ausgießversuch in Abb. 1 illustriert. Er erreicht weiter entfernte Porenräume nicht so gut wie die o.g. Baustoffsuspensionen, sondern füllt das direkt am Austrittspunkt verfügbare Porenvolumen aus, ohne es weiter zu penetrieren. Tendenziell verschiebt der Dickstoff aber das vorhandene Korngerüst in Verbindung mit der externen Druckkulisser und verdichtet dadurch das anstehende Füllsäulenmaterial.



Abb. 1: Eigener Ausschüttversuch mit einem Dickstoff (Skala in [cm])

Angeboten wird der Dickstoff als Trockenbaustoff, der vor Ort auf der Baustelle durch Wasserzugabe angemischt wird (z.B. Trockenbaustoff gemäß /9/). Verarbeitet werden üblicherweise Produkte des Herstellers HeidelbergCement (Produkte HT10 bzw. HT33 zur Hinterfüllung von Streckenbegleitdämmen im Bergbau entwickelt bzw. Mörtelmischung). Beispielsweise zeigt der Dickstoff HT 33 im Verarbeitungsbereich zwischen $W/F = 0,27$ [-] bis $W/F = 0,35$ [-] besondere rheologische Eigenschaften mit Ausbreitmaßen von nur 0,1 m bis 0,3 m und korrespondierenden Suspensionsdichten von etwa $1,9 \text{ t/m}^3$ bis $1,8 \text{ t/m}^3$. Im ausgehärteten Zustand erreicht der Dickstoff typische einaxiale Druckfestigkeiten q_u bis 30 MPa.

Unter Verwendung von geeigneten Pumpen (Mörtelpumpen) gelingt es, diesen Baustoff mit effektiven Drücken von bis zu etwa 30 bar gezielt in die Lockermassenfüllsäule über zuvor erstellte Bohrungen zu verpressen. Dazu wird die Dickstoffsuspension in die abgeteufte Bohrverrohrung gefüllt. Die Verrohrung wird anschließend – ausgehend vom Endniveau – um einen vorgegebenen Betrag dh (z.B. $dh = 0,5 \text{ m}$) angehoben, bis die druckbeaufschlagte Suspension mit einem vorgegebenen Volumen (z.B. üblicherweise $V = 500$ bis 800 Liter eingebracht ist. Aus diesem

Baustoffvolumen lässt sich für jeden Bearbeitungsschritt ein theoretischer Zylinderdurchmesser d_i ableiten, der für den rechnerischen Nachweis benötigt wird (siehe Kapitel 3). Gleiches gilt für den zur Einbringung des Verpressvolumens aufgewendeten effektiven Verpressdruck p_i , der bei diesem mengengesteuerte Verpressvorgang die jeweilige Systemantwort für jeden einzelnen Verpressvorgang darstellt und dokumentiert werden. Der beschriebene Befüllvorgang wird nach dem Ziehen des Gestänges um den Betrag dh so oft wiederholt, bis die gesamte Bohrlänge oder ein begrenzter Bearbeitungsbereich befüllt sind und die betreffende Bohrung vom Fuß bis zum Kopf vollständig bearbeitet ist. Anschließend wird die nächste Dickstoff-Bohrung geteuft und nach demselben Schema befüllt. Ist die Dickstoffverpressung insgesamt abgeschlossen, wird in den Zwischenräumen eine konventionelle Porenrauminjektion ausgeführt.

Das eingebrachte Baustoffvolumen beider Verpressvorgänge (Dickstoffverpressung und Porenrauminjektion) zusammen definiert den Maßnahmenerfolg und sollte im granularen Füllsäulenmaterial einen Porenanteil n von etwa 0,4 [-] bis 0,6 [-] ausmachen. Gegenüber dem reinen Mineralstoff ist die Füllung im Schacht oftmals durch Makroporen und auch Öffnungen im Schachtausbau gekennzeichnet, so dass der verfügbare Porenanteil etwas höher als der des reinen Mineralstoffes (bei Füllung aus Kiessand z.B. $n = 0,35$) einzuschätzen ist.

2.2 Erfahrungen aus der Praxis

Im Zeitraum zwischen 2017 und 2023 wurden die Lockermassenfüllungen von insgesamt sechs Tiefbauschächten mit den Verfahren der allgemeinen, kombinierten Verdichtung und Verpressung (Dickstoffverpressung DV bzw. Compaction Grouting CG) von TABERG geplant und durch verschiedene Bohrfirmen ausgeführt /8/. Hierzu gibt Tabelle 1 einen Überblick über die bearbeiteten Schächte verschiedener Schachteigentümer (A, B, C) und das verwendete Einbringverfahren der unterschiedlichen AN (I, II, III).

Tab. 1: Übersicht zu den ausgeführten Sicherungsmaßnahmen

S. Nr.	Eigen-tümer	AN	Jahr	Quer-schnitt	DS * [m]	Aus-bau	nDV [-]	nInj [-]	Verfah-ren
1	A	I	2017	rund	5,6	MW	4	4	DV
2	B	II	2019	rund	3,7	MW	4	5	CG
3	C	II	2020	recht	3,91	kein	5	3	CG
4	D	III	2020	oval	5,29	kein	12	9	DV
5	B	I	2022	oval	3,83	MW	5	4	DV
6	C	II	2023	recht	2,82	kein	7	6	DV
Hinweise: * = flächengleicher Schachtdurchmesser bei Rechteck- oder Ovalquerschnitt, MW = Mauerwerk, n_{DV} = Anzahl der Bohrungen zur Dickstoffverpressung, n_{inj} = Anzahl Injektionsbohrungen									

In Tabelle 2 sind zusätzlich die erreichten Materialaufnahmen aus Dickstoffverpressung und Porenrauminjektion sowie die begleitenden Angaben zur bearbeiteten Schachthöhe bzw. zum bearbeiteten Lockermassenvolumen zusammengestellt. In der letzten Spalte sind die aus den Materialaufnahmen und dem Schachtvolumen abgeleiteten verfüllten Porenanteile aufgeführt.

Tab. 2: Materialaufnahmen DV/CG und anschließende Porenrauminjektion

S. Nr.	A_s [m ²]	DV bzw. CG				Injektion				Porenanteil [-]
		V_{Di} [m ³]	h_{Di} [m]	A_{Di} [m ²]	A_{Di}/A_s [%]	V_{inj} [m ³]	h_{inj} [m]	A_{inj} [m ²]	A_{inj}/A_s [%]	
1	24,6	56,4	32	1,76	7,2	74,1	36	2,06	8,4	16
2	10,8	28,5	17	1,68	15,5	48,1	17	2,83	26,2	42
3	12,0	50,2	23	2,18	18,2	29,7	23	1,29	10,8	29
4	22,0	128,6	27	4,76	21,6	90,0	24	3,75	17,0	39
5	11,5	86,7	35	2,48	21,5	69,4	41	1,69	14,7	36
6	6,2	59,6	21	2,83	45,8	71,0	14	5,07	81,8	128

Gute Ergebnisse werden bei einer Bohranzahl von etwa einer DV-Bohrung je 2 m² bis 3 m² Schachtscheibe erreicht, wobei eine gleichmäßige Anordnung der Bohransätze in der Schachtscheibe vorausgesetzt wird. Die dann benötigte Anzahl der Injektionsbohrungen ist etwa in ähnlicher Anzahl anzusetzen. Die Materialaufteilung der Aufnahme im Dickstoffverfahren und im Injektionsverfahren kann mit etwa 60 : 40 grob abgeschätzt werden. Die vorliegenden Projekterfahrungen zeigen, dass sich der Dickstoff – mit Bezug zum Einheitsvolumen – wirtschaftlich günstiger als der Injektionsstoff einbringen lässt.

Größere Materialverluste zur Teufe wurden bei den in Tabelle 1 und 2 dokumentierten Bearbeitungen nicht festgestellt, wie der rückgerechnete Porenanteil der verfüllten Füllsäule zwischen 0,2 [-] und 0,4 [-] zeigt. Die Bearbeitung beim Schacht Nr. 6 führte durch standortspezifische Effekte (Anzahl der Sohlanschläge) zu nicht direkt vergleichbaren Ergebnissen.

Während der Ausführung wurden immer wieder Kontroll- bzw. Entgasungsbohrungen (zumeist Vollbohrungen) ausgeführt, die den Verfüllerfolg anhand fehlender Spülverluste beim Abteufen der Bohrungen anzeigen. Bei der Dickstoffverpressung wird üblicherweise schon nach ca. 2/3 der Gesamtanzahl der Bohrungen ein wirksamer Verdichtungseffekt im Füllsäulenmaterial erreicht. Diesbezüglich kann daher diese Herangehensweise auch allein zum gezielten Abdichten der Füllsäule zur Teufe hin verwendet werden. Da der Arbeitsaufwand mit dem Abteufen und Verfüllen der Bohrungen aber bei jeder bohrtechnischen Sicherung ohnehin anfällt, bietet sich an dieser Stelle aber die Ausführung der Dickstoffverpressung über die gesamte Bohrstrecke an. Dadurch kann der beschriebene Verdichtungseffekt – der in einen lateralen Verspannungseffekt mündet – für die Standsicherheitsverbesserung der gesamten Füllsäule benutzt werden

3 Auswirkung auf die Standsicherheit von stabilisierten Füllsäulen

3.1 Allgemein

Die Gleitstandsicherheit gegen Durchrutschen des stabilisierten Schachtfüllsäulenabschnittes in der Trennfläche zum Schachtausbau (Gleitsicherheit) lässt sich verfahrensunabhängig über den Vergleich zwischen einwirkenden und den widerstehenden Kräften mit Berücksichtigung von Teilsicherheiten im Sinne einer Gleitsicherheit nach DIN 1054 ermitteln:

<i>einwirkende Kräfte E:</i>	Eigengewichte, Sogkräfte (siehe /13/), Verkehrslasten
<i>widerstehende Kräfte R:</i>	Mantelreibung zwischen Füllsäule und Schachtwand

Der Ausnutzungsgrad $\mu = R/E < 1$ [-] kennzeichnet eine ausreichende Standsicherheit.

Für konventionelle Injektionsverfahren ist die Bestimmung der erreichten Mantelreibung zwischen Füllsäule und Schachtwand auf der widerstehenden Seite nicht einfach möglich, da der Grad der Wirksamkeit durch viele unkontrollierbare Injektionswege z.B. gegenüber einer kohäsiven Verfüllung (nach Aushub der Schachtfüllung) reduziert ist. Übliche reduzierte Ansätze der Mantelreibung τ bei einer ordnungsgemäß verpressten Füllsäule bewegen sich im Bereich zwischen etwa $\tau = 50$ kPa und 150 kPa, während bei kohäsiven Schachtfüllungen Ansätze zwischen $\tau = 200$ kPa und 300 kPa geläufig sind.

Durch die Dickstoffverpressung wird die Mantelreibung durch den vergrößerten Anpressdruck, der in horizontaler Richtung den Schachtausbau normal beansprucht, signifikant erhöht, so dass die Gleitsicherheit des tragenden stabilisierten Füllsäulenabschnittes ebenfalls ansteigt.

3.2 Rechnerische Erfassung der Wirkungsweise

3.2.1 Theoretische Vorüberlegungen

Der verfahrenstechnisch erzeugte Verpressdruck p_i baut sich von der Injektionsstelle bis zum Erreichen der Schachtwandung im Füllsäulenmaterial auf den dort wirkenden Anpressdruck p_a ab. Grund hierfür ist die Verdichtung des kompressiblen Füllsäulenmaterials, bei der die innere Reibung im Füllsäulenmaterial einen Teil der aufgetragenen Druckenergie kompensiert und der verdichtete Boden die einwirkenden Drücke radial teilweise weiterleitet.

Dieser Effekt ist in der Bodenmechanik unter „Cavity Expansion“ (= Hohlraum aufweitung) bekannt und lässt sich z.B. analytisch auf Grundlage eines elastoplastischen Materialverhaltens beschreiben /10/. Hiermit kann jedoch die Erhöhung der lateralen Spannungen in der Füllsäule unter den spezifischen Randbedingungen – insbesondere die mehr oder weniger starre horizontale Begrenzung der Füllsäule durch die Schachtwandung – nicht ordnungsgemäß berücksichtigt werden. Alternativ kann die Hohlraum aufweitung über numerische Betrachtungen nach der FEM-Methode abgebildet werden, in denen typische Schachtverhältnisse – mit einer starren Wandung – unter Ausnutzung der Rotationssymmetrie mit einem angepassten elasto-plastischen Materialgesetz rechnerisch abgebildet werden (siehe /11/ für die technische Anwendung der Hohlraum aufweitung durch Befüllen von Bullflex-Schläuchen). Nachfolgende Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse dieser rechnerischen Betrachtungen in normierter Darstellung im Vergleich zu den Ergebnissen des analytischen Ansatzes gemäß /10/.

Der Maximalwert der in Abb. 2 dargestellten Hohlraum aufweitung r/r_0 von 4 [-] für die Berechnung gemäß /12/ ergibt sich aus den praktischen Möglichkeiten des Bullflex-Verfahrens mit einem Ausgangsradius $r_0 = 0,15$ m und einer maximal erreichbaren Aufweitung bis zu etwa $r = 0,60$ m entsprechend des Nenndurchmessers des Geotextilschlauchs von 1,2 m. Das Druckverhältnis von 10 ($p_0 = 1$ bar = atmosphärischer Luftdruck) kennzeichnet den mittleren horizontalen Anpressdruck auf die Schachtwandung (Schachtdurchmesser $d_s = 6,0$ m) durch die Füllung von z.B. vier Bullflex-Elementen bis zum Nenndurchmesser von 1,2 m bei einem maximalen Verpressdruck von 25 bar.

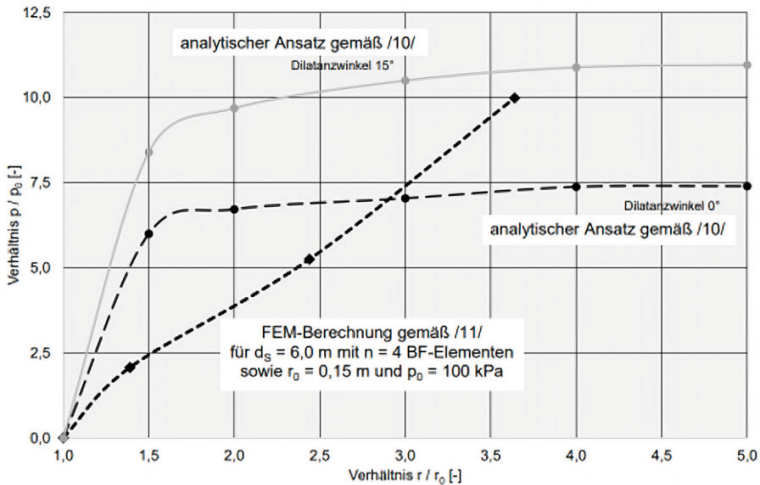


Abb. 2: Ergebnisse analytischer Ansatz /10/ und FEM-Simulation /11/ für eine Anwendung des Bullflex-Schachtsicherungssystems

Zum Vergleich sind in Abb. 2 die Berechnungsergebnisse gemäß /10/ (analytischer Ansatz) für vergleichbare Kennwertansätze dargestellt. Die Abweichungen erklären sich aus der festen Begrenzung der komprimierbaren Füllung durch den mehr oder weniger unverschieblichen Schachtabsbau in /11/, die in /10/ – dort steht radial der elastisch-isotrope Halbraum an – nicht vorliegt.

Anzumerken ist noch zu Abb. 2, dass der für die analytische Darstellung gemäß /10/ benötigte Dilatanzwinkel $\leq 0^\circ$ ein locker gelagertes Material kennzeichnet, das sich bei Verschiebung nicht auflockert sondern verdichtet. Auffällig bei der analytischen Betrachtung /10/ ist das Erreichen eines Grenzdruckes, bei dem die Verformungen weiter zunehmen, ohne dass es zu einer weiteren Druckerhöhung kommt. Dieses Verhalten kennzeichnet grundsätzlich das Erreichen eines Bruchzustandes, der analytisch dann nicht mehr erfasst werden kann.

Bei der vorstehenden Betrachtung spielt es keine Rolle, wie der Innendruck innerhalb des aufzuweitenden Hohlraums technisch erzeugt wird. In den mittleren 2000er Jahren wurde das Bullflex-Schachtsicherungsverfahren vom Autor näher analysiert (siehe /3/ bis /5/), bei dem der Suspensionsinnendruck über ein teildurchlässiges Geotextilgewebe vom Füllsäulenmaterial getrennt wird. Diese theoretischen Ansätze können sowohl für das Bullflex-Schachtsicherungsverfahren als auch für die Dickstoffverpressung grundsätzlich herangezogen werden.

Zu beachten ist, dass beim Abbinden des Baustoffes im Bullflex-Element umgehend Filtratwasser aus dem wasserdurchlässigen Bullflex-Gewebe austritt (Dissipation) und dabei einen sofortigen Druckabbau bewirkt. Dieser Druckabbau setzt sich bis zur Schachtwandung fort und wird in den rechnerischen Ansätzen (siehe /6/) über einen pauschalen Abminderungsfaktor von $f_1 = 0,3$ berücksichtigt. Bei einer Dickstoffverpressung findet dieser Vorgang hingegen nicht bzw. kaum statt, da die dickflüssige Baustoffsuspension unmittelbar für die Verdichtung des Füllsäulenmaterials sorgt. Hier ist ein entsprechender Abminderungsfaktor f_1 zwischen 0,9 und 1,0 anzusetzen.

3.2.2 Empirischer Ansatz

Aus den Ergebnissen umfangreicher begleitender Untersuchungen (Messungen des horizontalen Anpressdrucks, Inklinometermessungen sowie Elementversuche im technischen Maßstab mit ausführlicher geotechnischer Analyse) bei Schachtsicherungsmaßnahmen mit dem Bullflex-Verfahren im Ruhrrevier und im Saarland im Zeitraum zwischen 2006 und 2012 konnte ein eigenes Verfahren zur Herleitung der horizontalen Verspannung hergeleitet werden. Da beide Anwendungen – Bullflex-Verfahren und Dickstoffverpressung – in Bezug auf ihre prinzipielle Wirkungsweise identisch zu bewerten sind (siehe oben), kann der Anpressdruck an der Schachtwandung p_a bei allen bohrtechnischen Bauverfahren, die eine laterale Verdichtung des Füllsäulenmaterials bewirken, wie folgt abgeschätzt werden:

$$p_a = f_1 \cdot f_2 \cdot (d_i \cdot p_i) / d_a \quad (\text{Gl. 1})$$

mit:

f_1 : Faktor zur Berücksichtigung des technischen Verfahrens:

- Bullflex-Schachtsicherungsverfahren: $f_1 = 0,3$ [-] (Filtratwasserabgabe führt zum Abbau des einwirkenden Drucks – Dissipationseffekt)
- Dickstoffverpressung: $f_1 \geq 0,9$ [-] (keine nennenswerten Druckabbauprozesse)

f_2 : Faktor zur Berücksichtigung der Reibungsverluste beim Verdichtungs Vorgang des Füllsäulenmaterials zwischen Druckfläche und Schachtwandung. Ermittelt aus Modellversuchen im großtechnischen Maßstab zu $f_2 = 0,7$ [-]

$d_i \times p_i$: Mittelwert des Produktes aus gemessenem effektivem Innendruck p_i [kPa] und eingebrachtem Baustoffvolumen, ausgedrückt über den Durchmesser des korrespondierenden zylindrischen Hohlraums d_i [-]. Der Index i steht für die gesamte Anzahl der einzelnen, mit Baustoff befüllten Elemente, die für die Mittelwertbildung zugrunde gelegt werden. Verfahrensbedingt liegen beim Bullflex-Verfahren Elementhöhen von etwa 3,0 m und bei der Dickstoffverpressung Höhen von 0,5 m bzw. 1,0 m vor, die der Mittelwertbildung zugrunde gelegt werden.

d_a : Rechnerischer Ersatzdurchmesser des Schachtes [m] zur Berücksichtigung der Wirkung mehrerer DV-Bohrungen in der Schachtscheibe und einer damit verbundenen Abschirmwirkung in Bezug auf eine außermittige und damit asymmetrische Druckausbreitung.

$$d_a = [d_s^2 / (f_3 \cdot n_{DV})]^{0,5} \quad (\text{Gl. 2})$$

mit

d_s = Schachtinnendurchmesser [m]

f_3 = Faktor zwischen 2,5 ... 3,0 zur Erfassung der geometrischen Anordnung der Bohrungen in der Schachtscheibe. Empfehlung: $f_3 = 2,5$ [-]

n_{DV} = Anzahl der Bohrungen DV bzw. CG in der Schachtscheibe [-]

Unter Beachtung des Ausgangsspannungszustandes in der Schachtfüllsäule – z.B. berechnet über den Silodruck p_0 – lässt sich der gesamte einwirkende Horizontdruck in der bearbeiteten Füllsäule aus der Summe von p_0 und p_a ermitteln. Mit Ansatz einer zutreffenden Wandreibung (z.B. $\tan \frac{2}{3} \varphi$) ergibt sich daraus die verfahrensimmanent erhöhte übertragbare Mantelreibung τ (siehe Schema in Abb. 3). Für die beschriebenen Ausführungen mit dem Bullflex-Schachtsicherungsverfahren bzw. mit der Dickstoffverpressung lassen sich nach eigenen Erfahrungen eine übertragbare Mantelreibungen τ von 150 kPa bis 250 kPa nachweisen.

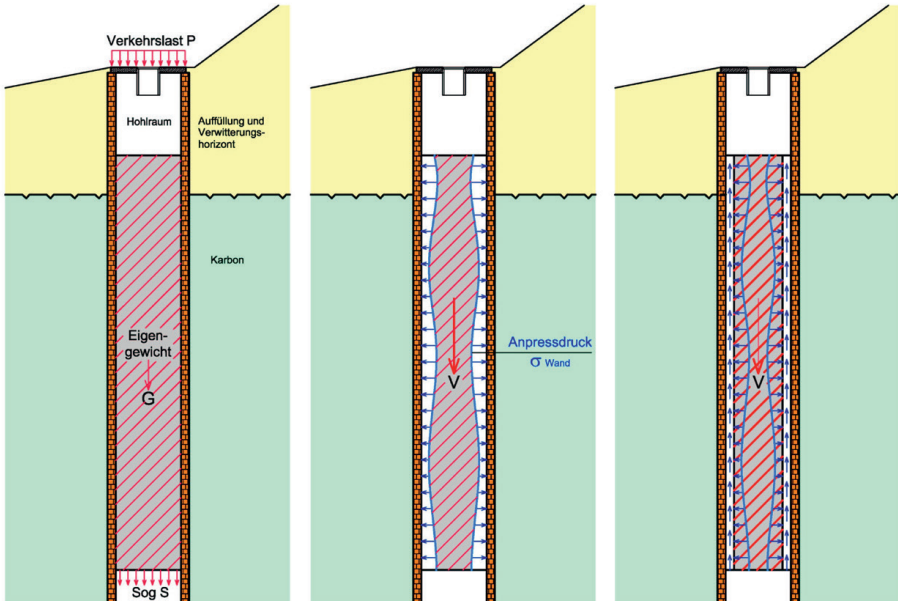


Abb. 3: Schema einer stabilisierten Lockermassenfüllsäule mit Vorspannungseffekt

3.3 Verifikation

In Abb. 4 ist das Ergebnis der FEM-Berechnung gemäß /11/ dem Ergebnis der mit der empirischen Gleichung Gl. (1) ermittelten Anpressdrücke p_a gegenübergestellt. Die Gegenüberstellung gelingt dadurch, dass das in Gl. (1) benötigte Produkt $p_i \times d_i$ direkt aus den in der FEM-Berechnung angesetzten Drücken ($p = 8, 16$ und 24 bar) und der berechneten Verschiebung (ausgedrückt über die Aufweitung r) ermittelt wird. Für eine Anzahl der Bullflex-Elemente von $n_{dv} = 4$ und einem Faktor $f_3 = 2,5$ [-] sowie $f_1 = 0,9$ [-] ergeben sich die in Abb. 4 dargestellten Ergebnisse, die eine gute Übereinstimmung der empirischen Gleichung Gl. (1) mit den in der FEM-Simulation ermittelten Werten zeigen. Tendenziell wird der erreichbare Anpressdruck gegenüber der FEM-Berechnung etwas unterschätzt, was für das Sicherheitsniveau als auf der sicheren Seite liegend eingestuft wird. Obwohl es sich bei dem Beispiel um eine Bullflex-Anwendung handelt, wurde der Faktor f_1 nicht zu $0,3$ [-] angesetzt, da die systembedingten Druckverluste infolge von Dissipationseffekten beim Abbinden der Bullflex-Füllung in der numerischen Berechnung gemäß /11/ ebenfalls nicht berücksichtigt werden konnten.

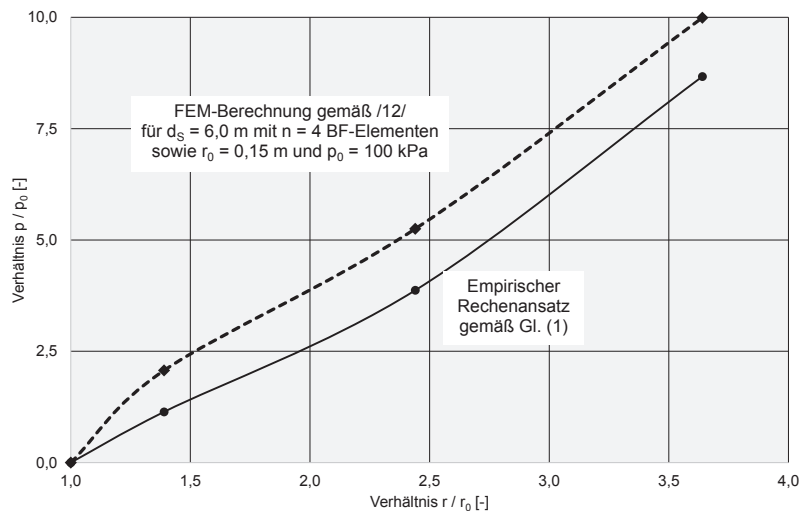


Abb. 4: Ergebnisse gemäß Gl. 1 für das Beispiel aus Abb. 2 (FEM-Berechnung /11/)

3.4 Erreichte Projektergebnisse

Für die in Begleitung von TABERG ausgeführten beispielhaften Schachtsanierungen der Tabelle 2 wurde der jeweils an der Schachtwandung erreichte Vorspannungsdruck p_a gemäß der Baustellenaufzeichnungen (mittleres Produkt $p_i \times d_i$) auf Grundlage der Gl. (1) berechnet. Die dabei ermittelten Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Im Ergebnis zeigt sich für die sechs betrachteten Schachtsicherungen ein erreichter Anpressdruck aus der verfahrenstechnischen Vorgehensweise der Dickstoffverpressung zwischen rund 2,4 bar und 4,5 bar. Interessant ist hierbei der Vergleich zwischen den Schächten Nr. 1 und Nr. 4, die ähnliche Anpressdrücke p_a bei deutlich unterschiedlicher Bohrungsanzahl n_{DV} zeigen. Hier versteckt sich der Ausgangsdichtezustand der Schachtfüllung, der zumeist weitgehend unbekannt ist und bei Schacht Nr. 1 im Vergleich zu Nr. 4 entsprechend hoch gewesen ist. Der Spannungseffekt wird systembedingt erst wirksam, wenn eine hinreichende Lagerungsdichte des Füllsäulenmaterials vorliegt.

Tab. 3: Erreichter horizontaler Anpressdruck p_a infolge Dickstoffverpressung

Schacht Nr.	D_s [m]	AS [m²]	n_{DV}	D_a [m]	$p_i \times d_i$ [kPa m]	p_a [kPa]
1	5,6	24,6	4	1,77	683	243
2	3,7	10,8	4	1,17	748	403
3	3,91	12,0	5	1,11	763	433
4	5,29	22,0	12	0,97	411	267
5	3,83	11,5	5	1,08	773	451

4 Fazit

Durch die Anwendung der Dickstoffverpressung steht eine wirtschaftliche Herangehensweise bei der bohrtechnischen Stabilisierung von Lockermassenfüllsäulen zur Verfügung, die ihre praktische Einsatzfähigkeit in Hinblick auf Effizienz bereits bewiesen hat. Mit dem in Kapitel 3 vorgestellten empirischen Verfahren kann auf Grundlage der Ausführungsaufzeichnungen auch der entsprechende Standsicherheitsnachweis für verpresste Schachtfüllsäulen geführt werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] DGGT – Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., DGGV – Deutsche Geologische Gesellschaft – Geologische Vereinigung e.V. und Deutscher Markscheider-Verein e.V., Herausgeber (2020): Empfehlungen des Arbeitskreises 4.6 „Altbergbau“. Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung, Bewertung und Sanierung von altbergbaulichen Anlagen. Verlag Ernst & Sohn, Berlin. ISBN 978-3-433-03296-1, 162 Seiten.
- [2] Bezirksregierung Arnsberg, Abt. Bergbau und Energie in NRW (2007): Leitfaden für das Verwahren von Tagesschächten vom 05.12.2007, Sammelblatt A2.26, 18.13.1-8-35.
- [3] TABERG Ingenieure GmbH (2006): Sicherung der Füllsäule des Schachtes Friedrich Thyssen 7 mit dem Bullflex-Schachtsicherungsverfahren. Geotechnische Eigenüberwachung. Darstellung und Erläuterung der ausführungsbegleitenden Messergebnisse sowie Standsicherheitsnachweis für die ausgeführte Schachtsicherung. Abschlussbericht für die Gebhardt & Koenig Berg- und Bautechnik GmbH vom 27.11.2006 (unveröffentlicht).
- [4] Scherbeck, R. und I. Ossenbühl (2009): Erfahrungen bei der Stabilisierung von Lockermassenfüllsäulen in alten Schächten durch Injektions- und Verdrängungsverfahren. 9. Altbergbaukolloquium an der Montanuniversität Leoben, VGE Verlag GmbH, Essen, Tagungsband S. 235 bis 243.
- [5] Scherbeck, R. und I. Ossenbühl (2007): Schachtsanierung- moderne Entwicklungen am Beispiel des Bullflex-Verfahrens. Beitrag zum Geotechnik-Kolloquium vom 30. März 2007, Veröffentlichungen des Instituts für Geotechnik der TU Bergakademie Freiberg, Herausgeber Herbert Klapperich.
- [6] Keller Grundbau GmbH (2023): Firmenunterlagen zum Bodenverbesserungsverfahren „Compaction Grouting“.
- [7] Gutachterbüro Raabe (2023): Abschlussbericht Wetterschacht Levin (unveröffentlicht).
- [8] TABERG Ingenieure GmbH (2019 bis 2023): Verschiedene bohrtechnische Schachtsicherungen mit Dickstoffverpressung und Compaction Grouting für unterschiedliche Schachteigentümer (unveröffentlicht).
- [9] HeidelbergCement AG (ohne Datum): Technisches Merkblatt HT 33 Andotherm.
- [10] Yu, H.S. und Houlsby, G.T. (1991): Finite cavity expansion in dilatant soils: loading analysis. Geotechnique 41, 1991, No. 2, S. 173-183.
- [11] Phi Consult, Prof. Dr.-Ing. G. Heibrock (2006): Numerische Modellierung der Schachtsicherung Friedrich Thyssen 7 mit dem Bullflex-System. Mitteilung von Rechenergebnissen (unveröffentlicht).
- [12] Scherbeck, R., Barciaga, T., König, D., Wollnik, F. und Schanz, T. (2013): Neue Untersuchungen zum Systemverhalten von Lockermassenfüllsäulen alter Tiefbauschächte. Zeitschrift geotechnik 36, Heft 4/2013.

Company Towns des Bergbaus

Ulrich Schildberg

Ruhr-Universität Bochum, Geografisches Institut

ZUSAMMENFASSUNG:

Zu den Tagesanlagen von Bergwerken gehören im weiteren Sinne auch Wohnsiedlungen für die Beschäftigten, wie die Arbeitersiedlungen oder „Kolonien“ im Ruhrgebiet. In peripheren Gebieten ohne ausreichendes Arbeitskräftepotenzial wurden zu diesem Zweck sogenannte „Company Towns“ gegründet.

Company Towns des Bergbaus entstanden am Standort der jeweiligen Lagerstätte und befanden sich deshalb oft an siedlungsgeografisch ungünstigen Standorten. Die Endlichkeit der jeweiligen Lagerstätte bedeutete zugleich auch die Endlichkeit der dazugehörigen Siedlung. Diese waren im wirtschaftsgeografischen Sinne „pfadabhängig“ und in einem „lock-in“ gefangen.

Mit dem Ende des Bergbaus stellt sich die Frage der Zukunft. Während die Bergarbeitersiedlungen des Ruhrgebiets inzwischen in die jeweiligen Städte integriert und sogar zu bevorzugten Wohnlagen geworden sind, haben entlegene Company Towns oft keine Zukunft. Sie werden aufgegeben und zu Geisterstädten oder mit staatlicher Hilfe am Leben erhalten.

Ein besonders gutes Beispiel für Company Towns des Bergbaus sind die Bergbausiedlungen auf der norwegischen Insel Spitzbergen, wo voraussichtlich 2025 die letzte norwegische Grube geschlossen werden soll und sich für die größte Siedlung Longyearbyen die Frage der zukünftigen wirtschaftlichen Basis stellt, die in Tourismus und Forschung liegen soll.

ABSTRACT:

A special part of the overground installations of coal-mines are the facilities for the housing of the workers. In remote and sparsely inhabited areas without a suitable workforce, „Company Towns“ were founded. These are „mono-industrialized communities created by a company with a view to housing the workers of an industry that dominates the local economy“ (Morisset 2019). They are linked to the location of the deposit of coal or iron-ore. As these deposits are finite, also the lifetime of a mining-company town is finite. So, you have „to cope with closure“ even at the founding of the town. Most mining-company towns are „path-dependant“ „on the „path of coal“ and they are also in a so-called „lock-in“.

A good example for remote mining-company towns are the settlements on Spitsbergen, where after more than 100 years mining will probably end in 2025.

1 Definition und Entwicklung von Company Towns

Company Towns sind „mono-industrialisierte Siedlungen, die von einem Unternehmen gegründet wurden, um die Beschäftigten einer die lokale Wirtschaft dominierenden Industrie unterzubringen“ (Morisset 2019). Sie wurden im Zusammenhang mit standortgebundenen Industrien, vor allem dem Bergbau in peripheren, dünn- oder unbesiedelten Regionen gegründet. Sie sind nicht „natürlich“ gewachsen und nicht in das bestehende staatliche Verwaltungssystem eingebunden, sondern werden vollständig von den jeweiligen Unternehmen verwaltet. Diese haben nicht nur für die Unterkunft, sondern auch für die Versorgung der Bewohner zu sorgen, was zu sehr hohen „indirekten Kosten“ führt.

Eine Form von Company Towns sind die bergbauabhängigen „Mining-Towns“. Die jeweiligen Rohstoffe befinden sich oft in abgelegenen Regionen ohne Arbeitskräftepotential und Verkehrsanbindung, so dass am Ort der Rohstoffgewinnung entsprechende Siedlungen erforderlich sind. Gute Beispiele dafür sind Kiruna in Nordschweden oder Sewell in Chile. Wegen der „Endlichkeit“ der Ressourcen sind diese Siedlungen von vornherein nicht „auf Dauer“, sondern rein auf die Gewinnung und den Abtransport der Rohstoffe angelegt, weshalb sich auch dort keine weiterverarbeitenden Industrien entwickelten.



Abb. 1: Minenstadt Sewell, Chile Foto: wikimedia commons, Hiroki Ogawa

1.1 Industrielle Siedlungsformen

Industrielle Siedlungsformen sind solche, die direkt im Zusammenhang mit industriellen Tätigkeiten stehen.

Die mittelalterlichen „Bergstädte“ in Harz und Erzgebirge, z.B. Goslar oder Freiberg gelten als früheste Formen von „Company Towns“ (Fessner 2004: 189). Sie „überlebten“ das Ende des Bergbaus, auch wenn sie teilweise stark an Bedeutung verloren haben.

Eine weitere frühe Form der industriellen Siedlung sind die „Industriedörfer“, wie durch frühen Bergbau geprägte Dörfer im Sauer- und Siegerland oder die gegen Ende des 19. Jahrhunderts in Folge des Bergbaus entstandenen „großen Dörfer“ (Vonde 1989) am Nordrand des Ruhrgebiets, z.B. Sterkrade oder Hamborn.

Die „Industriestadt“ hingegen, ist keine Neugründung, sondern eine historisch gewachsene Stadt, welche durch die Industrie überformt wurde, z.B. Berlin oder Essen. Typische Wohnform der Industriestadt war die von Investoren errichtete Mietskaserne.

Die in Bergbaurevieren häufigste Form der industriellen Siedlung sind die in unmittelbarer Nähe der Bergwerke gelegenen „Kolonien“ (Kastorff-Viehmann 1981). Diese sind aber keine „Company Towns“ im engeren Sinne, da sie sich zwar im Besitz der Bergbauunternehmen oder bergbaugebundener Wohnungsunternehmen befinden, aber verwaltungsmäßig einer Stadt zugehörig sind. Eine Besonderheit war die Kopplung zwischen Arbeits- und Mietvertrag. Die Kolonien wurden entweder in geometrischen Formen, wie die „Dreiecksiedlung“ in Recklinghausen oder nach dem Vorbild der englischen Gartenstadt gebaut, wie z.B. die Siedlung „Teutoburgia“ in Herne. Ein typischer „Koloniehaustyp“ war das „Vierviertelhaus“ mit vier auf einem Kreuzgrundriss angeordneten Wohnungen.

Industrielle Siedlungen und miteinander verbundene Industrieanlagen, z.B. Berg- und Stahlwerke („Montanindustrie“) bilden „industriellen Landschaften“ (Trinder 1987), in denen die natürliche Landschaft durch die Industrie überformt wird, wie z.B. im Ruhrgebiet.

1.2 Entwicklung und Typen von Company Towns

Die ersten modernen Company Towns entstanden Anfang des 19. Jahrhunderts in England als die Textindustrie von der Heimarbeit auf die industrielle Fertigung übergang.

Im Bergbau bestand zunächst keine Notwendigkeit, Company Towns oder größerer Siedlungen zu errichten, sieht man von den bereits erwähnten Bergstädten ab. Bis Ende des 19. Jahrhunderts erfolgte der Bergbau relativ kleinteilig und die Bergleute arbeiteten als „Kötter“ im Nebenerwerb. Erst mit dem Übergang zum Tiefbau entstanden bergbauliche Siedlungen wie z.B. Grand Hornu im wallonischen Kohlerevier. Mit dem Aufkommen des kommunalen Wohnungsbaus nach dem ersten Weltkrieg und der weitgehenden Erschließung auch peripherer Rohstoffvorkommen, ging auch die Gründung von Company Towns zurück.

Die Gründungsmotive waren unterschiedlich. Neben rein wirtschaftlichen spielten auch sozialpolitische Erwägungen eine Rolle, weil philanthropische Unternehmer wie Krupp ein Gegenmodell zu den ihrer Meinung nach „sündigen“ Großstädten schaffen wollten, in denen die Gefahren der Sozialdemokratie lauerten (Gall 2000: 220).

Die Ausgestaltung der Company Towns war unterschiedlich. Es gab Barackensiedlungen oder „shanty towns“ wie die Siedlungen auf Spitzbergen. Andere nahmen die städtebaulichen Vorbilder der englischen Gartenstädte mit geschwungenen Straßenverläufen, weitläufigen Grünanlagen und ländlich anmutenden Haustypen auf. Vor allem in Schweden entstanden auch Musterstädte, wie das an einem Erztagebau errichtete und von dem Architekten Ralph Erskine geplante Svappavaara (Malmgren

2021). Typische Wohnformen von Company Towns waren die Gemeinschaftsunterkunft oder Baracke für einfache Arbeiter ohne Familie, Reihen- und Doppelhäuser für Facharbeiter wie Steiger und deren Familien und Landhäuser für die Führungskräfte. Das spiegelte die betriebliche Hierarchie und soziale Stellung ihrer Bewohner wider. Wegen des vorübergehenden Charakters der Bergbausiedlungen waren die Unterkünfte meistens auf Mietbasis, in den USA und Kanada versuchte man auch durch Eigentumsmodelle die Beschäftigten an den Betrieb zu binden, was sich im Falle der Stilllegung des Bergwerks als Problem für die Bewohner herausstellen konnte, da die Häuser dann praktisch wertlos wurden.

2 „Coping with Closure“ – der Umgang mit der Stilllegung

Company Towns entwickeln sich nicht in „natürlicher“ oder evolutionärer Weise wie andere Siedlungen, sondern werden durch die Entwicklung des Unternehmens bestimmt, dessen Zweck sie dienen, bzw. durch Entscheidungen weit entfernter Unternehmenszentralen oder Regierungen. Bei bergbaugebundenen Company Towns kommt noch die naturgegebene Begrenzung ihrer Lebensdauer durch die Endlichkeit der jeweiligen Lagerstätte hinzu. Das „Ende“ einer Company Town ist deshalb bereits bei ihrer Gründung vorhersehbar, so dass es eigentlich eine Art „Abschlussbetriebsplan“ geben sollte, der mit der Zukunft der Siedlung nach Ende des Bergbaus beschäftigen sollte: „coping with closure“ (Neil et al. 1992).

2.1 *Regionalökonomische Hintergründe der Entwicklung von Company Towns*

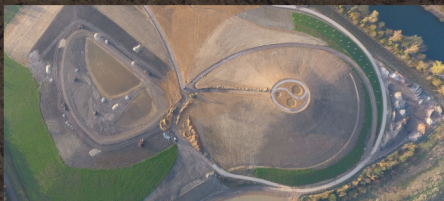
Die Wirtschaftsgeographie beschäftigt sich ausgiebig mit den theoretischen Hintergründen der Raumentwicklung, z.B. mit der Bedeutung von Agglomerationen. Auch für die Entwicklung von Company Towns gibt es theoretische Ansätze.

Zunächst erfolgt deren Entwicklung in mehreren „Phasen“ (Hacquebord/Avango 2009. Auf eine „Pionierphase“ der spekulativen Rohstoffexploration, in der es weniger Siedlungen als „Camps“ gibt, folgt eine „Etablierungs- und Konsolidierungsphase“, in der sich permanente Siedlungen entwickeln. Irgendwann setzt eine Phase des Niedergangs ein, wenn die Lagerstätte sich erschöpft, oder der Abbau nicht mehr wirtschaftlich erscheint. Manchmal führt dieses zu einem Strukturwandel, der eine neue Phase der Entwicklung einleitet.

Diese Entwicklung entspricht dem regionalökonomischen Modell der evolutionären Wirtschaftsgeographie (Martin/Sunley 2006, wonach sich Orte und Regionen auf wirtschaftlichen Pfaden befinden. Ein solcher Pfad, z.B. der Abhängigkeit vom Bergbau kann zu einem „lock-in“ führen, d.h. die Orte sind in einer wirtschaftlichen Situation gefangen, aus der sie aus eigener Kraft nicht mehr herausfinden, was besonders für sogenannten „altindustrialisierte“ und monostrukturierte Regionen gilt (Hassink 2010).

Aufgrund ihrer peripheren Lage ist auf bergbauabhängige Company Towns auch das sogenannte „Core-Periphery-Concept“ anwendbar (Friedmann 1996, wonach die Entwicklung peripherer Orte von Entscheidungen eines entfernten Kerns abhängig sind.

#wir
machen
boden
gut



Alles aus einer Hand

- Logistik
- Recycling
- Erd- und Tiefbau
- Deponiebetrieb
- Schachtkopfsanierung
- Stoffstrommanagement

ECOSOIL Nord-West GmbH
Bövinghauser Str. 50 - 58
44805 Bochum
+49 (0) 234 / 57 949-0
info@ecosoil-umwelt.de
www.ecosoil-umwelt.de

2.2 Strategien für die Zukunft von Company Towns nach dem Ende des Bergbaus

Die Problematik peripherer bergbaugebundener Company Towns war neben ihrer Lage vor allem die Monofunktionalität, das heißt die Begrenzung auf die Gewinnung der Rohstoffe und deren Export. Im Gegensatz zu Industrieregionen wie dem Ruhrgebiet gab es keine Verlängerung der Wertschöpfungskette in Form von Kokereien, Nebenproduktanlagen und ähnlichem. Es bildeten sich keine „industriellen Cluster“ (Porter 2008) heraus, wie z.B. im Ruhrgebiet mit der Stahl- und chemischen Industrie. Deshalb haben Company Towns in der Regel keine Möglichkeit, sich aus eigener Kraft weiter zu entwickeln, wenn der Bergbau endet. Es bestehen folgende Möglichkeiten der weiteren Entwicklung nach der Stilllegung:

- Die Siedlungen werden nach Ende des Bergbaus aufgegeben und geräumt bzw. renaturiert. Dieses war z.B. bei der Siedlung Svea auf Spitzbergen der Fall, die bis auf einige denkmalgeschützte Objekte zurückgebaut und in den vermeintlichen Urzustand zurückversetzt wurde.
- Die Siedlungen werden aufgegeben und als „lost places“ einschließlich der Umweltfolgen sich selbst überlassen, wie z.B. die russische Siedlung Pyramiden auf Spitzbergen. Anstelle des Verfalls kommt auch eine gezielte denkmalpflegerische Erhaltung in Frage, wie z.B. bei der Siedlung Sewell in Chile, die als Weltkulturerbe geschützt ist.
- Die Siedlungen bekommen eine neue Funktion, wie z.B. die Transformation von Ny Ålesund auf Spitzbergen von der Bergbausiedlung zum Forschungsstandort, wobei die vorhandenen Strukturen teilweise weiterverwendet werden.
- Die Siedlungen werden als „Rumpfstuktur“ fortgeführt, da sie für die Region noch eine Versorgungsfunktion erfüllen.
- Die Siedlungen erfahren einen Strukturwandel, der entweder vorhandene Entwicklungspfade fortführt oder völlig neue Entwicklungspfade eröffnet. Dieses ist aktuell die Zielsetzung für Longyearbyen. Dort werden Tourismus sowie Forschung und Wissenschaft als Zukunftsperspektive nach dem Ende des Bergbaus gesehen. Beide Funktionen setzen den bisherigen Entwicklungspfad fort, in dem sie indirekt ebenfalls die natürlichen Ressourcen, z.B. die Schönheit der Landschaft ausnutzen und die vom Bergbau geschaffene Infrastruktur nutzen.

Diese Möglichkeit erscheint nur dann sinnvoll, wenn es überhaupt erforderlich ist, einen Siedlungsstandort aus politischen Gründen zu erhalten wie es in Longyearbyen der Fall ist. Die Company Towns in der Arktis und auf Spitzbergen.

3 Company Towns in der Arktis

Die Arktis ist seit jeher eine Region, in der Rohstoffe abgebaut wurden. Steinkohle wurde ausschließlich auf Spitzbergen sowie auf der grönländischen Disko-Insel abgebaut. Der infolge des Klimawandels erwartete Rückgang des Meereises im Sommer scheint neue Möglichkeiten der Rohstoffausbeute sowie des Meeresbergbaus zu eröffnen.

Die bekannteste bergbaugebundene Company Town des Nordens dürfte das schwedische Kiruna sein, in dem bis heute durch den staatlichen Bergbaukonzern LKAB Eisenerz abgebaut wird. Um den weiteren Abbau zu ermöglichen, werden Teile der Stadt sogar „verschoben“.

3.1 Allgemeine Informationen über Svalbard/Spitzbergen

Die Inselgruppe Svalbard mit ihrer Hauptinsel Spitzbergen befindet sich auf halbem Wege zwischen dem Nordkap und dem Nordpol. Der unbewohnte Archipel wurde 1596 von dem niederländischen Seefahrer Willem Barents entdeckt. Die Wirtschaftsentwicklung Spitzbergens wurde immer von der Ausbeutung seiner natürlichen Rohstoffe bestimmt (Avango et al. 2010). Bis Ende des 19. Jahrhunderts war dieses der Walfang, der zur Gründung von Smeerenburg als erster festen Siedlung auf Spitzbergen führte.

Die Kohlevorkommen Svalbards entstanden vor etwa 60 Millionen Jahren, aus den Resten tropischer Wälder der Zeit, als Spitzbergen noch in der Nähe des Äquators lag und sich im Zuge der Kontinentaldrift langsam nach Norden bewegte (Piepjohn et al. 2012: 9). Ende des 19. Jahrhunderts begann die Erkundung der Kohlevorkommen, deren Umfang teilweise maßlos überschätzt wurde (Freimuth 1909). Die ersten Erkundungen erfolgten durch Spekulanten, die ihre Claims im Rahmen sogenannter „Okkupationen“ absteckten. Svalbard war seit seiner Entdeckung ein Niemandsland, geriet wegen seiner strategischen Lage aber schnell in den Fokus verschiedener Nationen, die durch den Bergbau ihre Ansprüche auf die Souveränität über die Inseln untermauern wollten. In dem 1920 abgeschlossenen „Svalbard-Vertrag“ wurde Norwegen die Souveränität über die Inseln zugesprochen, zugleich aber allen Signatarstaaten das Recht auf wirtschaftliche Tätigkeit und damit auch auf Bergbau zugesprochen. Zugleich verpflichtete der Vertrag Norwegen, eine Bergordnung zu erlassen. Diese regelte u.a. die Abbaurechte, die Arbeitssicherheit und verpflichtete die Bergbauunternehmen, angemessenen Wohnraum für ihre Beschäftigten zu schaffen.

Die Kohlevorkommen Spitzbergens sind den arktischen Umständen entsprechend relativ leicht zu gewinnen, da die in den Berghängen liegenden Flöze durch sählig aufgefahrene Strecken erschlossen werden können, deren Zugänge durch Schrägaufzüge erreicht wurden. Infolge des Permafrostes ist kaum Wasserhaltung erforderlich, die Bewetterung erfolgt durch an der anderen Bergseite durchschlägige Stollen. Der Abtransport der Kohlen zum Pier erfolgte zunächst durch Eisenbahnen, später durch Seilbahnen der sächsischen Firma Bleichert. Noch heute zeugen einige Tagesanlagen und die Seilbahnzentrale von dieser Zeit wie nachfolgend die „Grube 2“.

In der Anfangs- oder Pionierphase scheiterten viele Bergbauaktivitäten, weil die Herausforderungen der Arktis unterschätzt wurden. Die Gruben wurden deshalb aufgegeben oder verkauft, so dass am Ende nur noch die staatlichen Bergbauunternehmen „Store Norske Spitsbergen Kulkompani“ (SNSK), „Kings Bay Kull Company“ und der russische „Trust Arktikugol“ (TA) übrigblieben. Die „Store Norske“ übernahm 1916 die Gruben der amerikanischen „Arctic Coal Co.“ (ACC) rund um Longyear City und später auch die schwedische „Sveagruvan“. Seit 1916 förderte die SNSK nach eigenen Angaben fast 60 Millionen Tonnen Kohle, von denen der größte Teil als Kraftwerkskohle und zur Verkokung u.a. Deutschland ging. Die hochautomatisierte Grube Svea Nord gehörte mit einer Jahresproduktion von fast 3,5 Millionen Tonnen zu den modernsten Bergwerken Europas und erwirtschaftete zeitweise sogar Gewinn (Avango 2018). Meistens war der Bergbau

jedoch immer ein Zuschussgeschäft und wurde von Norwegen bzw. der Sowjetunion/Russland als Vehikel gesehen, die Präsenz auf den Inseln zu rechtfertigen. Im Jahr 2025 soll die letzte norwegische Grube geschlossen werden, die Russen betreiben noch eine Grube in Barentsburg.



Abb. 2: „Grube 2“ Longyearbyen Foto: Autor

3.2 Longyearbyen – eine typische Company Town

Klassisches Beispiel einer durch den Bergbau geprägten Company Town ist Longyearbyen mit etwa 2000 Einwohnern.

Die Gründung Longyearbyens geht auf den amerikanischen Bergbauingenieur John M. Longyear zurück, der 1906 die „Arctic Coal Co.“ und die Siedlung Longyear City gründete. Die Gruben lagen an den Talhängen und die zunächst nur aus einigen Baracken bestehende Siedlung folgte den Gruben. Trotz eines hohen Mechanisierungsgrades blieb der wirtschaftliche Erfolg versagt. Die SNSK errichtete nach der Übernahme bis in die 1970er-Jahre weitere Gruben und baute die in Longyearbyen umbenannte Stadt weiter aus, z.B. durch die Bergarbeitersiedlung Nybyen.



Abb. 3: Siedlung Nybyen, Spitzbergen Foto: Autor

Mit dem Beginn der Kohlekrise Anfang der 1970er-Jahre wandelte sich Longyearbyen „von der Company Town zur Familiengemeinschaft“ (Arlov 2001). Die SNSK konzentrierte sich auf ihre „Kernaktivität“, den Bergbau. „Nebengeschäfte“ wie die Logistik oder die Immobilienverwaltung wurden outgesourct oder vom Staat übernommen. Zugleich erhielt die Siedlung eine beschränkte Selbstverwaltung. Die wirtschaftliche Bedeutung des Bergbaus nahm trotz noch steigender Fördermengen ab, heute sind nur noch 4% der Beschäftigten im Bergbau tätig, im Gegensatz zu fast 90% Anfang der 1970er-Jahre.

Bereits frühzeitig machten sich die Gemeindeverwaltung und die norwegische Regierung Gedanken über die Zukunft der Stadt nach dem Ende des Bergbaus. Eine Aufgabe der Siedlung kam nicht in Frage, da die norwegische Präsenz sichergestellt werden musste. Hochwertiger Tourismus, Forschung und Wissenschaft sowie die logistische Position als Tiefwasserhafen im zukünftig teilweise eisfreien Nordmeer sollen die Grundlage der weiteren Existenz bilden.

3.3 *Andere Bergbausiedlungen auf Spitzbergen*

Neben einigen nur aus wenigen Hütten bestehenden Explorationscamps kann das 1903 von der britischen „Northern Exploration Co.“ gegründete „Advent City“ als eine der ersten dauerhaften Bergbausiedlungen auf Spitzbergen gelten. Die Gründer, die neben wirtschaftlichen auch politischen Gründen zur Stärkung britischer Ansprüche auf Spitzbergen verfolgten, unterschätzten jedoch die Widrigkeiten des arktischen Bergbaus, so dass die Siedlung bald aufgegeben und ihre Gebäude und Anlagen ins nahe gelegene Hiorthhamn verlegt wurden (Kruse 2013). Eine längere Lebensdauer war der am weitesten nördlich gelegenen Siedlung Ny Ålesund beschieden, die auch als Ausgangspunkt zahlreicher Polarexpeditionen diente. Hier begann 1917 der Bergbau und es entstand eine bis heute weitgehend erhaltene „Stadt“ mit Holzhäusern im skandinavischen Stil. Ein Grubenunglück im Jahr 1964 beendete den Bergbau. Ny Ålesund ist heute ein „Forscherstädtchen“ mit zahlreichen internationalen Polarforschungsinstituten.

Von erheblicher Größe waren die beiden russischen Company Towns auf Spitzbergen. Bis heute in Betrieb und im Besitz des Staatskonzerns „Trust Arktikugol“ ist die Siedlung Barentsburg. Der Bergbau begann hier 1920 durch die „Nederlandsch Spitsbergen Companie“ (NeSpiCo), die hier auch mit deutscher Hilfe (Waldhecker 1924) ein modernes Bergwerk aufbaute. Nach der Entdeckung eigener großer Kohlevorkommen in Süd-Limburg wurde der Standort jedoch für die Niederlande uninteressant und Stadt und Abbaurechte wurden an ein britisch-russisches Konsortium veräußert, nachdem Norwegen ein Kaufangebot abgelehnt hatte, was sich später als schwerer strategischer Fehler herausstellen sollte. Barentsburg besteht aus einer heute weitgehend verlassenem „Unterstadt“ mit traditionellen russischen Holzhäusern und einer durch Plattenbauten geprägten „Oberstadt“.

Eindrücklichstes Beispiel einer Company Town auf Spitzbergen ist Pyramiden mit zeitweise 1000 Einwohnern. Hier hatte eine schwedische Gesellschaft Anfang des Jahrhunderts mit der Exploration begonnen, verkaufte die Abbaurechte später an den TA, der nach dem zweiten Weltkrieg mit dem Abbau begann und eine „sowjetische Musterstadt“ (Hemmersam 2023) errichtete. Das Stadtbild wird geprägt durch eine Leninstatue, und die im „Zuckerbäckerstil“ errichtete Kantine und den im Stil des „Betonbrutalismus“ der 1970er-Jahre gebauten Kultur- und Sportpalast. Der

Zusammenbruch der Sowjetunion und die damit zusammenhängenden wirtschaftlichen Probleme führten schließlich zur Stilllegung des Bergwerks und zur kurzfristigen Räumung der Stadt, die heute ein bekannter „Lost Place“ (Elborough 2022: 20) ist, die der TA als nostalgisches Reiseziel vermarktet.



Abb. 4: Barentsburg Foto: Autor



Abb. 5: Pyramiden Foto: Dag Avango

Da Schweden zwar über ausreichende Erz- aber über keine Kohlevorkommen verfügte, erkundete eine schwedische Gesellschaft ab 1917 die Kohlevorkommen am Van-Mijen-Fjord und gründete die Siedlung Sveagravan, auch um die schwedischen Ansprüche in der Debatte über die zukünftige Souveränität Svalbards zu unterstützen (Avango 2018). Die Förderung kam jedoch nicht richtig in Gang und nach Abschluss des Svalbard-Vertrages verlor Schweden das Interesse an Svalbard. Die Abbaurechte wurden 1934 von der norwegischen SNSK übernommen, auch um zu verhindern, dass diese ähnlich wie in Barentsburg in sowjetische Hände fielen. Erst nach dem zweiten Weltkrieg wurde mit dem industriellen Abbau begonnen. Zugleich wurde die Siedlung ausgebaut. Svea, wie sie nun hieß, hatte jedoch niemals eine permanente Bevölkerung. Die Kumpel arbeiteten auf „fly-in/fly-out-Basis“, d.h. sie wurden in 14-tägigem Wechsel aus Longyearbyen eingeflogen. Als die Vorkommen um die Jahrtausendwende erschöpft waren, wurde nach langen

Diskussionen die neue Grube Svea-Nord aufzufahren und der „store kullrushet“ (große Kohlen-rausch begann (Mikalsen 2009, denn die Grube gehörte zu den modernsten und profitabelsten, die jemals auf Spitzbergen betrieben wurden. Es dann eine weitere neue Grube, Lunckefjell aufgefahen, aber wegen stark gefallener Weltmarktpreise und wegen der norwegischen Politik, nur noch „grüne Energie“ zu erzeugen, niemals in Betrieb genommen. Durch die SNSK wurde dann ein Abschlussbetriebsplan erstellt, der den Verschluss der Gruben und den nahezu vollständigen Rückbau der Siedlung mit Ausnahme einiger unter Denkmalschutz stehender Gebäude aus der „Schwedenzeit“ vorsah. Das gesamte Gebiet wurde anschließend zum Nationalpark erklärt, wobei es vermutlich auch darum geht, zu verhindern, dass andere Nationen, z.B. Russland oder China die ihnen nach dem Svalbard-Vertrag zustehenden Abbaurechte ausnutzen würden.

4 Fazit

Bergbaubezogene periphere Company Towns sind ausschließlich auf die betrieblichen Belange des Bergbaubetriebes ausgerichtet. Im Gegensatz zu den Bergarbeitersiedlungen oder „Kolonien“ sind sie nicht in bestehende Siedlungsstrukturen integriert. Nach dem Ende des Bergbaus bestehen deshalb kaum Möglichkeiten der Weiterexistenz der Stadt, es sei denn, es ist im Laufe der Zeit gelungen, dass diese Städte sich aus ihrem „lock-in“ befreien und neue Entwicklungspfade entstehen oder die Weiterexistenz der jeweiligen Siedlung politisch gewünscht ist. In jedem Fall ist eine weitere Existenz nur mit staatlicher Unterstützung möglich.

Bezogen auf den Fall der Company Towns auf Spitzbergen, vor allem von Longyearbyen bedeutet dieses, dass die Fortexistenz allein aus geostrategischen Gründen gerechtfertigt ist. Auch wenn die Stadt nicht mehr von einer einzigen Branche, nämlich dem Bergbau abhängt, bleibt die Stadt in ihrer Abhängigkeit gefangen und wird zu einer Art „State-Company Town“.

LITERATURVERZEICHNIS

- Arlov, Thor: Fra Company Town til Folkestyre. Longyearbyen: Svalbard Samfunnsdrift, 2001
- Avango, Dag; Hacquebord, Louwrens et al.: Between markets and geo-politics: natural resource exploitation on Spitsbergen from 1600 to the present day. In: Polar Record 47 pages 29-39. Cambridge: Cambridge University Press, 2010
- Avango, Dag; Brugmans, Peter: Opp og ned i 100 År: Sveagruva 1917-2017. Longyearbyen: Svalbard Museum, 2018
- Elborough, Travis: Atlas der vergessenen Orte. München: Prestel 2022
- Fessner, Michael: Die Harzer Bergstädte. In: Kaufhold, Karl Heinrich: Stadt und Bergbau. Köln: Böhlau-Verlag, 2004 S.189-199
- Freimuth, Erich: Die Kohlevorkommen auf Spitzbergen und der Bäreninsel. In: Glückauf Heft 45 S.1745 ff. Bochum, Glückauf-Verlag, 1909
- Friedmann, John: Regional Development Policy. Cambridge, Mass.: MIT-Press, 1966
- Gall, Lothar: Krupp – Der Aufstieg eines Industrieimperiums. Berlin: Siedler-Verlag 2000
- Hacquebord, Louwrens; Avango, Dag: Settlements in an Arctic Resource Frontier Region. In: Arctic Anthropology Vol. 46 pp. 25-39. University of Wisconsin, online, 2009

- Hassink, Robert: Locked in decline? On the role of regional lock-ins in old-industrialized areas. In: Boschma, R.; Martin, R.: *Handbook of Evolutionary Economic Geography* pp.450-468. Cheltenham: Elgar Publishing, 2010
- Hemmersam, Peter: *Making the Arctic City*. London: Bloomsbury Publishers, 2023)
- Kastorff-Viehmann: *Wohnungsbau für Arbeiter – Das Beispiel Ruhrgebiet*. Aachen: Dissertationsschrift, 1981
- Kruse, Frigga: *Frozen Assets-British Mining, Exploration and Geopolitics on Spitsbergen*. Groningen: Rijksuniversiteit Groningen, 2013
- Malmgren, Judit: A Mining Community in Arctic Sweden. In: *TICCIH-Bulletin* 93, S.26-27. Online: 2021
- Martin, Ron; Sunley, Peter: Path Dependence and Regional Economic Evolution. In: *Workshop on Evolutionary Economic Geography*. Online: Cambridge, Mass., 2006
- Mikalsen, Knut; Solberg, Marianne: *Det store kullrushet – industriell omstilling i Arktis*. Oslo: Gyldenhal, 2009
- Morisset, Lucie; Mace, Jessica: *Identity on the Land-Company Towns in Canada*. Montréal: Patrimonium: 2019
- Neil, Cecily et al.: *Coping with closure – An international comparison of mine-town experiences*. New York: Routledge, 1992
- Piepjohn, Carsten; Stange, Rolf; Jochmann, Malte; Hübner, Christiane: *Die Geologie von Longyearbyen. 1 Longyearbyen: Longyearbyens feltbiologiske forening*, 2012
- Porter, Michael: *On Competition*. Cambridge, Mass: Harvard Business Review, 2008
- Trinder, Barrie: *The Making of the Industrial Landscape*. Gloucester: Alan Sutton Publishing, 1987
- Vonde, Detlef: *Revier der großen Dörfer*. Essen: Klartext-Verlag, 1989
- Waldhecker, Fritz: *Als Bergmann auf Spitzbergen*. Bochum: Volksblatt-Verlag, 1924

Fallbeispiele von ehemaligen Bergwerkstrukturen zur netz-gebundenen Wärme- und Kälteversorgung in Nordrhein-Westfalen

René Verhoeven, Stefan Klein, Florian Hahn, Kevin Mannke

Fraunhofer IEG, Bochum

ZUSAMMEFASSUNG:

Im Zuge der Treibhausgasneutralität bis 2045 besteht die derzeitige Notwendigkeit von Energieversorgern, neue Wärmenetze innovativer und nachhaltiger zu planen und für Bestandsnetze Transformationspläne für die Dekarbonisierung zu entwickeln.

Durch den Ausstieg aus Kohle und nuklearer Energie gerät eine intensive Nachnutzung von vorhandenem untertägigem Altbergbau insbesondere für die Wärme- und Kälteversorgung im ehem. Aachener Steinkohle bzw. im Ruhrrevier immer mehr in den Vordergrund.

Die ehemaligen gefluteten Gruben sind ein attraktiver Asset zur Nachnutzung als geothermische Quelle und/oder Speicher von saisonalen Überschüssen. Aus Ewigkeitslasten kann somit ein Ewigkeitsnutzen generiert werden. Hierbei spielt vor allem auch der sozial-historische Kontext eine wichtige Rolle. Die Anwendung fasziniert und weckt vermehrt öffentliches Interesse, was die politischen bzw. gesellschaftlichen Rahmenbedingungen und die Akzeptanz für die notwendigen Maßnahmen der Energiewende fördert.

Als Fraunhofer Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermische Systeme (IEG) beschäftigen wir uns mit der Erforschung der Bergbaufolgenutzung und sind derzeit in der Umsetzung von Machbarkeitsstudien und Transformationsprojekten einbezogen.

- 1. Das Wärme- und Kältenetz der 5. Generation auf dem Industrie-, Technologie- und Wissenschaftscampus Mark 51°7 in Bochum mit einer Gebäudenutzfläche von mehr als 210.000 m² als Pilotprojektstandort in Deutschland, entstanden in Nachfolge und auf den Prinzipien des 5. Generationsnetzes mit Grubenwasser in Heerlen (Niederlande). Das System ist derzeit in Errichtung und wird nach Plan Anfang 2025 vollständig in Betrieb sein. Es umfasst drei dezentrale Energieanlagen, die miteinander im Austausch stehen, wobei das Grubenwasser der ehem. Zeche Dannenbaum als Quelle und saisonaler Speicher eingesetzt wird.*
- 2. Das Projekt Richtericher Dell, eine Machbarkeitsstudie, die derzeit abgerundet wird. Diese untersucht die Entwicklung eines Wärme- und Kältenetzes der 5. Generation mit Nutzung von Grubenwasser für das geplante Wohnungsneubaugebiet Richtericher Dell. Das geplante Versorgungsnetzsystem soll auf etwa 37 ha mit ca. 850-900 neuen Wohneinheiten entstehen. Zur Entwicklung der Fläche soll ein Energieversorgungskonzept vorskizziert werden, in welches vorhandene untertägige Infrastrukturen mit einbezogen werden sollen.*

3. *Das Projekt Zeche Zollverein mit dem Ziel der Entwicklung eines Transformationsplan für das UNESCO Welterbe Zeche Zollverein zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2030. Die Stiftung als Eigentümerin der Liegenschaften möchte die Handlungsoptionen identifizieren, welche den klimaneutralen Betrieb des UNESCO-Welterbes Zeche Zollverein ermöglichen. Zollverein als Zukunftsstandort mit Tradition würde damit als Leuchtturm den Strukturwandel in der Rhein-Ruhr-Region repräsentieren und dabei an die Tradition als Energiestandort anknüpfen, indem die gesamten über- und untertägigen Energiepotentiale identifiziert und erschlossen werden. Das Projekt hat erst seit kurzem begonnen, so dass Projektskizze und ggf. einige erste Erkenntnisse dargestellt werden können.*

Ableitung von Hintergrundwerten von Grubenwässern des Steinkohlebergbaus

Georg Wieber, Peter Quensel

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Geowissenschaften

ZUSAMMENFASSUNG:

Die Ableitung von Hintergrundwerten für oberflächennahe Grundwasserleiter wurde von den Ländern auf Grundlage einer durch BLA GEO und LAWA erstellten Excel-Arbeitsmappe durchgeführt. Die Bestimmung der HGW für bergbaulich beeinflusste Wässer ist jedoch schwierig. Grundsätzlich können auch hier Hintergrundwerte – allerdings nur für die einzelnen Bergwerke und nicht für das Grubenwasser insgesamt – berechnet werden, diese stammen allerdings entgegen der ursprünglichen Definition nicht aus einer einzigen hydrogeochemischen Einheit. Um hier eine fundiertere Aussage über die Hintergrundwerte treffen zu können, müssen sowohl der Probenumfang, die Beprobungstiefe und bestenfalls die geologischen, hydrogeologischen sowie hydrologischen Gegebenheiten jedes Standortes bekannt sein. Dann kann mithilfe des Wahrscheinlichkeitspapiers eine individuelle und detailliertere Aussage über die Hintergrundwerte getroffen werden. Weiterhin lassen sich mit Hintergrundwerten und der Ausgrenzung verschiedener Populationen Rückschlüsse auf die Interferenz von Wasserkörpern untereinander ziehen. Dies war im Rahmen dieser Auswertung jedoch nicht möglich.

ABSTRACT:

The derivation of background values for near-surface aquifers was carried out by the states based on an Excel worksheet created by BLA GEO and LAWA. However, determining the HGW for water influenced by mining is difficult. In principle, background values can also be calculated here but only for the individual mines and not for the mine water as a whole, but contrary to the original definition, these do not come from a single hydrogeochemical unit. In order to be able to make a more well-founded statement about the background values, the sample size, the sampling depth and, ideally, the geological, hydrogeological and hydrological conditions of each location must be known. An individual and more detailed statement about the background values can then be made using the probability paper. Furthermore, background values and the exclusion of different populations can be used to draw conclusions about the interference between water bodies. However, this is not possible within the scope of this evaluation.

1 Einführung

Im Rahmen der Forschungsarbeiten des Forums Bergbau und Wasser sollten Hintergrundwerte für Grubenwässer des Steinkohlebergbaus abgeleitet werden. Grubenwässer sind definiert als „alles Wasser, das mit Tief- und Tagebauen in Kontakt steht oder stand“ (Burghardt et al., 2017).

Unter Hintergrundwerten werden die weitgehend geogen bedingten Konzentrationen von Grundwasserinhaltsstoffen verstanden (BLA GEO & LAWA, 2015). Sie dienen der Zustandsbewertung der

Grundwasserkörper nach der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL 2000). Gemäß der Grundwasserordnung wird der geogene Hintergrund über das 90. Perzentil der Verteilung der Stoffkonzentrationen im Grundwasser der für den Grundwasserkörper maßgeblichen hydrogeologischen Einheit (BLA GEO & LAWA, 2015) definiert.

Dabei gestaltet sich die Anwendung der Methode auf Grubenwässer schwierig, da sie aus Wässern unterschiedlicher Herkunft bestehen (Wieber & Stemke, 2021). Die hydrochemische Beschaffenheit ist in Abhängigkeit von dessen Genese stark unterschiedlich (Burghardt et al., 2017). Grundsätzlich sind bergbauliche Wässer durch geologische und natürliche Prozesse geprägt (Schöpel, 2019). Allerdings sind durch die anthropogenen Eingriffe das geochemische Milieu und damit einhergehend die hydrochemische Beschaffenheit der Wässer unterschiedlich stark verändert (Wieber, 1999).

2 Untersuchungsmethode

Walter (2008) hat eine Methode entwickelt, um (kleinräumige) Anomalien anthropogener aber auch geogener Natur in Datenkollektiven zu erkennen. Die von ihm entwickelte Excel Anwendung basiert auf dem statistischen Verfahren von Lepeltier (1969). Bei Darstellung der nach Größe sortierten Analysenergebnisse auf Wahrscheinlichkeitspapier entsteht eine Gerade soweit eine Normal- oder Lognormalverteilung vorliegt (Wieber, 2002). Die Ordinate ist nach dem Gauß'schen Integral geteilt. In Gebieten mit Anomalien weisen die Geraden Knickpunkte auf. Diese sind darauf zurückzuführen, dass in der betrachteten Häufigkeitsverteilung mehrere Normal- bzw. Lognormalverteilungen vorliegen, die unterschiedliche Mittelpunkte auf der Abzisse aufweisen. Liegen die Verteilungen nahe nebeneinander entsteht ein Knickpunkt, der als Threshold gedeutet werden kann (Wieber, 2002). Bei größeren Abständen der Verteilungen entstehen zwei Knickpunkte. In diesen Fällen liegt der Threshold zwischen den Knickpunkten. Nach Lepeltier (1969) ist davon auszugehen, dass der etwa in der Mitte zwischen den Knickpunkten liegt.

Das Excellsheet wird über externe Excel-Tabellen gespeist. Dabei werden spaltenweise die Informationen sowie die Messwerte jedes zu ermittelnden Parameters sowie der Elemente sortiert. Wichtig bei der Vorbereitung der Datengrundlage ist die Beachtung von Werten unterhalb der Nachweisgrenze. Bei einer hohen Anzahl kann dies einen Einfluss auf die Steigung der Geraden und somit die Standardabweichung haben. Sie werden nicht mitberechnet, aber mitberücksichtigt. Diese Werte werden in der Datengrundlage mit einem Minus versehen. Die berücksichtigten Werte sind im zugehörigen Graphen durch einen grünen Pfeil dargestellt (Abb.1). Die externe Tabelle wird von dem Programm nur eingelesen und kopiert, sodass keinerlei Änderungen an dem Original vorgenommen werden. Eine Löschung von Daten im Worksheet hat somit keine Auswirkung auf die Datengrundlage und kann beliebig verändert oder wiederholt werden.

Für die Berechnung wird die entsprechende Datengrundlage ausgewählt sowie das Tabellenblatt und der zu berechnende Parameter ausgewählt (Abb.1 A). Nach der Bestätigung der Eingabe berechnet das Worksheet die statistischen Kennwerte (Abb.1 C) und erstellt die zugehörigen Graphen (Abb.1 D). Neben den statistischen Grundwerten wie Minima, Maxima und Mittelwerte werden ebenfalls Perzentilen berechnet und Tests zur Verteilungsüberprüfung durchgeführt. Zur Überprüfung der Eingabe wird der Datenpfad sowie das berechnete Element angezeigt (Abb.1 B).

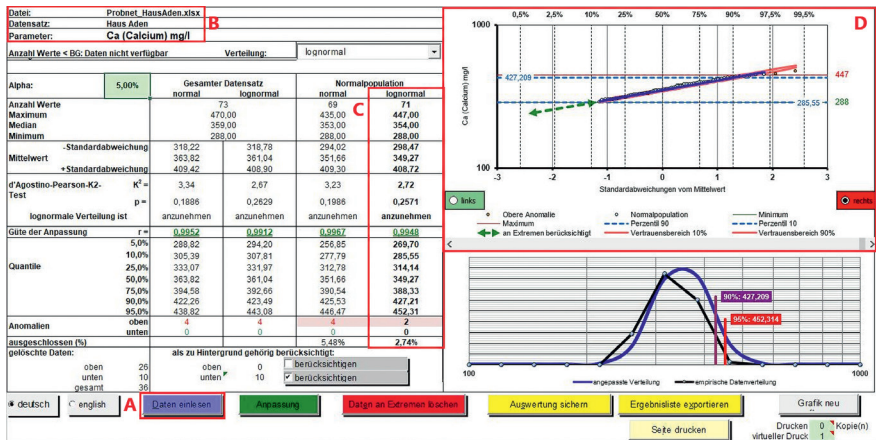


Abb. 1: Worksheet-Oberfläche, eigene Darstellung

Anhand der Grafik kann die Population sowohl als normale oder als auch eine lognormale Verteilung angenommen werden, da die Güte der Anpassung für beide Verteilungen vergleichbar ist. Auch die Güte der Anpassung und die Anzahl an Anomalien bestätigt die statistische Aussagestärke der Berechnung. Im hier gezeigten Fall wird eine lognormale Verteilung angenommen. 71 der 73 eingelesenen Messwerte liegen innerhalb der lognormalen Population. Ebenso liegen alle Messwerte in guter Näherung auf der berechneten Geraden.

Das Excel-basiertes Worksheet zur Auswertung von Wasseranalysen wurde bereits für die Ermittlung von Hintergrundwerten oberflächennaher Wässer eingesetzt wurde.

Ziel unserer Untersuchungen ist die Prüfung, ob mithilfe des Worksheets für die Wasserhaltungsstandorte des Steinkohlebergbaus sinnvolle Gruppierungen der ermittelten Analyseergebnisse und Ableitungen von Hintergrundwerten möglich sind. Diese Untersuchungen werden am Beispiel der Grubenwässer im Saarrevier durchgeführt. Eine weitere Anwendung kann sich daraus hinsichtlich der Ableitung der Flutungs niveaus ergeben.

3 Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse

Das Untersuchungsgebiet liegt im Süd-Westen des Saarlandes, unweit der französischen Grenze (Abb. 1). Hauptvorfluter ist die Saar.

Über dem kristallinen Sockel wird das Grundgebirge aus Gesteinen des Devons, des Karbons und des Perms aufgebaut (Abb. 2). Diese umfassen circa 60% der Gesamtfläche. Vor allem die limnisch-fluviatilen, kohleführenden Schichten des Oberkarbons und des Rotliegenden nehmen den Großteil der Sedimentgesteinsdecke ein. Gesteine der Trias bilden das diskordant dem Paläozoikum aufliegende Deckgebirge. Die Ablagerungen des Quartärs bilden die Lockergesteinsdecke (Deckert et al. 2011; Schneider 1991). Zwischen Pfälzer Wald im Süden und dem Hunsrück im Norden taucht die Oberfläche der devonischen und karbonischen Sedimentgesteine, die im Pfälzer Satteltalgewölbe noch aufgeschlossen sind, nach Norden unter die Saar-Nahe Senke ab.

Teamarbeit ist unser Antrieb.

GEMEINSAM BEWEGEN



100
JAHRE
BAU

STRICKER-GRUPPE.DE

RÜCKBAU INGENIEURBAU STRASSEN- UND TIEFBAU
ENERGIE UND ROHSTOFFE BAUSTOFFPRODUKTION
RECYCLING PROJEKTENTWICKLUNG IMMOBILIEN
DIENSTLEISTUNGEN



GEMEINSAM BEWEGEN

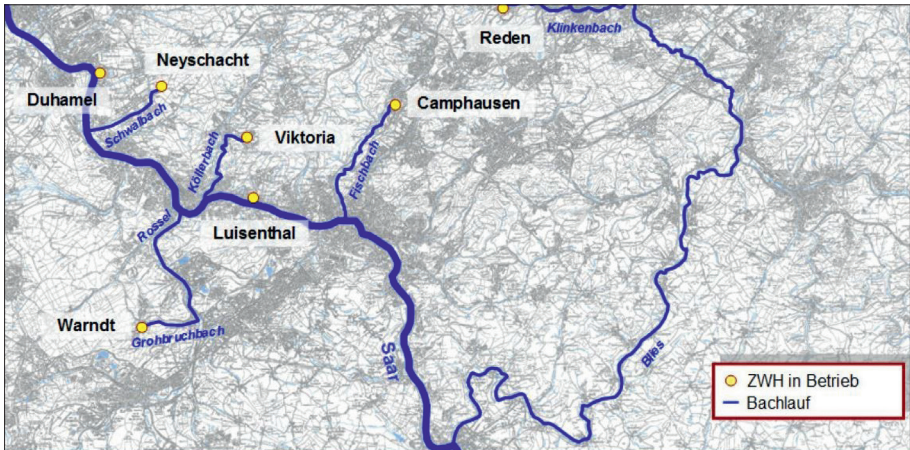


Abb. 2: Übersichtskarte mit Wasserhaltungen, Stand 2006. (aus: RAG Grubenwasserkonzept, 2014)

Petrografisch besteht das Grundgebirge (Kristallin) aus einem oberordovizischen Albitgranit, der in Tiefen zwischen 4000 – 6000 m ansteht. Im Hangenden folgen Gesteine des Devons. Im nördlichen Saarland sind es vor allem Gesteine des Unterdevons (Gedinne-, Siegen- und Ems-Stufe) in Form von Tonschiefern und Quarziten anzutreffen. Im Süden sind mittel- und oberdevonische Plattform- und Flachwasser-Karbonate, sowie Sandsteine und Knollenkalke (Schneider 1991) verbreitet.

Im Hangenden folgen Alaunschiefer mit Mächtigkeiten bis zu 50 m als vorherrschendes Gestein des Unterkarbons. Das ehemals bergbaulich bedeutende Oberkarbon bildet mit der Westfal- und der Stefan-Stufe ein 4000 bis 5000 m mächtiges Steinkohlengebirge. Die ältere Namur-Stufe zeigt lediglich eine Mächtigkeit von bis zu 35 m. Die Kohleflöze werden von Sand-, Silt- und Tonsteinen mit teils konglomeratischer Basis überdeckt (Deckert et al. 2011).

Die Schichten des Oberkarbons streichen nördlich des Saarbrücker Hauptsattel in SW-NE-Richtung (Schneider 1991) und fallen mit 20° bis 40° nach NW ein. Sie werden im Norden und Osten von den Schichten des Rotliegenden (Perm) überdeckt. Im Süden und Westen bilden Gesteine des Buntsandsteins (Trias) die Überdeckung. Sedimentgesteine des Muschelkalks und des unteren Keupers sind auch zu finden (Deckert et al., 2011). Die paläozoischen Folgen werden als Prä-, Syn- und Post-Rift-Ablagerungen gedeutet. Das Deckgebirge des Saarlandes zählt zum Hydrogeologischen Raum 61 (Trias) des Großraumes 6 Süddeutsches Schichtstufen- und Bruchschollenland. Das Grundgebirge aus Perm und Karbon bilden mit der Saar-Nahe-Senke den Raum 82 (BGR & SGD, 2015).

Die Hauptgrundwasserleiter des Saarlandes werden aus den Gesteinen des mittleren Buntsandsteins sowie den Sandsteinen der Kreuznach Gruppe (Rotliegend) aufgebaut (Tab. 1).

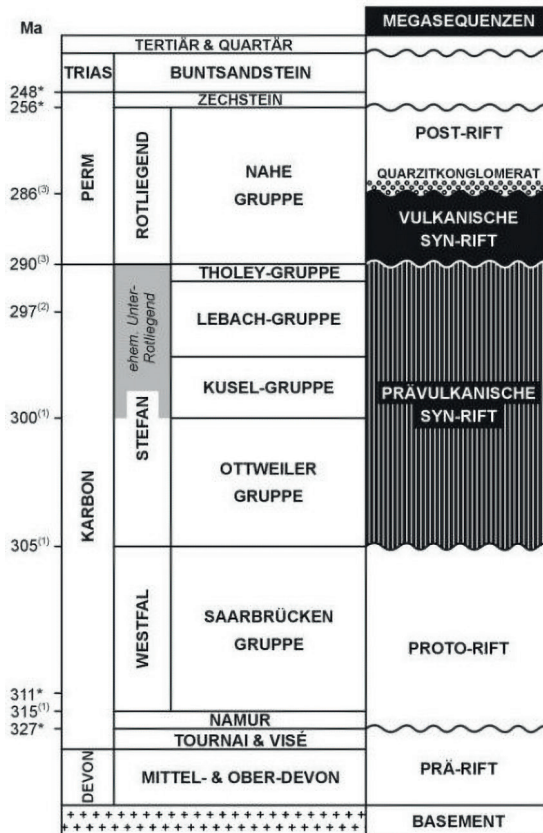


Abb. 3: Lithostratigraphie und Tektonostratigraphie des Saar-Nahe Beckens (aus Boy et al., 2012)

Durch ihre hohen Porositäten von 10 bis 15 % stellen diese Gesteine sehr ergiebige Grundwasserleiter mit durchschnittlichen Mächtigkeiten von 350 m und Permeabilitäten zwischen von 0,4 und 4×10^{-5} m/s dar (Antea, 2003). Zurückzuführen ist dies auf eine intensive Klüftung der Festgesteine und weniger auf die Durchlässigkeit der Porenräume des Sandsteines (Schneider 1991). Die Tabelle 1 stellt die hydraulischen Durchlässigkeiten aus dem Modellansatz mit Einteilung in stratigraphische Einheiten des Saarlandes und die Durchlässigkeiten aus der HÜK 200 gegenüber.

Die im Liegenden folgenden Gesteine des Karbons sind hingegen als Grundwasserstauer bzw. –geringleiter einzustufen (Tab. 1). Die Wasserwegsamkeiten beruhen fast ausschließlich auf Trennfugen wie Schichtgrenzen, Klüfte oder Störungen. Da das Karbon über äußerst geringes Hohlräumvolumen verfügt, leisten diese Gesteine nur einen sehr geringen Beitrag zum Wasserhaushalt (Wagner & König, 2009). Der als Grenzlette bezeichnete tonige Verwitterungshorizont des Karbons wirkt zudem als hydraulische Sperre zwischen wasserführendem Deckgebirge (Buntsandstein) und nicht leitendem Steinkohlengebirge (Deckert et al., 2011).

Über die Tiefenperkolation, also Wasserbewegungen in der Tiefenstufe des Kohlebergbaus liegen keine Daten vor. Inwieweit Wasserwegsamkeiten und hydraulische Potenziale zwischen den Gebieten links und rechts der Saar bestehen, sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Hingegen ist die Beschaffenheit der Wässer aus diesem Tiefensegment schon von Interesse.

Tab. 1: Durchlässigkeiten der saarländischen Gesteine (aus Wagner & König, 2009)

Stratigraphie		Durchlässigkeiten	
		Modellansatz	HÜK
Quartär	q	$1 \cdot 10^{-4}$ m/s	$1 \cdot 10^{-6}$ - $1 \cdot 10^{-4}$ m/s
Oberer Keuper	ko	$9 \cdot 10^{-6}$ m/s	<
Mittlerer Keuper	km		$1 \cdot 10^{-5}$ m/s
Unterer Keuper	ku		
Oberer Muschelkalk (C)	mo2	$5 \cdot 10^{-6}$ m/s	
Oberer Muschelkalk (T)	mo1	$5 \cdot 10^{-5}$ m/s	$1 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-3}$ m/s
Mittlerer Muschelkalk	mm	$5 \cdot 10^{-8}$ m/s	$1 \cdot 10^{-9}$ - $1 \cdot 10^{-7}$ m/s
Unterer Muschelkalk	mu	$1 \cdot 10^{-5}$ m/s	$1 \cdot 10^{-6}$ - $1 \cdot 10^{-4}$ m/s
Oberer Buntsandstein	so		$1 \cdot 10^{-6}$ - $1 \cdot 10^{-4}$ m/s
Mittlerer Buntsandstein	sm		$1 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-3}$ m/s
Kreuznacher Schichten	Kreuznacher Schichten	$5 \cdot 10^{-5}$ m/s	$1 \cdot 10^{-6}$ - $1 \cdot 10^{-4}$ m/s
Oberrotliegendes	ro	$5 \cdot 10^{-6}$ m/s	<
Unterrotliegendes Karbon (Stefan)	ru cst (Stefan)		$1 \cdot 10^{-5}$ m/s
Karbon (Westfal)	cw	$5 \cdot 10^{-7}$ m/s	
Devon	d	$5 \cdot 10^{-7}$ m/s	

Das Saarland ist entsprechend der Verbreitung der oberen Gesteinsschichten in mehrere hydrogeologische Einheiten unterteilt worden (Tab. 2). Dabei überwiegen vor allem die Klastite des Rotliegenden (Einheit 08P2), gefolgt vom Buntsandstein (ungegliedert, Einheit 06M11) und dem karbonatisch-klastischen Muschelkalk (ungegliederter, Einheit 06M9).

Dieser Gliederung folgt nun auch die Einteilung der Hintergrundwerte oberflächennahen Grundwasserkörper (Tab. 2). Hierbei wird das 90. Perzentil der Verteilung als Hintergrundwert angenommen. Für die Einheit 08V3 (Rotliegend Vulkanite) und 11Ka liegen keine Hintergrundwerte vor, sie sind daher auch nicht in die Tab. 2 übernommen worden.

Die Leitfähigkeit (LF) ist in $\mu\text{S}/\text{cm}$ angegeben, alle Elementgehalte in mg/l . Die Hintergrundwerte für die oberflächennahen Grundwässer des Saarlandes (Tab. 2) sind durch neutrale bis schwach basische pH-Werte sowie überwiegend geringe elektrische Leitfähigkeiten ($< 1.250 \mu\text{S}/\text{cm}$) charakterisiert. Lediglich für die Grundwässer des salinaren Keupers, der allerdings nicht im Untersuchungsraum ansteht, beträgt der Hintergrundwert der elektrischen

Leitfähigkeit 2090 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Konzentrationen der Hauptkationen und -anionen liegen i.d.R. auf einem vergleichsweise geringen Niveau (Tab. 2). Höhere Gehalte werden lediglich für die Grundwässer des salinaren Keupers für Calcium (392 mg/l) sowie für Sulfat (952 mg/l) angegeben. Ebenso sind die Sulfatgehalte in den Grundwässern des saarländischen Muschelkalks (169 mg/l) sowie des Rotliegend (156 mg/l) moderat erhöht (Tab. 2).

Tab. 2: Hintergrundwerte (90%-Perzentile) der hydrogeochemischen Einheiten nach BLA GEO & LAWA (Angaben in mg/l soweit nicht anders angegeben)

Hydrogeochemische Einheit	pH	LF [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Ca	Cl	HCO_3
06K2.1; quartäre Kiese und Sande, vorwiegend karbonatisch	7,61	910	119	54,7	426
06M10; unterer Muschelkalk, karbonatisch-klastisch	7,72	829	131	31,9	484
06M11; Buntsandstein, ungegliedert	7,52	680	85,7	31,9	334
06M12; oberer Buntsandstein klastisch	7,8	634	75,8	57,4	421
06M6; mittlerer Keuper, salinar	7,5	2090	392	74,6	516
06M7; unterer Keuper	7,57	1160	159	139	495
06M9; Muschelkalk ungegliedert, karbonatisch-klastisch	7,55	1050	162	75,8	468
08P11; paläozoische Schiefer und Sandsteine	7,47	689	69,5	27,2	243
08P13; paläozoische Sandsteine und Quarzite	7,31	724	59,4	27,3	197
08P2; Rotliegend Klastite	7,8	1250	137	63,3	501

Hydrogeochemische Einheit	K	Mg	Na	SO_4
06K2.1; quartäre Kiese und Sande, vorwiegend karbonatisch	4,82	31,7	7,19	81,2
06M10; unterer Muschelkalk, karbonatisch-klastisch	4,63	49,8	8,47	62
06M11; Buntsandstein, ungegliedert	5,16	27,3	9,81	61,8
06M12; oberer Buntsandstein klastisch	0	31,4	24,2	43,2
06M6; mittlerer Keuper, salinar	11	81,6	27,1	952
06M7; unterer Keuper	4,59	65,1	15,7	88,3
06M9; Muschelkalk ungegliedert, karbonatisch-klastisch	4,73	55,7	17,3	169
08P11; paläozoische Schiefer und Sandsteine	2,91	22	19,2	49,1
08P13; paläozoische Sandsteine und Quarzite	2,89	14,5	12,5	48,7
08P2; Rotliegend Klastite	8,62	47,7	43,2	156

Im Saarland beträgt der mittlere Niederschlag in den Wintermonaten ca. 510 mm, In den Sommermonaten liegt er bei ca. 450 mm. Die Grundwasserneubildung lässt sich mit ca. 160 mm/a (Median 150 mm/a) ansetzen (WIEBER et al., 2023).

4 Bergbau und Bergwerkshydrogeologie

Die Saar teilt den Betrachtungsraum (Abb. 1) in einen südwestlichen Bereich mit dem

- Bergwerk Warndt bei Großrossel, westlich Forbach

und einen nordöstlichen Bereich mit den Bergwerken:

- Grube Viktoria bei Püttlingen,
- Grube Luisenthal in Völklingen,
- Bergwerk Saar, ehemals Duhamel, Stadtteil Fraulautern bei Saarlouis,
- Grube Camphausen in Quierschied,
- Grube Reden in Schiffweiler bei Neunkirchen.

Diese Bergwerke bilden den Rest einer ehemals deutlich größeren Bergbauregion (Abb. 3).

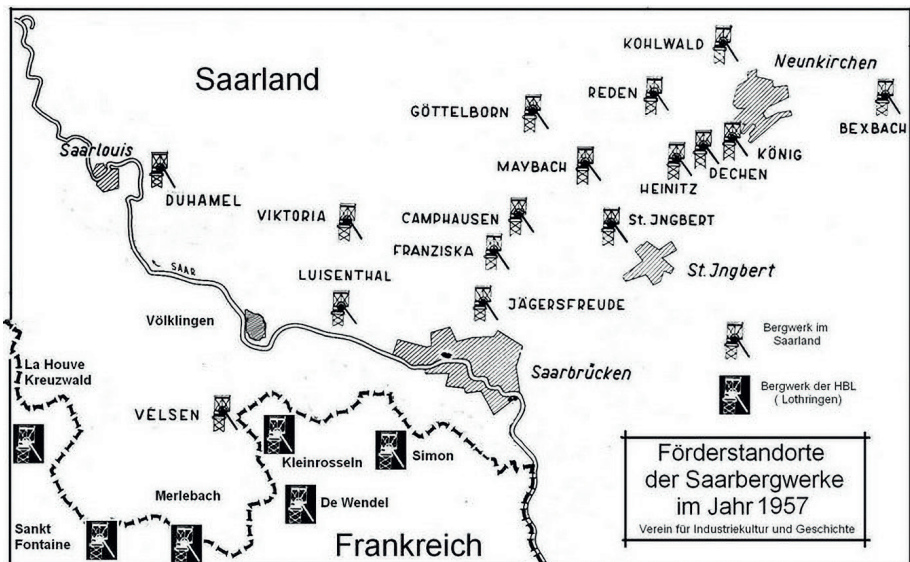


Abb. 4: Förderstandorte der Saarbergwerke im Jahr 1957
(aus: <http://www.saar-nostalgie.de/Saargruben.htm>)

Durch den Kohlebergbau wurden die natürlichen hydrogeologischen Verhältnisse erheblich verändert. Mit dem Bergbau und der damit einhergehenden Massenverlagerung hat der Mensch massiv in die geo- und hydrodynamischen Vorgänge eingegriffen. Auflockerungs-, Verwitterungs-,

Erosions- und Sedimentationsprozesse wurden beschleunigt (Wieber, 1994). Als Folge treten teils irreversible Veränderungen der Umwelt auf.

Während des aktiven Kohleabbaus musste der Grundwasserspiegel bis unter das Abbauniveau abgesenkt werden. Nach Einstellung des aktiven Abbaus werden derzeit die saarländischen Kohlebergwerke (teil-)geflutet (Abb. 5). Innerhalb der überwiegend nur gering permeablen karbonischen Kluftgrundwasserleiter wurden mit den Stollen und Schächte und den verfüllten Abbaubereichen Wegsamkeiten geschaffen, in denen das Grundwasser mit hohen Geschwindigkeiten zirkulieren kann (Volkersdorfer, 1996; Wieber, 1999; Melchers et al., 2019). Dazu bilden diese Hohlräume noch ein hohes zusätzliches Speichervolumen. Hydraulisch entstand so eine Situation, die vereinfacht als überdimensionale Tiefendrainagen mit Ausdehnungen von bis zu mehreren Quadratkilometern und Teufen von bis über 1.000 m verglichen werden kann (Wieber, 1999).

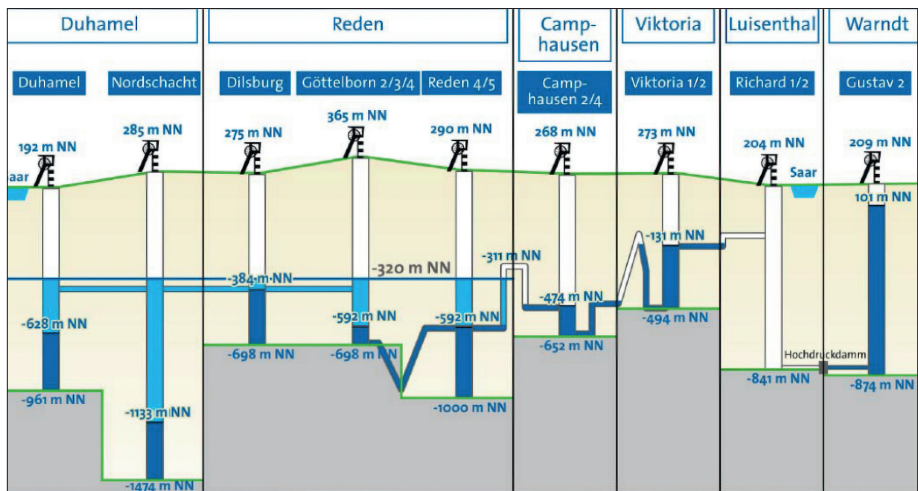


Abb. 5: Geplanter Grubenwasseranstieg im Saar-Revier in der genehmigten Phase 1
(aus: Melchers et al., 2019)

Grubenwässer setzen sich hydrogeologisch aus Wässern verschiedener Herkunft und variierenden Beschaffenheiten zusammen (Wieber & Stemke, 2021), wobei sich mit unterschiedlichen Anstiegsniveaus die Mischungsverhältnisse im gehobenen Wasser ändern können.

5 Datengrundlage

Zur Untersuchung der Hintergrundwerte von Grubenwässern im Saarland stehen Daten aus den sechs Bergwerken Duhamel, Viktoria, Luisenthal, Camphausen, Reden und Warndt (Abb. 2, 4, 5) zur Verfügung. Zusammengenommen liegen Analysenergebnisse von 1473 Wasserproben vor, wobei der Parameterumfang allerdings variiert (Wieber et al., 2023). Durchgängig sind vor allem die Parameter Temperatur, pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit gemessen worden, daraus resultiert ein deutlich größerer Probenumfang als bei den anderen Parametern. Die meisten Untersuchungen wurden von der Ruhrkohle AG auf Grund regelmäßiger Eigenkontrollen von Januar 2000 bis Ende 2019 beziehungsweise im Rahmen der Beweissicherung vorgenommen worden. Zu beachten ist die Klassifizierung der Wässer. Es handelt sich hierbei um gehobene Grubenwässer, also Mischwässer verschiedener Endteufen und Pumpniveaus (Abb. 5). Dabei ist aber die genaue Verortung und Einstufung des Wassertyps (Sickerwasser, Tiefengrundwasser etc.) häufig nicht eindeutig möglich. Daneben wurden aber auch untergeordnet punktuelle Einzelproben ermittelt (z.B. Jenal, 1985). Der Betrieb des Bergwerk Warndt wurde im August 2006 eingestellt, sodass danach keine Analysen mehr zur Verfügung stehen.

6 Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse der Berechnung der Hintergrundgehalte der Grubenwässer im Saarland sind in einer zusammenfassenden Tabelle am Ende dieses Kapitels zusammengestellt (Tab. 3).

Für das im Bergwerk Camphause gehobene Wasser lässt sich für alle Parameter nur eine Population feststellen, die vorliegenden Messwerte sind daher nur einer Verteilung zuzuordnen. Die abgeleiteten Hintergrundwerte betragen 7,76 (pH Wert), 6899 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (elektrische Leitfähigkeit), 147 mg/l (Calcium), 1697 mg/l (Chlorid), 1032 mg/l (Hydrogencarbonat), 34,6 mg/l (Kalium), 166 mg/l (Magnesium), 1188 mg/l (Natrium) sowie 587 mg/l (Sulfat).

Anders sieht das für das im Bergwerk Duhamel geförderte Grubenwasser aus. Hier lassen sich deutlich zwei Populationen für die Parameter pH Wert, elektrische Leitfähigkeit, Chlorid, Calcium und Natrium unterscheiden mit teils massiv voneinander abweichenden Stoffkonzentrationen. Dies äußert sich auch in den deutlich unterschiedlichen Leitfähigkeiten von 4117 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 17720 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Natrium- und Chloridgehalte betragen 895 mg/l Cl bzw. 531 mg/l Na (Population 1), in der 2. Population hingegen 6128 mg/l Cl bzw. 3134 mg/l Na. Für die Parameter Calcium (197 mg/l – 850 mg/l), Kalium (23,1 mg/l – 44,2 mg/l), Magnesium (124 mg/l – 338 mg/l) lassen sich ebenfalls 2 Populationen differenzieren. Die Verteilungen der Hydrogencarbonat- (618 mg/l) und Sulfatkonzentrationen (451 mg/l) sind hingegen lognormal verteilt und weisen keine relevanten Knickpunkte auf.

Auch für die Verteilung der Wasseranalysen in dem Bergwerken Luisenthal lassen sich für die Parameter elektrische Leitfähigkeit (5140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 15690 $\mu\text{S}/\text{cm}$), Chlorid (973 mg/l – 5376 mg/l) sowie Sulfat (509 mg/l – 963 mg/l) zwei unterschiedliche Populationen differenzieren. Lediglich einer Population zuzuordnen sind die vorliegenden Analysenergebnisse von pH Wert, Calcium, Hydrogencarbonat, Kalium, Magnesium, Natrium und Sulfat mit den Hintergrundwerten von 143 mg/l Ca, 1057 mg/l HCO_3 , Kalium 37,0 mg/l, Natrium 699 mg/l.

Bei den Wasseranalysenergebnissen vom Bergwerk Reeden lassen sich bei den Parametern pH (7,7 – 8,1) und Sulfat (246 mg/l – 334 mg/l) jeweils zwei Populationen unterscheiden. Lediglich einer Verteilung zuzuordnen sind die Analysenergebnisse für elektrische Leitfähigkeiten (HW) 2477 µS/cm, Calcium 80,8 mg/l, Chlorid 261 mg/l, Hydrogencarbonat 1061 mg/l, Kalium 18 mg/l, Magnesium 93,3 mg/l sowie Natrium 357 mg/l.

Die Analysenergebnisse vom Bergwerk Viktoria zeigen lediglich beim Parameter Chlorid Knickpunkte, die auf zwei Populationen hinweisen. Die entsprechenden Hintergrundwerte (HW) betragen 175 mg/l bzw. 387 mg/l. Die Analysenergebnisse für die übrigen Parameter sind nur einer Population zuzuordnen. Für sie wurden folgende Hintergrundwerte über das 90. Perzentil abgeleitet: pH-Wert von 7,0, elektrische Leitfähigkeit 3135 µS/cm, Calcium 89,1 mg/l, Hydrogencarbonat 989 mg/l, Kalium 27,9 mg/l, Magnesium 148 mg/l, Natrium 402 mg/l und Sulfat 523 mg/l.

Für die Grubenwässer des Bergwerk Warndt liegen nur für die Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Chlorid und Sulfat ausreichende Analysen vor, um daraus Hintergrundwerte abzuleiten. Für den Parameter Chlorid weisen Knickpunkte auf zwei Populationen mit den Hintergrundwerten von 3379 mg/l bzw. 7337 mg/l. Die Hintergrundwerte für die übrigen Parameter betragen 7,5 (pH Wert), 20422 µS/cm (elektrische Leitfähigkeit) sowie 137 mg/l (Sulfat).

Tab. 3: Hintergrundwerte für die Steinkohlegrubenwässer des Saarlandes
(Angaben in mg/l soweit nicht anders angegeben)

Bergwerk	HW	Camphausen	Duhamel	Luisenthal	Reden	Viktoria	Warndt
pH-Wert	HW 1	7,8	7,1	7,6	7,7	7,0	7,5
	HW 2		7,5		8,1		
Elektr. Leitf. (µS/cm)	HW 1	6899	4117	5140	2477	3135	20422
	HW 2		17720	15690			
Na	HW 1	1188	532	699	357	402	
	HW 2		3134				
K	HW 1	34,6	23,1	37,0	18,0	27,9	
	HW 2		44,2				
Mg	HW 1	166	124	274	93,3	148	
	HW 2		338				
Ca	HW 1	147	197	143	81,0	89,1	
	HW 2		850				
HCO ₃	HW 1	1032	618	1057	1061	989	
Cl	HW 1	1697	895	973	261	175	3379
	HW 2		6128	5376		387	7337
SO ₄	HW 1	587	451	509	246	523	137
	HW 2			963	334		

7 Auswertung der Ergebnisse

Die Auswertung der vorliegenden Analysenergebnisse der Grubenwässer zeigt, dass nach der vorgestellten Methode Hintergrundwerte berechnet werden können. Die Hintergrundwerte der einzelnen Bergwerke unterscheiden sich zum Teil erheblich. Es sind also nicht für die einzelnen Parameter allgemein gültige Hintergrundwerte abzuleiten. Dazu unterscheiden sich die Probenahmen (z.B. Teufen) sowie geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse zu deutlich voneinander.

Mit diesen Hintergrundwerten kann jetzt in verschiedene Richtungen weiter gearbeitet werden. Auf der Hand liegt es, eine Zuordnung der hydrochemischen Daten auf definierbare Wasserkörper vorzunehmen, um sodann Mischungen identifizieren zu können, die auf bestehende Wasserwegsamkeiten bestätigen bzw. auf unbekannte Verbindungen hinweisen.

In der Tab. 3 sind die für die bearbeiteten Bergwerke ermittelten Hintergrundwerte gegenübergestellt. Zum Teil konnten die vorliegenden Analysenergebnisse unterschiedlichen Populationen zugeordnet werden.

Gegenüber den vorliegenden, oberflächennahen Hintergrundwerten für das Saarland (Tab. 2) lassen sich teilweise erhebliche Unterschiede feststellen. Insbesondere bei den Parametern elektrische Leitfähigkeit, Chlorid und Natrium wurden erheblich höhere Hintergrundwerte abgeleitet. Hierfür können sicherlich auch geogene Gründe angenommen werden wie möglicherweise Aufstieg oder Zufluss höher chlorierter (Tiefen-) Wässer aus Frankreich.

Generell dürfte davon ausgegangen werden, dass mit zunehmender Teufe höher mineralisierte Wässer aufgrund sehr langer Kontaktzeiten verbreitet sind. Die eher niedrigen Sulfatgehalte zeigen, dass der Pyritoxidation in den saarländischen Gruben keine größere Bedeutung zukommt. Das wird zudem auch durch die gemessenen pH Werte untermauert, die gegenüber den saarländischen Hintergrundwerten (HGW) nur gering abweichen (7,0 bis 8,1 gegenüber 7,3 bis 7,8).

Aus der Abgrenzung der Hintergrundwerte lassen sich Beziehungen zwischen dem Grubenwasser, einem Mischwasser und dem Hintergrundwert (HGW) der zugehörigen Hydrogeochemischen Einheit (hier 08P2 Rotliegendeklastite und 06M11 Buntsandstein) des oberflächennahen Grundwassers erkennen. Unter dem Analysetitel HGW2 finden sich eher die höher mineralisierten Wässer. Die Population W1 kann als Mischwasser zwischen dem originären Grubenwasser und einem perkolierenden, oberflächennäherem Grundwasser aufgefasst werden. Zur Verifizierung sind allerdings weitere eingehende lagerstätten-bergbautechnische und hydrogeochemische Auswertungen erforderlich

Ausnahme bildet das Untersuchungsbild des Bergwerkes Warndt. Hier scheinen die Verhältnisse umgekehrt, HGW1 kann als Grubenwasser und HGW2 als Mischwasser aufgefasst werden. Die Datenlage ist jedoch nicht ausreichend um hier Eindeutigkeit zu schaffen. Der Einfluss höher mineralisierter Wässer aus Lothringen, gerade das Chlorid betreffend, muss betrachtet werden. Im Bewirtschaftungsplan Bearbeitungsgebiet Mosel-Saar (IKSMS 2009) werden Grundwasserkörper und auch Tiefengrundwasserkörper mit einem schlechten chemischen Zustand südlich der Saar dargestellt, Diese Einstufung bezieht sich aber eher auf die oberflächennahen Grundwasservorkommen, die zur Wassergewinnung genutzt werden.

8 Diskussion

Die Berechnung der Hintergrundwerte basiert auf einer Methode, welche für oberflächennahe Gewässer einer bestimmten hydrogeochemischen Einheit festgelegt wurde (BLA GEO &LAWA, 2015). Bei den hier vorliegenden Analysen handelt es sich allerdings, wie bereits in der Einführung beschrieben, um stark veränderte Wässer, die durch die Abbautiefe, also der Tiefe der Wasserhaltung, eine weitere räumliche Variable aufweisen. Ein direkter Vergleich ist ohne Kenntnis der räumlichen Herkunft (hier die Tiefe) nicht möglich oder müßig, da das Einzugsgebiet nicht bekannt ist.

Zu beachten ist weiterhin die unterschiedliche Anzahl an Werten, die für jedes Bergwerk und jeden Parameter zu Verfügung stehen. Je nach Beginn, Umfang und Turnus der Beprobung entstehen Unterschiede, die eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse untereinander ebenfalls einschränken.

Die überwiegende Anzahl der Analysen, die hier herangezogen wurden, beziehen sich auf gehobene Grubenwässer. Das bedeutet, dass es sich um Mischwässer verschiedener Tiefen handelt. Als bekannte räumliche Variable lässt sich über die geographische Lage eine Zuordnung zu tektonischen Großeinheiten (Sättel, Mulden, Störungen) vornehmen, die nicht nur durch unterschiedliche Vererzungsintensitäten gekennzeichnet sind, sondern auch Einfluss auf die räumlichen Ausprägung der natürlichen Wasserwegsamkeiten haben dürften. Hier werden die hydraulischen Systeme, Sickerwasser, Kluftgrundwasser und Grubenwasser miteinander verschnitten.

Im Allgemeinen steigt mit zunehmender Teufe auch die Salinität des Grundwassers. Dies zeigt sich bereits in einer Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit. Vier der sechs Bergwerke zeigen hier eine circa 5-fach höhere Leitfähigkeit als oberflächennahe Wässer. Das Bergwerk Warndt weist eine 30-fach erhöhte Salzkonzentration auf. Zurückzuführen sind diese hohen Werte auf die Beprobungstiefe von bis zu -810 m NN. Im Allgemeinen liegen alle Element-Hintergrundwerte ebenfalls deutlich über dem Hintergrundwert der korrelierenden hydrogeochemischen Einheit. Nur die Calciumwerte des Bergwerks Reden liegen unterhalb der Referenz. Vor allem die Natrium- und Chlorid-Konzentrationen sind deutlich erhöht, was die salinare Natur der Bergwerkswässer sehr gut widerspiegelt. Alle anderen Elementgehalte liegen im Durchschnitt doppelt so hoch wie die oberflächennahe Referenz.

Für die Herkunft höherer Salzfrachten können verschiedene Quellen angenommen werden. Juveniles, aszendentes Wasser aus dem Kristallin, Formationswasser aus den abgelagerten Sedimentgesteinen oder meteorische Wässer die über eine Tiefenperkolation verändert wurden. Im Rahmen dieser Problematik kann auch die Klärung der Frage, warum sich die Wässer eines Standortes in bestimmten Parameterkonzentrationen als Populationen deutlich voneinander abweichen, bei anderen Stoffen aber keine Unterscheide zeigen, zum Verständnis der Genese von Grubenwässern beitragen.

Die Ergebnisse zeigen, dass zwischen den Hintergrundwerten der oberflächennahen Wässer und den bergbaulich beeinflussten Wässern eindeutige Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung bestehen. Daher ist es möglich, eine Einstufung und Beurteilung zu erwartender Elementfrachten bei der Einleitung von Grubenwasser in Oberflächengewässer vornehmen.

Leider lässt es die Datenlage nicht zu, den im Raum aufgenommenen hydrogeochemischen Verhältnissen eine zeitliche Komponente an die Seite stellen und so Prognosen für die zukünftige Entwicklung stellen zu können.

LITERATURVERZEICHNIS

- AD-HOC-Arbeitsgruppe Hydrogeologie (2016): Regionale Hydrogeologie von Deutschland. – Geol. JB Reihe A, Hrsg. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, - Geol. Jb., A 163: 456 S., 264 Abb., Hannover.
- Antea (2003): Auswirkungen der Grubenstilllegung auf den Wasserkreislauf (MINWATER) – Modellierung mit Grubenwasserüberlauf. – unveröffentlichtes Gutachten, Antea Alsace Lorraine et Franche-Comté, Vandoeuvre 2003.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften (BGR) & Staatliche Geologische Dienste (SGD) (2015): Hydrogeologische Raumgliederung von Deutschland HYRAUM. – Karte; Hannover.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften (BGR): Hydrogeologische Übersichtskarte des Saarlandes (HÜK250) – Hannover.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften (BGR) (1979): Geologische Übersichtskarte 1 : 200 000, Blatt CC 7102 Saarbrücken. – Hannover.
- Birk, F., Domalski, R. & Rüterkamp, P. (1986): Bergbau und Grundwasser im Saarland – Untersuchung über die Auswirkung des Bergbaus im Saarland auf das Grundwasservorkommen im Buntsandstein. – Westfälische Berggewerkschaftskasse WBK: 111 S., Bochum (Gutachten, erstellt i.A. des Landesamtes für Umweltschutz, Naturschutz und Wasserwirtschaft Saarbrücken).
- Boy, J.A., Haneke, J., Kowalczyk, G., Lorenz, V., Schindler, T., Stollhove, H. & Thum, H. (2012): Rotliegend im Saar-Nahe-Becken, am Taunus-Südrand und im nördlichen Rheingraben.- In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Koordination und Redaktion: H. Lütznert & G. Kowalczyk für die Subkommission Perm-Trias): Stratigraphie von Deutschland X. Rotliegend. Teil I: Innervariscische Becken; Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, 61: 254-377, Hannover.
- BLA-GEO (Bund-Länder-Ausschuss Bodenforschung) & LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2015): Hydrochemische Hintergrundwerte im Grundwasser und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft. – 22 S., 3 Abb., 2 Tab., Anhang. https://www.lawa.de/documents/kg_sgd_lawa_hintergrundwerte_151001_1552302338.pdf
- Burghardt, D., Coldewey, W. G., Melchers C., Messer, J., Paul, M., Walter, T., Wesche, D., Westermann, S., Wieber, G., Wisotzky, F. & Wolkersdorfer, C. (2017): Glossar Bergmännische Wasserwirtschaft. – Fachsektion Hydrogeologie in der DGGV (Hrsg.): 79 S., Neustadt/Weinstraße.
- Deckert, H., Kriebs, K., Münch, M., Streb, Ch., Wieber, G. & Malm, F. (2011): Abschlussbericht: Erstellung einer Geothermiefaziesanalyse für das Saarland. – 184 S., 4 Anl., Bingen.
- Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union (2000): EG-WRRL 2000: Richtlinie 2000/60/EG vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. – Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 327 vom 22.12.2000, S.1-72, Brüssel.
- EG WRRL – RICHTLINIE 2000/60/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Amtsblatt der Europäischen Union (ABl) ABl. L 327 vom 22.12.2000, S. 1; Luxemburg.
- Geologisches Landesamt des Saarlandes (Hrsg.) (1987, 1989, 1992): Hydrogeologische Karte des Saarlandes 1:100.000, 3 Blätter – 1. Wasserleitvermögen des Untergrundes, 2. Geologische Übersichtskarte, 3. Grundwasserbeschaffenheit. Saarbrücken.
- Herrmann, F. (2007): GIS-gestützte Modellierung der Gesamtabfluss-, Direktabfluss-, und Grundwasserneubildung für das Saarland. – Endbericht. ICG IV, 60 S.; Jülich (Forschungszentrum Jülich GmbH).
- IKSMS – Internationale Kommissionen zum Schutze der Mosel und der Saar (Hrsg) (2009): Internationale Flussgebietseinheit Rhein, Internationales Bearbeitungsgebiet Mosel-Saar (Teil B) Bewirtschaftungsplan 2010-2015. – 73 S., Anh. mit 13 Karten und 8 Tab.; Trier.
- Jenal, P. (1983): Hydrogeochemische Untersuchungen an Grubenwässern des Saarkarbons. – 130 S; Saarbrücken (Diss.).



arcccon

Ingenieurgesellschaft mbH

BERGBAU
GEOTECHNIK
UMWELT
ARBEITSSICHERHEIT

www.arcccon-ing.de

- Konzan, H.-P. & Müller, E. (1989): Geologische Übersichtskarte des Saarlandes 1:100.000. – Geologisches Landesamt des Saarlandes (Hrsg.); Saarbrücken.
- Lepeltier, C. (1969): A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. – In: *Econ. Geol.*, 64: 538-550, Lancaster PA.
- Melchers, C., Westermann, S. & Reker, B. (2019): Evaluierung von Grubenwasseranstiegsprozessen. – *Berichte zum Nachbergbau*, Heft 1: 130 S., Bochum.
- Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2017): Bewirtschaftungsplan für das Saarland – Hintergrundpapier Bergbau zum 2. Bewirtschaftungsplan 2016-2021 zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) im Saarland. 54 S., 2 Abb., 28 Tab., 2 Anl., Saarbrücken.
- RAG – Ruhrkohle AG (Hrsg. 2014): Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für das Saarland. – 17 S.; Herne.
- RAG – Ruhrkohle AG (Hrsg., 2012): Geschichte des Saarbergbaus. – 10 S., Herne.
- Schöpel, M. (2019): Erbstollen des Altbergbaus auf Steinkohle und deren Auswirkung auf die Wasserqualität der unteren Ruhr unter Berücksichtigung der Grubenwassereinleitung der Ruhrkohle AG. – 54 S., 2 Anl., Bochum.
- Schneider, H. (1991): Saarland – Sammlung geologischer Führer, Bd. 84: 271 S., Stuttgart, Gebr. Borntraeger Verlag.
- Schröder, E. (1936): Die Erzvorkommen des Saarlandes. – In: *Zur Geologie des Saarlandes*, Abh. d. preuß. Geol. LA, H. 171: 115 S., 10 Abb.; Berlin.
- Wagner, J. & König, C. (2009): Grundwassermodell Saarland. Ergebnisse des Forschungs- und Entwicklungsprojektes zur Erarbeitung eines numerischen Grundwassermodells für das gesamte Saarland – Abschlussbericht. Arbeitsgemeinschaft Grundwasser- und Geoforschung, Neunkirchen, Saar & delta h Ingenieurgesellschaft mbH, Neunkirchen/ Saar und Witten, NRW.
- Walter, T. (2008): Determining natural background values with probability plots. – In: *EU Groundwater Policy Developments Conference* 13.-15. Nov. 2008: S. 80, 1 Abb.; UNESCO, Paris (France).
- Walter, T., Beer, A., Brose, D., Budziak, D., Clos, P., Dreher, T., Fritsche, H.-G., Hübschmann, M., Marciznek, S., Peters, A., Poeser, H., Schuster, H.-J., Wagner, B., Wagner, F., Wirsing, G. & Wolter, R. (2010): Determining natural background values with probability – In: *Proceedings of IAH-conference*, 12, 12.-17. Sept. 2010 p. 716-717; Krakow, Poland.
- Wieber, G. (1994): Das ehemalige Erzrevier an der Unteren Lahn – hydro- und geochemische sowie umwelt-geologische Verhältnisse unter Berücksichtigung der Rückstände aus der Erzaufbereitung. – *Gieß. Geol. Schr.*, 52: 284 S., Gießen (Dissertation).
- Wieber, G. (1999): Die Grubenwässer des ehemaligen Blei-, Zink-, Kupfer- und Quecksilbererzbergbaus an Beispielen des westlichen Rheinischen Schiefergebirges und der Saar – Nahe – Senke: Hydraulik, hydrochemische Beschaffenheit und umweltgeologische Bewertung. – 250 S., 69 Abb., 57 Tab., Gießen (Habil. – Schrift).
- Wieber, G. (2002): Bodenverunreinigungen und Bodenschutz I: rechtliche und naturwissenschaftliche Grundlagen. – *Weiterbildender Studiengang Angewandte Umweltwissenschaften [Hrsg.]*: 156 S., Koblenz.
- Wieber, G. & Stemke, M. (2021): Grundlagen des Grubenwasseranstiegs in stillgelegten deutschen Steinkohlebergwerken. – In: *bbr*, 04-2021, S. 48-52, 8 Abb., 1 Tab., Bonn.
- Wieber, G., Quensel, P. & Henn, R. (2023): Ermittlung von Hintergrundwerten für Grubenwässer des Steinkohlebergbaus im Saarlandes. – In: *Mainzer Geowiss. Mitt.*, 51: S. 173-192, 8 Abb., 9 Tab., Mainz.
- Wolkersdorfer, C. (1996): Hydrogeochemische Verhältnisse im Flutungswasser eines Uranbergwerks – Die Lagerstätte Niederschlema/Alberoda. – *Clausthaler Geowissenschaftliche Dissertationen*, 50: 216 S., 131 Abb., 61 Tab.; Clausthal.

Verbesserung der Lagerstättenprojektion im Ruhrrevier zur Weiterentwicklung des bergbehördlichen Risikomanagements – Eine Kooperation zwischen dem GD NRW und der BR Arnsberg

**Monika Wölfl¹, Karsten Schäfer¹,
Stefan Mengede¹, Martin Isaac¹, Daniel Wagener¹,
Bernd Linder¹, Christian Rakers², Dirk Kaufmann²**

¹Bezirksregierung Arnsberg, Abt. 6 Bergbau und Energie in NRW

²Geologischer Dienst NRW

ZUSAMMENFASSUNG:

Der Geologische Dienst NRW – Landesbetrieb – (GD NRW) und die Bezirksregierung Arnsberg Abteilung 6 – Bergbau und Energie in NRW (Bergbehörde NRW) arbeiten derzeit im Rahmen des Kooperationsprojekts VERLAPRO und in Vorbereitung eines bergbehördlichen Risikomanagements für bruchauslösenden Altbergbau an der Verbesserung der Lagerstättenprojektion im Ruhrrevier (VERLAPRO). Ziel dieses auf vier Jahre angelegten Projektes ist es, durch die Nutzung aller verfügbaren bergbaulichen und geologischen Daten sowie Verwendung modernster Technik die bestmögliche Kenntnis über die Lage der Flöze an der Karbonoberfläche zu erlangen. Das Projektgebiet umfasst eine Gesamtfläche von ca. 1.090 km² im südlichen Ruhrgebiet. Dabei werden über 5.000 Tagesöffnungen des Bergbaus (TÖB)¹ und zahlreiche Flöze detailliert in ihrer Lage analysiert und die behandelten Datensätze sukzessive optimiert. Für das geplante Risikomanagement für bruchauslösende Hohlräume ist dieses Projekt von entscheidender Bedeutung, da im Rahmen der Bearbeitung die datentechnische Grundlage für den Aufbau dieser Erweiterung des bergbehördlichen Risikomanagements Altbergbau geschaffen wird.

ABSTRACT:

The Geological Survey of NRW (GD NRW) and the District Government of Arnsberg, Department 6 – Mining and Energy in NRW (Mining Authority NRW) are currently working on an initiative aimed at enhancing the accuracy of projecting coal seams within the Ruhr area. This undertaking is an integral part of the cooperative project known as “Verbesserung der Lagerstättenprojektion im Ruhrrevier” (VERLAPRO). Its primary objective is to facilitate the development of a mining authority risk management strategy to mitigate damage to infrastructure and buildings resulting from historical mining activities.

The aim of this four-year project is to obtain the best possible knowledge of the location of seams at the Carboniferous surface by using all available mining and geological data and employing state-of-the-art technology. The project region covers a total area of approximately 1,090 km² in the southern Ruhr region.

¹ Zu den verlassenen Tagesöffnungen des Bergbaus gehören Stollenmundlöcher und die Ansatzpunkte von seigeren (senkrechten), gebrochenen, abgesetzten und tonnlägigen (schrägen) Schächten.

Over 5,000 mining industry adits (TÖB) and numerous coal seams are being analyzed. These data sets will undergo refinement throughout the project's duration and will create a dataset that will serve as the basis for the planned risk management scheme for cavities that trigger fractures, designed to mitigate potential fracture formation. As such, this project holds paramount significance.

1 Einleitung

Aufbauend auf einer im Jahre 2018 durchgeführten Vorstudie (1) startete das auf vier Jahre ausgelegte Projekt VERLAPRO Ende 2020. Das zu bearbeitende Untersuchungsgebiet umfasst das komplette südliche Ruhrrevier (s. Abb. 1). Diese Region stellt den Bereich dar, in dem in der Vergangenheit tages- sowie oberflächennaher Bergbau stattgefunden hat und dementsprechend bruchauslösende bergbauliche Hohlräume vorhanden sein können. Für die Weiterentwicklung des Risikomanagements Altbergbau ist die genaue Kenntnis der Lage der Flöze im Ausbiss von entscheidender Bedeutung. Dazu wurde eine Methodik entwickelt, mit der bergbauliche sowie geologische Daten kombiniert und nach einem standardisierten Verfahren bearbeitet werden. Dadurch kann eine deutliche Verbesserung der Lagegenauigkeit der Flöze sowie eine Erfassung der Flözparameter erreicht werden.

Ende 2022 umfasste das Risikomanagement Altbergbau 4.221 Schächte in 103 Kommunen. Nach damaliger Erkenntnislage musste bei 3.233 Schächten ein langfristig nicht akzeptierbares Risiko angenommen werden, weshalb diese hinsichtlich der tatsächlich vorhandenen Gefährdung untersucht werden müssen. Bei fortschreitender Erweiterung des Risikomanagements auf die gesamte Fläche des Landes NRW ist ebenfalls von einer steigenden Anzahl altbergbaulicher Objekte mit langfristig nicht zu akzeptierendem Risiko auszugehen. Bei zahlreichen im Rahmen des Risikomanagements Altbergbau untersuchten und gesicherten Schächten wurden im direkten Umfeld bergbauliche Hohlräume festgestellt, die die Standsicherheit der Tagesoberfläche beeinträchtigten. Diese direkt angrenzenden Hohlräume wurden im Rahmen der Schachtsicherung ebenfalls verfüllt und damit dauerhaft sowie nachsorgefrei gesichert. Zur systematischen Bearbeitung dieser altbergbaulichen Objekte soll das Risikomanagement Altbergbau perspektivisch auf potenziell wasserführende Stollen und bruchauslösende bergbauliche Hohlräume ausgeweitet werden.

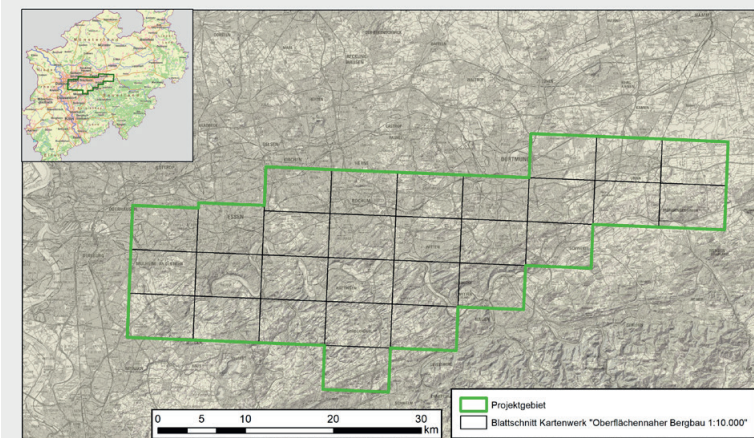


Abb. 1: Übersicht Projektgebiet © Geobasis NRW, Bearbeitet durch: BRA und GD NRW/Bernd Linder

2 Projekt VERLAPRO: Datengrundlage und Methodik

2.1 Datengrundlage

Im Rahmen einer Vorstudie konnte gezeigt werden, dass durch die Kombination der jeweils beim GD NRW und bei der Bergbehörde NRW vorhandenen umfangreichen Datensätze eine erhebliche Verbesserung der Lagegenauigkeit der Flöze im Ruhrrevier erreicht werden kann. U. a. wurden folgende Datensätze für die Neukonstruktion der Flözausbisse verwendet:

Daten der Bergbehörde NRW

Tagesöffnungen des Bergbaus (TÖB)

Die TÖB wurden in tonnlägige und gebrochene Schächte selektiert. Tonnlägige Schächte geben einen Hinweis auf den Flözausbiss an der Tagesoberfläche, da sie vorwiegend lagerstättengebunden im Flöz abgeteuft wurden (siehe Abb. 2). Auf gebrochene Schächte trifft dies in abgeschwächter Form ebenfalls zu, da bei ihnen meistens die überlagernden Lockermassen vertikal durchteuft wurden, ehe der tonnlägige Schachtteil lagerstättengebunden abgeteuft worden ist.

Vektorisierte Karte des oberflächennahen Bergbaus 1:10.000 (OBERF-10)

Der Kartensatz ist eine generalisierte und zusammengefasste Sammlung aller Gewinnungsrisse im Maßstab 1:10.000 (siehe Abb. 2, dort Darstellung der analogen Karte).

Abschlussberichte zu Erkundungs- und Sicherungsmaßnahmen im Altbergbau

Der Datensatz umfasst ca. 1.200 digital erfasste Abschlussberichte („Gutachten“) zu Erkundungs- oder Sicherungsmaßnahmen.

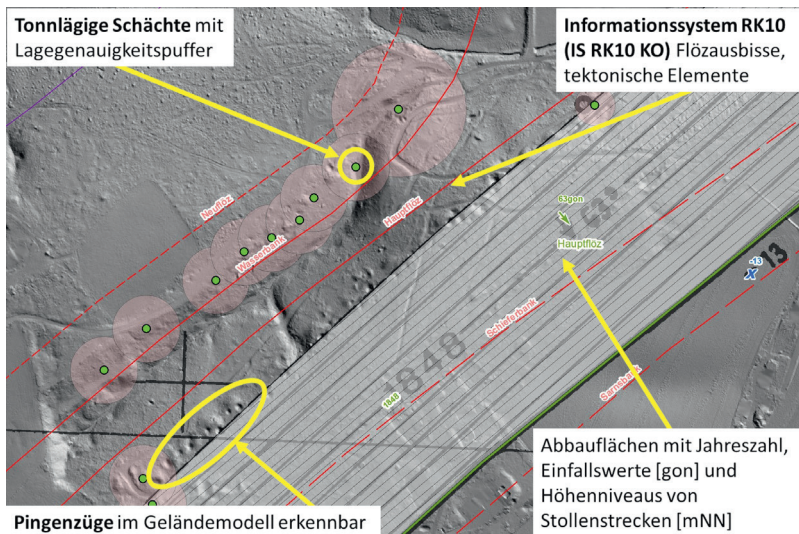


Abb.2: Beispiel von verwendeten Daten für die Neukonstruktion: Abbaufläche aus OBERF-10, im Hintergrund digitales Geländemodell von Geobasis NRW mit erkennbaren Pingenstrukturen.

© GD NRW/Dirk Kaufmann

Bergmännisches Risswerk

Gemäß § 63 (2) Bundesberggesetz (BBergG)² besteht das Risswerk aus dem Grubenbild und sonstigen Unterlagen wie Rissen, Karten und Plänen. Diese Primärdaten geben detailliert Aufschluss u. a. über Einfallen und Lage der Flöze (siehe Abb. 3).

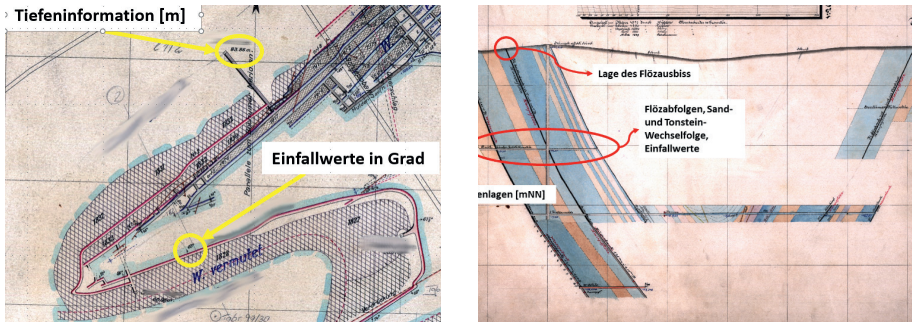


Abb. 3: Beispiel eines Gewinnungs- (links) und eines Schnittrisses (rechts). © GD NRW/Christan Rakers

Daten des GD NRW

Informationssystem RK10 (IS RK10 KO), Maßstab 1:10.000

Das IS RK10 beinhaltet die vektorisierte, zum Teil überarbeitete „Geologische Karte des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes“ (1949–1954). Dargestellt werden u. a. die Flözlage, tektonische Strukturelemente sowie Sandsteinlagen an der Karbonoberfläche. Die dargestellten Flöze bilden die Basis für den neu zu erstellenden Datensatz (siehe Abb. 2).

Weitere geologische Daten:

Aus dem Datenbestand des GD NRW werden weitere Kartenwerke zur Auswertung hinzugezogen, u. a. das Informationssystem der Integrierten Geologischen Landesaufnahme (ISIGL50) im Maßstab 1:50.000, die Strukturkarte Geologische Karte (GK25) im Maßstab 1:25.000 sowie die Sonderkarte zur Tiefentektonik des Ruhrkarbons im Maßstab 1:50.000 (2). Diese Kartenwerke geben Auskunft über die geologische Struktur und die tektonischen Verhältnisse an der Karbonoberfläche.

Sonstige Daten

Digitales Geländemodell (DGM1)

Das DGM1 der Bezirksregierung Köln, Abteilung 7 – Geobasis NRW beschreibt die natürliche Geländeform der Erdoberfläche durch georeferenzierte, regelmäßig angeordnete Höhenpunkte mit einer Gitterweite von einem Meter. In der Schattendarstellung („Hill-Shade“) werden bergbaubedingte Strukturen, wie beispielsweise Pingen, sichtbar (siehe Abb. 2).

2.2 Methodik

Für das Projekt werden die Daten in einem Geoinformationssystem (ArcGIS, Fa. ESRI) zusammengetragen und dargestellt. Dort erfolgt die Bearbeitung und Konstruktion der Ausbisse der

² Bundesberggesetz vom 13. August 1980 (BGBl. I S. 1310), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 22. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist

Steinkohlenflöze an der Gelände- bzw. Karbonoberfläche nach einem festgelegten Arbeitsablauf. Dieser beinhaltet neben einer Datenaufbereitung und der Konstruktion ebenfalls eine Plausibilitätsprüfung.

Die Datensätze werden eingangs auf ihre Qualität und Aussagesicherheit überprüft. Daraus ergibt sich die Priorisierung der Datengrundlagen. Daten, welche eine hohe Lagegenauigkeit, Plausibilität und einen hohen Informationsgehalt aufweisen, werden höher priorisiert. Zum Beispiel enthält der Punkt-Datensatz der tonnlägigen Tagesöffnungen jeweils eine Information zur Lagegenauigkeit und wird in regelmäßigen Abständen aktualisiert. Er beinhaltet im Vergleich zu den anderen Datensätzen die genaueste Information über die Lage eines Flözausbisses. Daher wurde ihm die höchste Priorität zugewiesen. Die Daten des IS RK10 KO stellen hingegen die Flözausbisse als Linienelemente dar. Diese basieren jedoch auf älteren Karten, bei denen die Datenqualität nicht direkt überprüfbar ist. Dementsprechend wird dieser Datensatz als zu überarbeitender Ausgangsdatsatz bewertet.

Im Zuge der Überarbeitung werden die in der IS RK10 KO dargestellten Flözverläufe an die neue Datengrundlage angepasst sowie neue Flözverläufe konstruiert. Zur weiteren Überprüfung der Konstruktion werden die Daten stichprobenartig in einer Modellierungssoftware (SKUA GOCAD, Aspen Tech) dreidimensional visualisiert (s. Abb. 4).

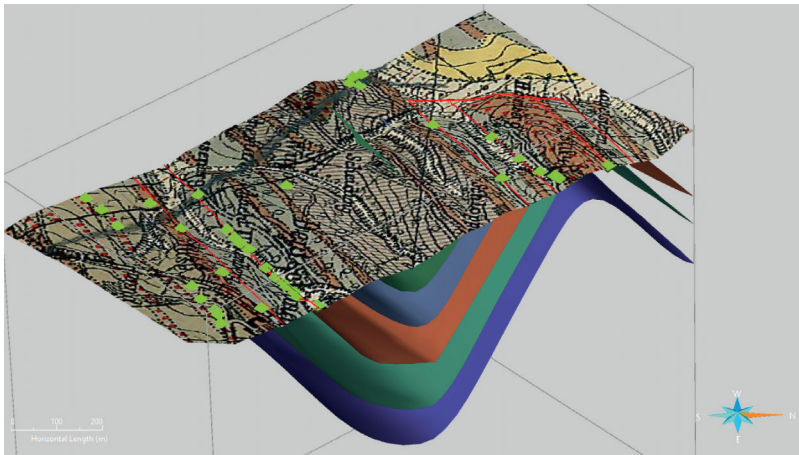


Abb. 4: Modellierung von Flözen in 3D zur Überprüfung der konstruierten Flözausbisse. © GD NRW/Bernd Linder

Durch diesen Workflow entsteht ein überarbeiteter Datensatz, der die Flözausbisse mit beschreibenden Attributen sowie die tektonischen Grundelemente enthält. Es können Informationen zu den Flözlagen wie z. B. Einfallen, Mächtigkeit, Konstruktionsgrundlage und zu Bereichen mit belegtem tages- und oberflächennahem Bergbau entnommen werden. Hierdurch wird die Nachvollziehbarkeit der Bearbeitung gewährleistet.

Diese Beschreibungen bilden zusammen mit der verbesserten Lagegenauigkeit der Flöze eine wichtige Grundlage für die Risikoabschätzung. Exemplarisch ist das Ergebnis für einen Teilbereich des Projektgebiets in Abb. 5 dargestellt.

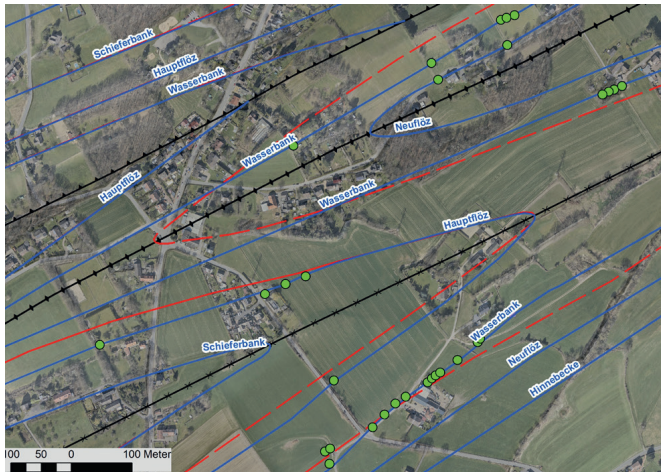


Abb 5: Vergleich der Original-Flözlagen nach IS RK 10 KO (rote Linien) mit den neukonstruierten Flözlagen (blau). Zusätzlich dargestellt sind tonnlagige Tagesöffnungen (grün) sowie tektonische Elemente (schwarze Linie, mit Dreieck = Überschiebung, mit Raute = Sattelachse, mit Kreuz = Muldenachse).

© GD NRW/Christian Rakers

3 Entwicklung des Risikomanagement-Konzeptes für bergbauliche Hohlräume auf Basis der VERLAPRO-Daten

3.1 Ermittlung des Risikos

Die Grundlage für die Berechnung des Risikowerts im Konzept für das Risikomanagement bergbauliche Hohlräume bildet im ersten Schritt eine Heatmap. Mittels Verschneidung von nach Sensibilität gewichteten Oberflächennutzungen und der Datengrundlage aus dem Projekt VERLAPRO können besonders risikobehaftete Bereiche identifiziert werden. Bei der Prozesssimulation mit unterschiedlich großen Bearbeitungsbereichen hat sich ein Raster mit den Abmessungen 100*100 m als praktikabelste Lösung herausgestellt.

Im zweiten Schritt erfolgt die Erhebung der für die Berechnung des Risikowerts relevanten Kriterien für den jeweiligen Bereich von 100*100 m. Der Rasterzelle wird zur Identifizierung eine eindeutige, fortlaufende Nummer zugewiesen. Des Weiteren sollen die Mittelpunktkoordinaten (ETRS-89) der Rasterzelle als Basisdaten zur Orientierung erfasst werden.

Der Risikowert setzt sich – wie im technisch-wissenschaftlichen Kontext üblich – aus den Parametern Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit zusammen.

$$\text{Risiko} = \text{Schadensausmaß} * \text{Eintrittswahrscheinlichkeit}$$

Im Risikomanagement für bergbauliche Hohlräume soll sowohl der flözartige als auch perspektivisch der gangartige Bergbau betrachtet werden. Aus diesem Grund müssen sich die Parameter Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit aus Berechnungskriterien zusammensetzen, die für beide Lagerstättentypen gültig sind.

Schadensausmaß = Nutzung der Tagesoberfläche

Die Eintrittswahrscheinlichkeit wird unter Verwendung der in Tab. 1 aufgeführten Parameter wie folgt berechnet:

$$\text{Eintrittswahrscheinlichkeit} = \sum_{k=1}^{10} k$$

Tab. 1: Parameter zur Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit

k	Parameter	Erläuterung
1	Versatzverfahren	Kein Versatz, Teilversatz/Versatzart unbekannt, Vollversatz und dauerstandssichere Verfüllung
2	Tagesöffnungen	Anzahl in der Rasterzelle
3	Risikoklasse der Tagesöffnungen	Risikoklasse aus dem RM Schächte für jeden in der Rasterzelle vorhandenen Schacht
4	Alte Baue	Sind Alte Baue im Grubenbild dokumentiert? Bezogen auf die einzelne Rasterzelle
5	Kleinzechenbetrieb	Handelt es sich bei den dargestellten Grubenbauen um einen Kleinzechenbetrieb?
6	Mächtigkeit der Lagerstätte	Durchschnittswert innerhalb der Rasterzelle
7	Einfallen der Lagerstätte	Durchschnittswert innerhalb der Rasterzelle
8	Tektonik	Sind bezogen auf die einzelne Rasterzelle Störungszonen im Grubenbild dokumentiert? Keine qualitative Wertung der unterschiedlichen Störungstypen.
9	Tagesbrüche	Sind bezogen auf die einzelne Rasterzelle (historische) altbergbaubedingte Tagesbrüche bekannt?
10	Gebäudeschäden	Sind bezogen auf die einzelne Rasterzelle (historische) altbergbaubedingte Gebäudeschäden bekannt?

3.2 Ermittlung des Schadensausmaßes und der Eintrittswahrscheinlichkeit

Zur Ermittlung des Schadensausmaßes wird das zugrundeliegende 100*100 m Raster mit dem ALKIS³-Nutzungskatalog verschnitten. Hieraus ergibt sich ein Raster als Grundlage für weitere Verschneidungen (s. Abb. 6, Nr. 1 und 2), welches die entsprechenden Nutzungsklassen enthält, die bereits jetzt im Risikomanagement Altbergbau für Schächte genutzt werden. Somit weisen beide Risikomanagementsysteme dieselben Nutzungsklassen auf, wodurch eine potenzielle spätere Zusammenführung erleichtert wird.

Die Identifizierung der bergbaulich beeinflussten Rasterzellen fußt auf einem zweistufigen Auswahlprozess, dessen Ergebnis in Abb. 6 Nr. 3 zu erkennen ist. Im ersten Schritt werden alle Steinkohlenflöze ausgewählt, welche innerhalb erloschener Bergbauberechtigungen und damit in der Zuständigkeit der Bergbehörde NRW liegen sowie bergbaulich beeinflusst sind. Die Auswahl nach der bergbaulichen Beeinflussung basiert auf der Erfassung des Parameters „Bergbauform“ aus dem Projekt VERLAPRO. Im nächsten Schritt folgt die Auswahl der Rasterzellen, welche von einem bergbaulich beeinflussten Steinkohlenflöz geschnitten werden. Als Produkt dieses Auswahlprozesses liegen

nun Rasterzellen vor, die die Basis des Schadensausmaßes darstellen und bergbaulich beeinflusst sind. Nicht mehr dargestellte Rasterzellen liegen entweder außerhalb der Zuständigkeit der Bergbehörde NRW oder sind nicht von Steinkohlenbergbau beeinflusst worden.

Die für die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit notwendigen Grundlagendaten können aus den markscheiderischen Unterlagen (Grubenbilder etc.), den bergbaulichen Datenbanken (Bergbauinformationssystem) oder anderen Quellen stammen. Die ermittelten Daten sollen in Zukunft ebenfalls in einer im Bergbauinformationssystem integrierten Anwendung nachgehalten und von dort aus weiterverarbeitet werden.

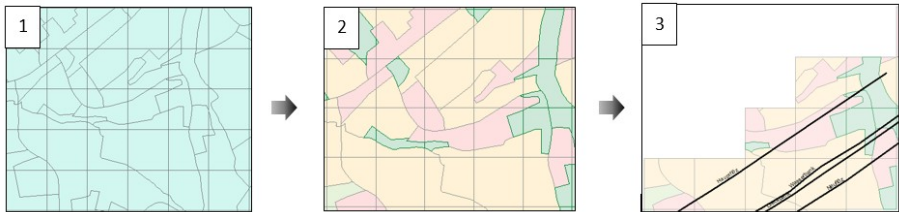


Abb. 6: Nr. 1: Landnutzung nach ALKIS, unklassifiziert und mit 100*100 m Raster verschritten; Nr. 2: Landnutzung nach ALKIS, klassifiziert, mit 100*100 m Raster; Nr. 3: Landnutzung nach ALKIS und von Bergbau beeinflusste, ausgewählte Rasterzellen mit Flözausschnitt. © BRA/Karsten Schäfer

3.3 Berechnung der Gefährdungsbereiche und Priorisierung der Rasterzellen

Das Risikomanagementsystem für bruchauslösende Hohlräume orientiert sich an der gutachterlichen Stellungnahme von Clostermann et al. 2019 (3). Diese Veröffentlichung liefert Grundlagen für die Berechnung und geometrische Darstellung von Einwirkungs- und Gefährdungsbereichen bergbaulicher Hinterlassenschaften. Auf Basis der zuvor erläuterten Ausweisung von bergbaulich beeinflussten Rasterzellen kann nun die Berechnung der Gefährdungsbereiche erfolgen. Diese Berechnung ist abhängig vom Einfallen der Flöze und verändert sich in Abhängigkeit davon (3). Der Einfallwert eines jeden Flözabschnitts ist durch VERLAPRO in vektorisierter Form verfügbar und kann daher für automatisierte Berechnungen herangezogen werden.

Die aus der genannten Veröffentlichung resultierenden, flächenhaften Gefährdungsbereiche sind in Abb. 7 Nr. 1 beispielhaft als weiße, linienhafte Elemente zu erkennen. Eine Verschneidung der Gefährdungsbereiche mit dem ALKIS-Nutzungskatalog ermöglicht in einem weiteren Schritt die Zuweisung von Risikowerten zu Teilflächen der Gefährdungsbereiche. Diese Teilflächen basieren hierbei auf der überdeckenden Landnutzung. In Abb. 7 Nr. 2 sind die nach Schadensausmaß klassifizierten Gefährdungsbereiche zu erkennen (grün = geringes Schadensausmaß, rot = hohes Schadensausmaß).

Die ermittelten, theoretisch gefährdeten Bereiche ermöglichen somit eine erste Gewichtung der Rasterzellen (Heatmap), wodurch diese in priorisierter Form in die Grundlagenermittlung übergeben werden können. In deren Rahmen werden sämtliche Parameter zur Festlegung der Eintrittswahrscheinlichkeit systematisch erfasst. Als Endergebnis liegen somit Rasterzellen mit eingeschlossenen Gefährdungsbereichen und zugehörigem Risikowert vor, welche priorisiert, im Rahmen eines Monitoringsystems überwacht und abschließend operativ bearbeitet werden können.

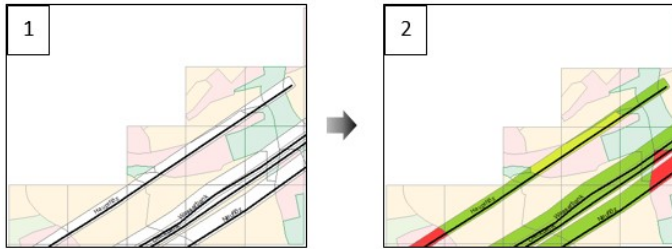


Abb. 7: Gefährdungsbereiche nach Clostermann et al. 2019 (3), Nr. 1: vor Klassifizierung gemäß Risikowert; Nr.2: nach Klassifizierung gemäß Risikowert. © BRA/Karsten Schäfer

4 Fazit/Ausblick

Die Ergebnisse von VERLAPRO kommen nicht nur der Entwicklung eines Risikomanagements für bruchauslösende bergbauliche Hohlräume bei der Bergbehörde NRW zugute. Der GD NRW verbessert gleichzeitig auch das Informationssystem Geologische Karte des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes 1:10.000 (ISRK 10 KO), welches als Open Data für alle interessierten Personen und Institutionen unter (4) zur Verfügung gestellt wird. Somit wird wiederum ein Mehrwert für Altbergbaugesellschaften, Kommunen, andere Institutionen und interessierte Personen geschaffen.

Parallel zur Projektbearbeitung durch den GD NRW hat die Bergbehörde NRW bereits mit der Entwicklung des Risikomanagements für bruchauslösende bergbauliche Hohlräume begonnen. Die fachliche und speziell IT-technische Umsetzung wird jedoch noch einige Jahre in Anspruch nehmen. Darüber hinaus muss für den effektiven Betrieb des Risikomanagements Altbergbaus parallel dazu ein Monitoring auf der Basis von Fernerkundungsdaten implementiert werden. Folglich wird die Ausweitung und Weiterentwicklung des Risikomanagements Altbergbau auch in den 2020er Jahren eine der Hauptaufgaben der Bergbehörde NRW bleiben. Dies ist erforderlich, da das Land Nordrhein-Westfalen nur so bestmöglich seiner großen Verantwortung hinsichtlich der Vermeidung von Tagesbrüchen mit Personenschäden und erheblichen Sachschäden nachkommen kann.

LITERATURVERZEICHNIS

Fimpler, R.; Mengede, S.; Isaac, M., Bezirksregierung Arnsberg Abteilung 6 – Bergbau und Energie in NRW; Linder, B., Geologischer Dienst NRW – Landesbetrieb; „Risikomanagement Altbergbau – Vorstudie zum Thema Verbesserung der Lagerstättenprojektion im Ruhrrevier vor dem Hintergrund des Aufbaus eines Risikomanagements für den tagesnahen Altbergbau“, Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes NRW, Düsseldorf, November 2019

DROZDZEWSKI, ENGEL, WOLF, WREDE 1985: Beiträge zur Tiefentektonik westdeutscher Steinkohlelagerstätten, 1985

CLOSTERMANN, ALBER, PLACZEK, SROKA 2019 Clostermann, M.; Alber, M.; Placzek, D.; Sroka, A.: Gutachterliche Stellungnahme zu den Themen „Einwirkungsrelevanz des Altbergbaus, Bemessung von Einwirkungs- und Gefährdungsbereichen und Einfluss von Grubenwasserstandsänderungen“, Dortmund, 2019

<https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geologie/geologie/RK/ISRK10/>



Zukunft gemeinsam gestalten.

Unsere Projekte

Schacht- und Flächensanierung

Grubenwassermanagement

Altbergbau

Nachhaltigkeitsfragen



Untersuchungen zum Verständnis von Grubenflutung und der Barrierewirkung von Dichteschichtung

Christian Wolkersdorfer¹, Elke Mugova^{1,2}

¹Tshwane University of Technology (TUT), Südafrika

²TU Bergakademie Freiberg

ZUSAMMENFASSUNG:

Weltweit gibt es zehntausende gefluteter Untertagebergwerke, die entgegen der allgemeinen Vermutung weder Oberflächengewässer noch Grundwasser kontaminieren. Warum ist das so? Diese Frage zu klären, erfordert Kenntnisse der Grubengeometrie, des Flutungsverlaufes, der Hydrodynamik und der Dichteschichtung im Flutungswasserkörper. Durch umfangreiche Untersuchungen konnten die Autoren in den letzten drei Jahrzehnten einige Antworten finden.

Sofern oberhalb der zuletzt gefluteten Sohle keine potenziellen Schadstoffquellen in ehemaligen Grubenbauen existieren, strömt dem Grubenwasserkörper von oben vor allem Grundwasser kurzer oder mittlerer Aufenthaltsdauer im Gebirge zu. Dieses Grundwasser besitzt eine relativ geringere Dichte als das bereits in den gefluteten Grubenräumen befindliche Grubenwasser und bildet folglich einen kühleren CF-Wasserkörper (cool fresh) mit weniger mineralisiertem Wasser aus.

Unter diesem CF-Wasserkörper findet sich Grubenwasser, welches schon länger im Grubengebäude war. Lösungs- und Verwitterungsprozesse haben das Wasser mineralisiert, zudem erfolgte eine graduelle Erwärmung des Wassers durch den geothermischen Gradienten. Dieser WM-Wasserkörper (warm mineralised) größerer Dichte unterschichtet daher den CF-Wasserkörper geringerer Dichte.

Zwischen beiden befindet sich fast immer eine zentimeter- bis meterdicke Zwischenschicht, die annähernd wie eine undurchlässige Barriere wirkt wie bereits durch zahlreiche Markierungsversuche (Tracertests) belegt wurde. Die Barriere verhindert den Austrag von hochmineralisiertem Grubenwasser oder organischen Schadstoffen in die Öko- und Anthroposphäre. Schon während der Bergwerksflutung bildet sich an der Oberfläche des ansteigenden Grubenwassers ein CF-Wasserkörper aus, welcher während des Flutungsverlaufs nach oben seine Position ändert.

Um diese Situation nicht zu stören, sollte eine Grubenflutung möglichst schnell erfolgen und eine Wasserentnahme durch Pumpen für geothermische Nutzung des Grubenwassers oder der Wasseraufbereitung unterbleiben. Optimal ist, wie die Untersuchungen von etwa 60 gefluteten Bergwerken weltweit und dem analogen Agricola Modellbergwerk zeigen, die Flutung zügig vorzunehmen und wenn möglich an der hydraulisch tiefsten Stelle frei auslaufen zu lassen. Im Flutungsverlauf und auch nach der Flutung werden die potenziellen Schadstoffe aus dem Bergwerk ausgespült und verdünnt, was dazu beiträgt, dass sich die Konzentrationen aller Wasserinhaltsstoffe allmählich erniedrigen. Dies wird als Erstpülung (first flush) bezeichnet und verbessert in der Regel die Qualität des Grubenwassers umso schneller, je schneller das Bergwerk geflutet wird.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass fast immer ein möglichst unbeeinflusster, schneller und kontrollierter Flutungverlauf am ehesten dazu beiträgt, das Grund- und Oberflächenwasser im

Umfeld des Bergwerks zu schützen. Pumpaktivitäten sollten möglichst vermieden werden. Bis zum Abklang der Erstpülung oder dem Erreichen vorgegebender Grenzwerte sollte das Grubenwasser aktiv oder wenn möglich passiv gereinigt werden.

ABSTRACT:

Contrary to popular belief, tens of thousands of flooded underground mines around the world do not contaminate surface water or groundwater. Why is this the case? Answering this question requires knowledge of mine geometry, flooding processes, hydrodynamics, and density stratification in the mine water pool. Extensive field and laboratory studies by the authors over the past three decades have provided some initial answers.

Provided that there are no potential contaminant sources in historic mine workings above the last flooded mine level, groundwater with a short or medium residence time in the rock will mainly flow into the mine water body from above. This groundwater has a relatively lower density than the mine water already present in the flooded mine workings and, consequently, forms a cooler CF (cool fresh) water body with less mineralized water. Beneath this water body is mine water that has been in the mine workings for a longer period. Weathering processes and the dissolution of efflorescent salts have mineralized the water, and a gradual warming of the water has occurred due to the geothermal gradient. This WM (warm mineralized) water body of higher density, therefore, underlies the CF water body of lower density.

Between the two water bodies there is almost always an intermediate layer, centimeters to meters thick, which acts like an impermeable barrier, which has been proven by numerous tracer tests. The barrier prevents contaminated mine water or organic pollutants from discharging into the environment. Already during mine flooding, a CF body forms on the surface of the rising mine water, which changes its position because of the upward flooding.

To maintain this situation, mine flooding should take place as quickly as possible and water extraction by means of pumps for mine water geothermal use or treatment should be avoided. As studies of about 60 flooded mines and the analogue Agricola Model Mine have shown, the optimal solution is to flood the mine as quickly as possible and allow it to drain freely at the hydraulically deepest point. During and after flooding, potential contaminants are flushed out of the mine and diluted, helping to gradually reduce the concentrations of all water constituents. This is called "first flush", and the quality of mine water improves the faster the mine is flooded.

In summary, an unimpeded, rapid and controlled flooding process is almost always the best way to protect groundwater and surface water in the mine vicinity. Pumping after flooding should be avoided. Mine water should be treated actively or, if possible, passively until the initial flushing has subsided or the specified limits have been reached.

1 Flutungsbeginn und Mineralisierung des Grubenwassers

Mit dem Abbauende eines Rohstoffvorkommens erfolgt in der Regel auch das Ende der Grubenwasserhaltung. Unabhängig davon, ob es sich um einen Tagebau oder einen Tiefbau handelte, führt dies in der Regel dazu, dass der Wasserspiegel im offenen Grubenraum ansteigt, sofern der

Abbau unter dem Grundwasserspiegel stattfand. Dieser Anstieg des Wasserspiegels im Bergbaubereich wird Grubenflutung oder vereinfacht Flutung genannt (Brown 1982; Wolkersdorfer 1996; Burghardt et al. 2017). Grubenflutungen können sich in Abhängigkeit von den hydraulischen, bergbaulichen, geologischen und den meteorologischen Parametern über einen sehr kurzen Zeitraum von wenigen Monaten bis hin zu mehreren Dekaden erstrecken. In allen Fällen handelt es sich bei dem in den offenen Grubenraum fließenden Wasser um Grundwasser unterschiedlicher mittlerer Aufenthaltszeiten im jeweiligen Aquifer und Infiltrationswasser von der Tagesoberfläche. Sobald dieses Grundwasser in den offenen Grubenraum eintritt, wird es sich mit den dort durch Verwitterungsprozesse entstandenen, leicht löslichen Mineralphasen (z.B. wasserfreie und wasserhaltige Sulfate, Hydroxide, Carbonate) anreichern (Nordstrom und Alpers 1999). Dadurch kommt es zur Erhöhung der Gesamtmineralisation und folglich der elektrischen Leitfähigkeit und der Dichte. Dieses Wasser, nunmehr in seiner chemischen Zusammensetzung verschieden vom Grund- und Infiltrationswasser, wird sich gravitativ in das Grubentiefste bewegen und zunächst die offenen Grubenräume fluten. Erst zu einem späteren Zeitpunkt wird sich auch das gegebenenfalls entwässerte Gebirge mit dem mineralisierten Wasser füllen (Jäger et al. 1990; Kessler und Schafmeister 2021). Solange es entweder durch die Verwitterung oder Pyritoxidation zur Neubildung leicht löslicher Phasen kommt (junge Acidität sensu Younger – juvenile acidity) oder noch ein Reservoir von leicht löslichen Phasen vorhanden ist (rudimentäre Acidität sensu Younger – vestigial acidity) wird sich das Grundwasser mineralisieren (Younger 1997). Sobald das Grundwasser in das Grubengebäude eintritt, wird es zum Grubenwasser, dessen chemische Zusammensetzung von Trinkwasserqualität bis zu hoch mineralisierten, sauren Grubenwässern mit pH-Werten von weit unter 3 reichen kann (Nordstrom 2011; Wolkersdorfer et al. 2020).

Wenn die leicht löslichen Phasen weitgehend gelöst sind oder sich die Verwitterungsprozesse durch Sauerstoffzehrung oder Sauerstoffabschluss deutlich verlangsamen, wird das spätere Grubenwasser gegenüber dem ursprünglichen Grubenwasser kurz nach Flutungsbeginn eine deutlich geringere Mineralisation und somit Dichte aufweisen. Diese vorgenannten Prozesse führen dazu, dass ins Grubengebäude fließendes Wasser zunächst höher mineralisiert ist als im weiteren Verlauf der Flutung. Folglich hat das Grubenwasser zum Flutungsbeginn eine höhere Dichte als zu einem späteren Zeitpunkt. Gleichzeitig wird sich das im Grubentiefsten befindliche, mineralisierte Grubenwasser durch die geothermische Tiefenstufe erwärmen, während das im Wesentlichen von oben zufließende, frische Grundwasser weiterhin eine Temperatur aufweist, die mehr oder weniger der mittleren Jahrestemperatur entspricht.

2 Dichteschichtung des Grubenwassers

In nahezu allen bisher untersuchten Fällen gefluteter Bergwerke führen diese Prozesse dazu, dass es im Bergwerk zwei oder mehrere Wasserkörper unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung und Temperatur gibt (Erickson et al. 1982; Ladwig 1985; Wolkersdorfer 1996). Innere und äußere Kräfte sorgen dann dafür, dass das Wasser oder dessen Inhaltsstoffe eine Strömung erfahren (Luckner und Morgenstern 2006), wobei es zur freien und erzwungenen Konvektion kommen kann (Wolkersdorfer 1996). In der Regel befindet sich im Grubentiefsten wärmeres und höher mineralisiertes Grubenwasser des WM-Wasserkörpers ("warm mineralised"), der auf den höheren

Niveaus des Bergwerks vom kühleren und weniger mineralisierten CF-Wasserkörper überschichtet wird ("cold fresh"). Da das Grundwasser hydraulisch nur in wenigen, theoretischen Ausnahmesituationen unter die Grubenwasseroberfläche fließen kann, führt diese Anordnung von WM- und CF-Wasserkörpern zu einer hydraulisch und thermisch stabilen Schichtung.

Zwischen den beiden Wasserkörpern gibt es in Abhängigkeit von der Dichte- und Temperaturdifferenz einen Temperatur- oder Massengradienten. Diese hat entweder durch doppelt diffusive Prozesse eine stufenförmige Zwischenschicht oder es erfolgt ein Fingerring zwischen den beiden Wasserkörpern (Mugova und Wolkersdorfer 2022a). In beiden Fällen kommt es zur Ausbildung einer zentimeter- bis meterdicken Zwischenschicht, die wie eine feste Barriere wirkt, solange die Geschwindigkeitsdifferenz der Strömungen in den Wasserkörpern unter einem kritischen Betrag liegt (Aigner et al. 2015). Da Pumpaktivitäten die Wassergeschwindigkeit, und folglich die Geschwindigkeitsdifferenz erhöhen, kommt es zum Zusammenbruch der Schichtung und gegebenenfalls erzwungener Konvektion. In zahlreichen Markierungsversuchen (Tracertests) in gefluteten Bergwerken durch die Autoren und in Laborexperimenten an einem großmaßstäblichen Bergwerksmodell ließ sich nachweisen, dass diese Schichtung einerseits stabil ist und andererseits als Barriere wirkt.

3 Stabilität und Barrierewirkung der Dichteschichtung

Videoaufnahmen mit Schachtkameras haben nicht nur zeigen können, dass diese Schichtgrenzen stabil sind, sondern auch wie Wasser aus einer gefluteten Sohle in einen geschichteten Schacht strömt, ohne dass sich das zufließende Wasser mit dem darunterliegenden Wasserkörper im Schacht mischt (Abb. 1). Im Fall des gefluteten Cu-Ag-Ba-Bergwerks Georgi Unterbau in Tirol war eine Temperaturdifferenz von nur 0,1 K über mehrere Jahre hinweg konstant. Sie wurde durch die Zugabe von gesättigter Salzlauge für einen Tracertest gestört, baute sich aber verhältnismäßig schnell wieder auf (Wolkersdorfer et al. 2002). Ergebnisse eines Tracertests mit Mikrosphären und Uranin zeigten, dass diese Schichtgrenze vom Tracer nicht überwunden werden konnte. Ein Tracertest im Reiche Zeche Schacht der Himmelfahrt Fundgrube in Freiberg, Sachsen, wies nach, dass eine Schichtgrenze mit einer Dichtedifferenz von 1 – 2 K für Uranin unüberwindbar war (Neumann 2007; Wolkersdorfer et al. 2007). Zudem zeigt sich durch mehrmalige Tiefenprofilmessungen und Tracertests, dass Schichtung auch über einen langen Zeitraum stabil bleibt.

Um den Flutungsverlauf in einem 2000 Meter tiefen Bergwerk zu verstehen, wurden über einen Zeitraum von drei Jahren in mehreren Schächten annähernd 200 Messungen von Temperatur und anderen physikochemischen Parametern durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass die Trennung zwischen WM und CF-Wasserkörper schon früh im Flutungsprozess eintreten kann, die Lage der Zwischenschicht jedoch mit dem Flutungsprozess nach oben hin ansteigt (Wolkersdorfer 1996; 2008) und sich weitere Zwischenschichten und somit Wasserkörper ausbilden können. Wie die etwa 30 von den Autoren angestellten Tracertests und mehrere 100 ausgewertete physikochemische Messungen in über 60 gefluteten Untertagebergwerken zeigen, verhindert diese Barriere zuverlässig den Austrag hochkontaminierten Grubenwassers in die Öko- und Anthroposphäre. Im Falle der Bergwerke Urgeirça, Portugal, und Metsämonttu, Finnland (Abb. 2), führt diese Dichteschichtung dazu, dass das auslaufende Grubenwasser derart gering mineralisiert ist, dass es

sich mittels passiver Reinigungsmethoden aufbereiten lässt (Mugova und Wolkersdorfer 2022b; Wolkersdorfer 2022). In allen publizierten oder auf Konferenzen vorgetragenen Berichten von zusammengebrochener Schichtung in gefluteten Bergwerken (z.B. Frances (Fife) Colliery, Horden, Blinman Mine Australien) hat das Pumpen des Grubenwassers im CF- oder WM-Grubenwasserkörper zum Austrag hochkontaminierten Grubenwassers geführt (Frost 1979; Nuttall et al. 2002; Farr et al. 2021). Ursache dafür ist entweder, dass die Geschwindigkeitsdifferenz der Wasserströmungen zwischen den Schichten zu groß wird oder weil es im Schacht zu einem Grubenwasser Upconing kommt (Terminologie an Anlehnung an “salt water upconing” oder “local interface upconing”; Dagan und Bear 1968; Fetter 2001).

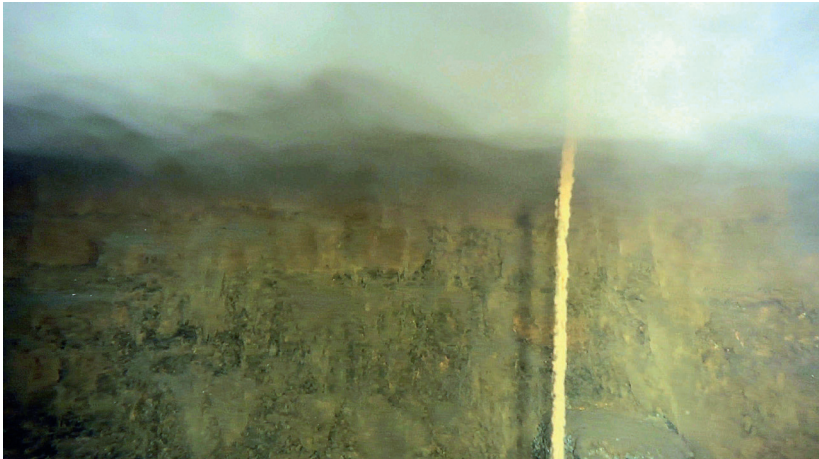


Abb 1: Schichtung in einem gefluteten Untertagebergwerk, aufgenommen mit einer Schachtkamera. Die Kamera befindet sich knapp unterhalb des Übergangs von trübem zu klarem Wasser (mit freundlicher Genehmigung: Thorsten Gökpınar; Bild optimiert mit Farb- und Kontrastverbesserung, Bildbreite ≈ 1 m); aus: Mugova und Wolkersdorfer (2022).

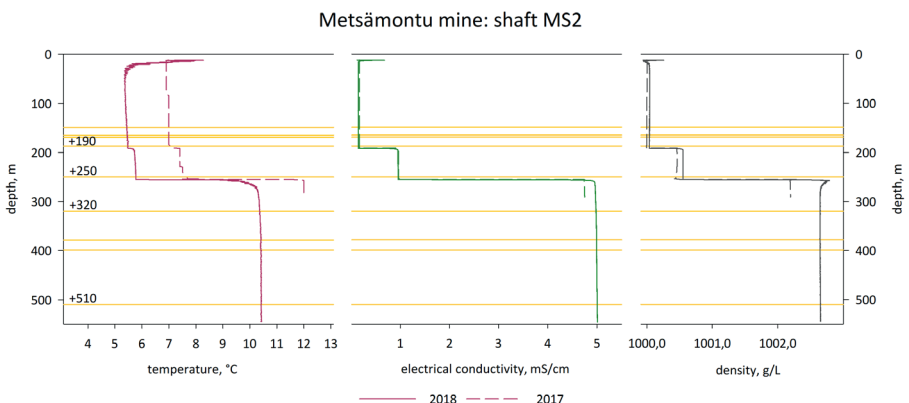


Abb. 2: Dichteschichtung im gefluteten Polymetallbergwerk Metsämontu, Finnland. Am Hauptschacht läuft Grubenwasser mit einer Qualität aus, die im Wesentlichen dem obersten beiden Grubenwasserkörpern entspricht.

Wie sich aus dem Vorgenannten ergibt, erfolgt die Mineralisation des Grubenwassers durch leicht-lösliche Phasen, die durch Verwitterung und Pyritoxidation entstehen. In beiden Fällen ist Sauerstoff ein wesentlicher abiotischer Reaktionspartner. Sobald die mineralisierten oder pyrithaltigen Partien (Pyrit steht hier stellvertretend für Pyrit, Markasit und Pyrrhotin) des Bergwerks geflutet sind, verlangsamen sich die Oxidationsprozesse, da der Diffusionskoeffizient von Sauerstoff in Wasser substanziiell geringer ist als der in Luft (Luft: $1,76 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ bei 0°C ; Wasser, 0 molar: $2,26 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ bei 25°C). Je schneller und vollständiger folglich ein Bergwerk geflutet wird, umso schneller kommen potenzielle Schadstoffe unter Luftabschluss und können nur noch langsam verwittern und neue, leicht lösliche Phasen bilden.

Aus der Lösung der bestehenden Phasen und deren zunehmend eingeschränkter Neubildung ergibt sich zusammen mit der Verdünnung und Schichtung des Grubenwasserkörpers eine allmähliche Verbesserung der Grubenwasserqualität. Dieser als Erstspülung ("first flush") bezeichnete Vorgang läuft so lange ab, bis es zwischen Grundwasser, Grubenwasser und den Verwitterungsprozessen zu einem Gleichgewicht kommt.

Vereinfacht ausgedrückt kommt es zu einem Ausspülen der potenziellen Schadstoffe, die in den leicht löslichen Phasen gebunden sind. Younger hat aus der Untersuchung zahlreicher Grubenflutungen abgeleitet, dass der Gleichgewichtszustand zu dem Zeitpunkt erfolgt, der in etwa der drei- bis fünffachen Flutungsdauer entspricht (Younger 2000).

4 Schussfolgerungen und Ausblick

Zusammenfassend sind es im Wesentlichen zwei Prozesse, die neben der Grubengeometrie eine Grubenflutung charakterisieren: Dichteschichtung und Erstspülung. Wie die bisherigen Untersuchungen durch Tracerversuche, physikochemische Messungen sowie analoge und numerische Modellierungen zeigen, können diese beiden Prozesse genutzt werden, um eine Grubenflutung ökonomisch und ökologisch optimal ablaufen zu lassen. Dazu sollte das Bergwerk so schnell und so hoch wie möglich kontrolliert geflutet werden. Solange der Grubenwasserkörper und damit die Schichtung nicht z. B. durch Pumpen gestört wird (Ausbildung einer erzwungenen Konvektion), trägt die stabile Schichtung dazu bei, höher mineralisiertes Grubenwasser im Grubentieften zu isolieren. Bis der Wasserkörper im gefluteten Bergwerk noch nicht den Gleichgewichtszustand erreicht hat, sollte das Grubenwasser aktiv oder passiv gereinigt werden. Nach Erreichen des chemisch-thermodynamisch-hydraulischen Gleichgewichts und nach Einhaltung der behördlich vorgegebenen Einleitgrenzwerte kann das Grubenwasser ohne weitere Reinigung eingeleitet werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- Aigner, D., Carstensen, D., Glazik, G., Kraatz, W., Kranawettreiser, J., Martin, H. & Wagner, H. (2015): Dichteströmungen: Technische Hydromechanik – 2. – S. 221–251, 13 Abb., 1 Tab.; Berlin (Beuth).
- Brown, A. (1982): A validated theory of underground mine flooding. – Proceedings, 1st International Mine Water Congress, Budapest, Hungary, B:411–428, 9 Abb.
- Burghardt, D., Coldewey, W. G., Melchers, C., Meßer, J., Paul, M., Walter, T., Wesche, D., Westermann, S., Wieber, G., Wisotzky, F. & Wolkersdorfer, C. (2017): Glossar Bergmännische Wasserwirtschaft. – 79 S., Neustadt/Wstr. (Fachsektion Hydrogeologie in der DGGV).

- Dagan, G. & Bear, J. (1968): Solving the Problem of Local Interface Upconing in a Coastal Aquifer by the Method of Small Perturbations. – *J. Hydraul. Res.*, 6(1):15–44, doi:10.1080/00221686809500218.
- Erickson, P. M., Kleinmann, R. L. P., Posluszny, E. T. & Leonard-Mayer, P. J. (1982): Hydrogeochemistry of a large mine pool. – *Proceedings, 1st International Mine Water Congress, Budapest, Hungary*, A:27–42, 7 Abb., 2 Tab.
- Farr, G., Busby, J., Wyatt, L., Crooks, J., Schofield, D. I. & Holden, A. (2021): The temperature of Britain's coalfields. – *Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol.*, 54(3):qjgh2020-109, doi:10.1144/qjgh2020-109.
- Fetter, C. W. (2001): *Applied Hydrogeology*, 4th edn. – 598 p., Upper Saddle River (Prentice Hall).
- Frost, R. C. (1979): Evaluation of the rate of decrease in the iron content of water pumped from a flooded shaft mine in County Durham, England. – *J. Hydrol.*, 40(1-2):101–111, 2 Abb., 1 Tab.; doi:10.1016/0022-1694(79)90090-8.
- Jäger, B., Obermann, P., Wilke, F. L., Heidrich, F., Rüterkamp, P. & Skrzyppek, J. (1990): Studie zur Eignung von Steinkohlebergwerken im rechtsrheinischen Ruhrkohlebezirk zur Untertageverbringung von Abfall- und Reststoffen, 1 – 4. – *LWA Studie 1990*. – 628 S., 54 Anl.; Düsseldorf (Institut für Techn. Umweltschutz der Technischen Universität Berlin, Ruhr Universität Bochum, Institut für Bergbauwissenschaften, Bergbaukunde II der Technischen Universität Berlin).
- Kessler, T. & Schafmeister, M.-T. (2021): Finite-element Modelling Approach To Study Flow Processes During Groundwater Rebound In Abandoned Underground Hard Coal Mines. Paper presented at the Mine Water Management for Future Generations, Cardiff, Wales, United Kingdom. – S. 231–236; Cardiff (Natural Resources Wales, The Coal Authority, Welsh Government, Cardiff University).
- Ladwig, K. J. (1985): Hydrologic aspects of acid mine drainage control. – *Bur. Mines Inf. Circ.*, IC-9027(V):12–18, 4 Abb., 1 Tab.
- Luckner, L. & Morgenstern, A. (2006): Grundlagen von Schichtungsprozessen in gefluteten Untertagebergwerken. – *World of Mining*, 58(5):311–315, 4 Abb.
- Mugova, E. & Wolkersdorfer, C. (2022a): Density Stratification and Double-Diffusive Convection in Mine Pools of Flooded Underground Mines – A Review. – *Water Res.*, 214:118033, 6 Abb., 2 Tab.; doi:10.1016/j.watres.2021.118033.
- Mugova, E. & Wolkersdorfer, C. (2022b): Monitoring of Flooded Underground Mines – Using Mine Drainage Density Stratification as an Example. Paper presented at the 12th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD) 2022 VIRTUAL. – S. 846–852, 2 Abb., 1 Tab.; Brisbane (International Conference on Acid Mine Drainage).
- Neumann, C. (2007): Ermittlung der Hydrodynamik mit Hilfe von Tracertests im Richtschacht Reiche Zeche/Freiberg (Sachsen). – 62 S., 38 Abb., 23 Tab., 7 Anh.; Freiberg (unveröff. Studienarbeit).
- Nordstrom, D. K. (2011): Mine Waters: Acidic to Circumneutral. – *Elements*, 7(6):393-398, 4 Abb., 1 Tab.; doi:10.2113/gselements.7.6.393.
- Nordstrom, D. K. & Alpers, C. N. (1999): Geochemistry of Acid Mine Waters. – In: Plumlee, G. S. & Logsdon, M. J. (eds): *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits 6A*. – S. 133–160, 7 Abb., 14 Tab.; Littleton (Society of Economic Geologists).
- Nuttall, C. A., Adams, R. & Younger, P. L. (2002): Integrated hydraulic-hydrogeochemical assessment of flooded deep mine voids by test pumping at the Deerplay (Lancashire) and Frances (Fife) Colliery. – *Spec. Publ. – Geol. Soc. London*, 198:315–326, 11 Abb., 5 Tab.
- Wolkersdorfer, C. (1996): Hydrogeochemische Verhältnisse im Flutungswasser eines Uranbergwerks – Die Lagerstätte Niederschlema/Alberoda. – *Clausthaler Geowiss. Diss.*, 50:1–216, 131 Abb., 61 Tab.
- Wolkersdorfer, C. (2008): Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines – Fundamentals, Tracer Tests, Modelling, Water Treatment. – 465 S., 126 Abb., 34 Tab.; Heidelberg (Springer); doi:10.1007/978-3-540-77331-3.

- Wolkersdorfer, C. (2022): Mine Water Treatment – Active and Passive Methods. – 328 S., 115 Abb., 29 Tab.; Heidelberg (Springer); doi:10.1007/978-3-662-65770-6.
- Wolkersdorfer, C., Hasche, A., Unger, K. & Wackwitz, T. (2002): Tracer Techniken im Bergbau – Georgi-Unterbau bei Brixlegg/Tirol. – Wiss. Mitt. Inst. Geol., 19:37–43, 4 Abb., 1 Tab.
- Wolkersdorfer, C., Neumann, C. & Hasche-Berger, A. (2007): Tracer Tests in the flooded Himmelfarth Fundgrube Underground Mine (Freiberg/Saxony). – Wiss. Mitt. Inst. Geol., 35:157–162, 3 Abb., 1 Tab.
- Wolkersdorfer, C., Nordstrom, D. K., Beckie, R., Cicerone, D. S., Elliot, T., Edraki, M., Valente, T. M., França, S. C. A., Kumar, P., Oyarzún Lucero, R. A. & Soler, A. I. G. (2020): Guidance for the Integrated Use of Hydrological, Geochemical, and Isotopic Tools in Mining Operations. – Mine Water Environ., 39(2):204–228, 7 Abb., 2 Tab., 5 Anl.; doi:10.1007/s10230-020-00666-x.
- Younger, P. L. (1997): The longevity of minewater pollution – a basis for decision-making. – Sci. Total Environ., 194–195:457–466, 5 Abb.; doi:10.1016/S0048-9697(96)05383-1.
- Younger, P. L. (2000): Predicting temporal changes in total iron concentrations in groundwaters flowing from abandoned deep mines: a first approximation. – J. Contam. Hydrol., 44:47–69, 5 Abb., 3 Tab.; doi:10.1016/S0169-7722(00)00090-5.
- Mugova, E. & Wolkersdorfer, C. (2022): Density Stratification and Double-Diffusive Convection in Mine Pools of Flooded Underground Mines – A Review. – Water Res., 214:118033, 6 Abb., 2 Tab.; doi:10.1016/j.watres.2021.118033.

Grubenwasser als regenerative Energiequelle – Status quo, Potenziale und Herausforderungen

Timm Wunderlich, Lukas Oppelt, Tom Ebel,
Thomas Grab, Tobias Fieback

TU Bergakademie Freiberg

ZUSAMMENFASSUNG:

Braunkohle war in der Vergangenheit und ist zurzeit noch einer der wichtigsten Energieträger Deutschlands, der für die Verstromung sowie für die Wärmebereitstellung genutzt wird/ wurde. Zudem bestanden in ganz Deutschland in den letzten Jahrhunderten tiefe Bergwerke, z.B. zur Gewinnung von Steinkohle oder Erzen. Nach der Stilllegung der ober und untertägigen Abbauorte, wurden diese häufig geflutet. Die Bergbauwässer aus diesen gefluteten Bergwerken können, ebenso wie Wässer aus Tagebaurestseen, als potenzielle erneuerbare Energieträger betrachtet werden. Die Wässer können als Niedertemperaturquelle für die Wärmewende in Deutschland z. B. in einer Wärmenetzversorgung fungieren. Beispielhaft wurde das energetische Potenzial des Tagebaurestsees „Olbersdorfer See“ untersucht. Dieser 60 ha große und 40 m tiefen See befindet sich nahe der Stadt Zittau und hat ca. ein Volumen von 6.000.000 m³.

Die Nutzung dieser Energiequellen ist besonders in Kombination mit kalten Nahwärmenetzen und dem Einsatz von Wärmepumpen möglich. Dabei bildet der Wärmeübertrager für die Nutzung in Netzen eine entscheidende Rolle bei der Übertragung der Wärme aus den Wässern auf das Nahwärmesystem. Entsprechend können sich standortabhängig, durch im Wasser mitgeführte Bakterien, Frachten, etc., Ablagerungen im Wärmeübertrager ausbilden (Fouling). Dadurch wird die übertragene Wärmemenge zwischen Grubenwasser und dem Wärmenetzfluid reduziert. Bereits Biofilme von 250 µm können die übertragbare Wärmemenge um bis zu 50 % reduzieren. Dadurch kommt es zu erhöhten Wartungs- und Reinigungskosten bzw. Stillstandszeiten, die bei Grubenwasseranlagen im Leistungsbereich von 500 bis 800 kW Verluste von bis zu 250.000 € bedeuten können.

Um der Bildung des Foulings entgegen zu wirken und um dadurch anfallende Stillstandskosten zu verringern und Wartungsintervalle zu verlängern, werden spezielle Oberflächenbeschichtungen erforscht und erprobt. Verschiedenen Oberflächenkriterien wie Zeta-Potenzial oder Kontaktwinkel wurden zur Auswahl von Materialien und Oberflächen untersucht. Die davon ausgehend ausgewählten Materialien und Oberflächen wurden anschließend in In-Situ-Tests innerhalb eines Wärmeübertragerversuchsstandes an verschiedenen Grubenwasserstandorten getestet. Für die Nutzung von Tagewässern kann ebenso diese Problemstellungen vorliegen, da ein ständiger Kontakt mit Sauerstoff vorliegt und somit die Bildung von Biofouling gegebenenfalls erleichtert, wobei dazu Untersuchungen geplant sind.

LITERATURVERZEICHNIS

- T. Wunderlich; L. Oppelt; T. Grab; T. Wenzel; P. Heinrich; R. Manig; T. Fieback: Energieversorgung von Gebäuden mit Grubenwasser: Chancen zur CO₂-neutralen Wärmeversorgung, Geothermische Energie, Nr. 102, Jg. 31, S. 26-29 (2022)
- T. Wunderlich, L. Oppelt, T. Grab, T. Fieback: Quartierslösungen mittels Wärme aus Grubenwasser, kassel22, 06-08.09.2022, Kassel
- T. Wunderlich; L. Oppelt; T. Ebel, T. Grab; T. Fieback: Abandoned Mines as a source of heat and cold for quarter solutions, International Mine Water Conference (IMWA), 17.07.2023, New Port (Wales)

KOHLE, STAHL UND BIER

175
Jahre
F. Brinkhoff

Die Geburtstagsedition.



Ganzheitliches Risikomanagement für europäische Nachbergbauregionen – Das Projekt POMHAZ

Benjamin Haske¹, Moncef Bouaziz², Tobias Rudolph¹, Jörg Benndorf²

¹Forschungszentrum Nachbergbau, Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum

²Institut für Markscheidewesen und Geodäsie, Technische Universität Bergakademie Freiberg

ZUSAMMENFASSUNG:

Die Stilllegung von Kohlebergwerken in Europa führt zu Umweltrisiken und sozioökonomischen Problemen. Das POMHAZ-Projekt zielt darauf ab, die Gefahrenbewertung und das Risikomanagement ehemaliger Bergwerke zu verbessern. Ein multidisziplinärer Ansatz integriert geologische, umweltbezogene und sozioökonomische Aspekte. Durch die Anwendung von Multi-Kriterien-Ansätzen und einem Entscheidungsunterstützungssystem wird ein umfassendes Verständnis der Gefahren entwickelt. GIS-Tools ermöglichen die räumliche Analyse und Visualisierung für Entscheidungsfindung. Fallstudien validieren die Methodik, die zu einer verbesserten Gefahrenbewertung und einem effektiveren Risikomanagement führen wird.

ABSTRACT:

The closure of coal mines in Europe results in environmental risks and socio-economic issues. The POMHAZ project aims to enhance the hazard assessment and risk management of former mines. A multidisciplinary approach incorporates geological, environmental, and socio-economic aspects. Utilizing multi-criteria approaches and a Decision Support System, it develops a comprehensive understanding of hazards. GIS tools enable spatial analysis and visualization for decision-making. Case studies validate the methodology, contributing to improved hazard assessment and more effective risk management in post-mining regions, benefiting local communities and regional development.

1 Einleitung

Die meisten Steinkohlebergwerke in Europa wurden in den letzten Jahrzehnten geschlossen oder befinden sich in ihrer letzten Betriebsphase. Durch die fortschreitende Dekarbonisierung und den European Green Deal wird in den nächsten Jahren auch der Braunkohleabbau sein Ende finden. Dennoch bleibt das Problem der Auswirkungen ehemaliger Bergwerke auf die Umwelt ein zentrales Anliegen der Bergbauindustrie und der Kohleregionen im Wandel. Nach dem Ende der Rohstoffgewinnung können zahlreiche Gefahren auftreten – manchmal unmittelbar nach dem Stopp der Bergbauarbeiten, manchmal erst nach mehreren Jahren. Bergwerksbetreiber, lokale Behörden und regionale Entscheidungsträger stehen vor Multi-Gefahren und Multi-Risiken im Zusam-

menhang mit der Stilllegung und Nachnutzung dieser Flächen. Zudem leiden alte Bergbaustandorte unter dem Verlust von Arbeitsplätzen nach der Einstellung des Bergbaubetriebs. Ein integriertes Verständnis der Einschränkungen im Zusammenhang mit der früheren Bergbauaktivität in diesen Gebieten ist ein Schlüsselement für ihre nachhaltige Entwicklung. Die Planung und insbesondere die angemessene Sanierung alter Bergbaustandorte erfordern bessere Werkzeuge, um die Vielfalt von Gefahren und Einschränkungen zu erfassen.

Das im Rahmen des Research Fund for Coal and Steel (RFCS) [1] geförderte Projekt "POMHAZ" (Post-mining Multi-Hazards evaluation for land-planning) hat sich zum Ziel gesetzt, die Gefahrenbewertung und das Risikomanagement stillgelegter Kohlebergwerke zu verbessern. Hierfür wurde für einen Projektzeitraum von drei Jahren ein multinationales Konsortium aus Hochschulen, Forschungszentren und Bergbauunternehmen aus Frankreich, Griechenland, Polen und Deutschland gebildet (Abbildung 1) [2]. Im Mittelpunkt der internationalen Projektarbeit stehen die Gefahren, Wechselwirkungen und Auswirkungen stillgelegter Kohlebergwerke auf die städtische Entwicklung. Dies erfolgt durch die Anwendung von multi-kriteriellen Ansätzen und einem Entscheidungsunterstützungssystem (DSS - Decision Support System).

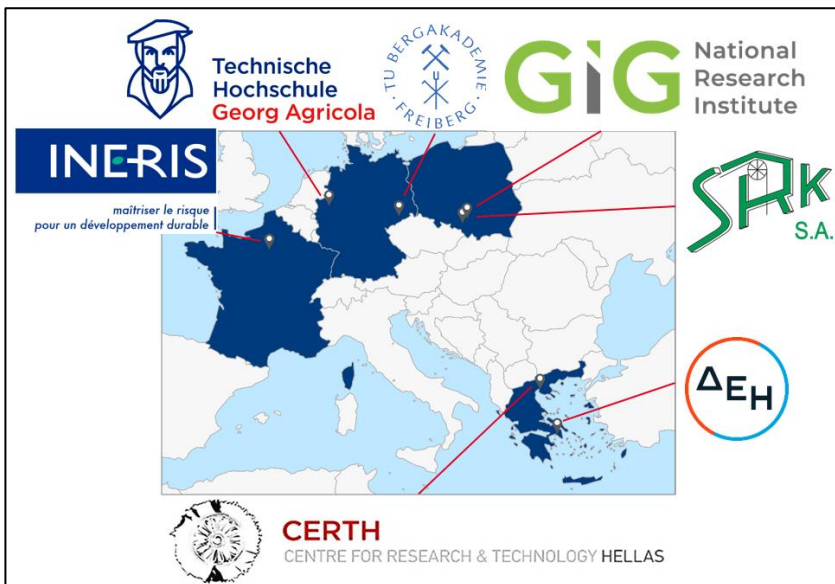


Abb. 1: Das internationale POMHAZ-Konsortium.

POMHAZ verfolgt dabei einen multidisziplinären Ansatz, der verschiedene Perspektiven wie geologische, umweltbezogene und sozioökonomische Aspekte einbezieht. Das Ziel besteht darin, ein umfassendes Verständnis der in ehemaligen Bergbau-Gebieten vorherrschenden Gefahren zu gewinnen. Die Methodik integriert multi-kriterielle Ansätze, um die Bewertung der verschiedenen Risiko-Faktoren zu erleichtern. Ein robustes Rahmenwerk für die Gefahrenbewertung wird durch die Berücksichtigung verschiedener Bergbauelemente und ihrer relativen Bedeutung für

das Risikomanagement entwickelt. Die Implementierung des Entscheidungsunterstützungssystems ermöglicht es den Interessengruppen, fundierte Entscheidungen im Hinblick auf Risikomanagementstrategien zu treffen.

Für eine umfassende Darstellung der Gefahren werden GIS-Tools entwickelt, die eine räumliche Analyse und Visualisierung zur Entscheidungsfindung verschiedener kommunaler und regionaler Stakeholder zu ermöglichen. Reale Fallstudien dienen als Grundlage für die praktische Anwendung der entwickelten Methodik und Tools. Durch die Anwendung auf konkrete Fälle soll deren Effektivität validiert und auf Grundlage praktischer Erkenntnisse und des Feedbacks der Interessengruppen weiter verbessert werden. Letztendlich werden die Ergebnisse des Projekts zu einer verbesserten Gefahrenbewertung und einem effektiveren Risikomanagement in Nachbergbau-Regionen beitragen, was sowohl den lokalen Gemeinschaften als auch der regionalen Entwicklung zugutekommt.

2 Stand der Forschung

Die Forschung zur Multi-Risiko-Bewertung begann in den 1990er Jahren im Bereich des Managements natürlicher Gefahren. Aktuelle Beispiele betrachten etwa die Kombination von Überschwemmungen, Erdbeben, Erdrutschen, Vulkanausbrüchen, Schneelawinen und ihren potenziellen Wechselwirkungen [3] [4] [5] [6] [7] [8]. Die Multi-Risiko-Bewertung wurde dabei auch als Entscheidungshilfe im Zusammenhang mit Klimawandel und städtischer Verwundbarkeit entwickelt [4], sie ermöglicht eine bessere Verwaltung der Interaktionen zwischen Gefahren und Risiken.

Das Risikomanagement konzentriert sich zunächst auf Naturereignisse wie Gebäudeschäden und Versorgungsausfälle nach Erdbeben. Gelegentlich werden auch technische Risiken wie Leckagen in chemischen Anlagen berücksichtigt. Nachbergbauliche Gefahren wurden bisher vernachlässigt, obwohl stillgelegte Bergwerke verschiedene Risiken wie Bodenbewegungen, Gasemissionen, Seismizität, hydraulische Störungen und Überschwemmungen verursachen können. Obwohl EU-Mitgliedsländer Werkzeuge für einzelne Gefahren haben, fehlen diese für Multi-Gefahren-Szenarien. Das separate Management von Einzelrisiken mindert die Wirksamkeit von Interventionen, da Wechselwirkungen zwischen Gefahren und Risiken nicht berücksichtigt werden. Erste Erfahrungen zeigen, dass dies die Effizienz der Prävention beeinträchtigt und das Gebiet unerwarteten Ereignissen mit höherer Intensität aussetzt.

Die separate Verwaltung von Einzelrisiken mindert die Effektivität von Interventionen, sowohl strukturell als auch im Notfall. Dies liegt daran, dass sie die Wechselwirkungen zwischen Gefahren und Risiken nicht berücksichtigt und das Gebiet unerwarteten Ereignissen mit höherer Magnitude als den ursprünglichen Risiken aussetzt. Erfahrungen in europäischen Ländern zeigen, dass die separate Verwaltung von Gefahren die Effizienz der Prävention beeinträchtigt, da sie die Auswirkungen von Mechanismus-Interaktionen nicht berücksichtigt und das Gebiet unerwarteten Ereignissen mit unterschiedlicher Intensität (normalerweise höher) als bei den einzelnen Gefahren aussetzt.

Die Modellierung von umwelttechnischen Entscheidungsproblemen mithilfe von Methoden der Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) war in den letzten Jahrzehnten sehr verbreitet, vor allem

als prognostisches oder vorhersagendes Instrument für eine bessere und schnellere Bewertung komplexer räumlicher Systeme [9]. MCDA-Lösungen modellieren jedoch nur einen Standort nach dem anderen. DSS werden daher verwendet, um die MCDA-Entscheidungsmodelle zu kapseln sowie wissenschaftliches und technisches Wissen, Expertenurteile und politische Anforderungen in gespeicherte Prozesse zu kodieren, um eine prägnante Darstellung des Entscheidungsproblems zu bieten [10]. Die Notwendigkeit von Entscheidungsunterstützung im bei Entscheidungen zur Gefahrenbewältigung, auch im Nachbergbau, wurde weithin anerkannt und wir daher auch in diesem Projekt zum Einsatz gebracht.

3 Methodik

Die Methodik des Projektes basiert auf einer fortschrittlichen Risikobewertungsanalyse von Multi-Gefahren und Multi-Risiken. Dies erfordert zunächst die Ausarbeitung einer umfassenden Liste solcher Phänomene, die unter den Projektpartnern geteilt wird. Interaktionen zwischen zwei Phänomenen können in mehreren Dimensionen beschrieben werden, die im Rahmen des POMHAZ-Projekts definiert werden müssen. Um die Interaktionen zu finden, werden wir versuchen, folgende Fragen zu beantworten:

- **Interaktionsbedingungen:** Gibt es spezifische Bedingungen, die für das Eintreten einer Interaktion erfüllt sein müssen? Welche sind diese Bedingungen? Wie bewertet man ihre Wahrscheinlichkeit? Oder ist die Interaktion systematisch?
- **Intensität:** Inwieweit wird ein bestimmtes Quellphänomen die Intensität des Zielphänomens ändern? Welche Parameter erklären die Intensität des Zielphänomens?
- **Wahrscheinlichkeit des Auftretens:** Welche Parameter werden die Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Zielphänomens beeinflussen?
- **Temporalität:** Treten Quell- und Zielphänomene gleichzeitig auf, oder gibt es eine Pufferzeit zwischen ihrem Auftreten? Welche Parameter beeinflussen die Pufferzeit?



Abb. 2: Die grundsätzliche Methodik und der Ablauf des Projektes.

Das darauf basierend zu entwickelnde DSS-Tool wird sich mit mehreren Zielen, Kriterien, Unsicherheiten und Nichtlinearitäten im Zusammenhang mit der Bewältigung und Minderung von Gefahren nach dem Bergbau befassen. Es wird auch als Plattform dienen, um Informationen an alle beteiligten Parteien zu verbreiten und den Wissenstransfer zu fördern.

Ein Schwerpunkt wird auf der Datenanalyse und Entscheidungstechniken liegen, nicht auf der Modellierung an sich. Zuvor entwickelte standardisierte und Open-Source-Modelle werden während der Entwicklungsphase des Systems überprüft und in das vorgeschlagene DSS-Tool integriert. Darüber hinaus wurde bisher kein integriertes DSS für die Bewältigung von Nachbergbaugesfahren entwickelt, insbesondere nicht im Einklang mit den EU-Gesetzen, das in der akademischen Welt oder im öffentlichen Bereich verfügbar ist. Das entwickelte DSS wird daher auf den aktuellen EU-Gesetzen und Richtlinien basieren. Es wird einen starken Schwerpunkt auf Nachhaltigkeit legen. Der Nachhaltigkeitsaspekt des Tools wird auf dem Triple-Bottom-Line (TBL)-Rahmen [11] entwickelt, der ein Engagement nicht nur für wirtschaftliche Faktoren, sondern auch für soziale und Umweltbelange empfiehlt.

Insgesamt wird das System fünf Hauptkomponenten haben, darunter:

- i) Standortcharakterisierung für Standortbewertung, Aufklärung und Untersuchung,
- ii) eine Risikobewertungskomponente,
- iii) eine Mitigationsmethodikkomponente zur Auswahl und Vergleich von Sanierungstechniken,
- iv) eine Kosten-Nutzen-Analysekomponente und
- v) eine Nachhaltigkeitsbewertungskomponente, um alle Ergebnisse der anderen Komponenten zu sammeln und auf Grundlage der festgelegten nachhaltigen Kriterien eine Entscheidung zu empfehlen.

Hinsichtlich der Architektur des Entscheidungsunterstützungssystems wird ein Format mit vier Kernkomponenten in Betracht gezogen, wie in Abbildung 3 dargestellt: (1) die Datenbank, (2) die qualitativen Modelle, (3) die Wissensdatenbank, (4) die grafische Benutzeroberfläche (GUI) und (5) der Benutzer. Die Zusammensetzung der DSS-Komponenten kann jedoch variieren, abhängig vom spezifischen Fokus auf die Unterstützung von Entscheidungsaufgaben und der Nutzung zugehöriger Technologien. Die Datenbank spielt eine entscheidende Rolle und beherbergt alle notwendigen Daten und Informationen, die für die Gestaltung und Konstruktion eines auf die Multikriterienstruktur nach dem Bergbau ausgerichteten Modells erforderlich sind. Dadurch wird die Generierung relevanter Analysen für fundierte Entscheidungsfindung ermöglicht.

Die Modellmanagementkomponente wird jedes vom DSS verwendete qualitative Modell enthalten. Die Wissensmanagementkomponente wird eine Wissensbasis enthalten und Informationen liefern, um die Operationen der anderen Komponenten zu ergänzen.

Eine besondere Neuheit bei der Entwicklung des DSS-Tools zur Bewertung von Gefahren und Risikomanagement von Nachbergbauregionen wird der Einsatz von künstlicher Intelligenz (AI) und maschinellem Lernen (ML) sein. AI und ML werden dem DSS die Fähigkeit verleihen, automatisch aus Erfahrungen aus einer Vielzahl von Daten zu lernen und sich zu verbessern, ohne

explizit programmiert zu werden. Das resultierende intelligente DSS wird ein vielseitiges Werkzeug sein, das in der Lage ist, komplexe Analysen und fortschrittliche Entscheidungsunterstützung durchzuführen.

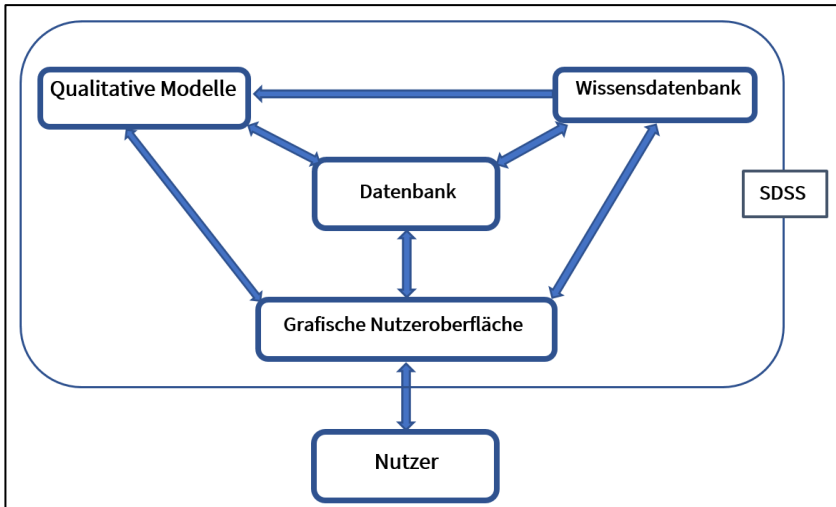


Abb. 3: Eine schematische Darstellung des SDSS für das POMHAZ-Projekt.

Abschließend werden alle entwickelten Tools und Datenbanken anhand ausgewiesener europäischer Nachbergbauregionen mit verschiedenen Gefahrenquellen getestet und validiert. Im Einzelnen sind das (mit den jeweiligen Schwerpunkten der Analyse):

- **Deutschland:** Südliches Ruhrgebiet (Tagesbrüche, hydrogische Veränderungen durch Erbstollen, Umweltbelastung durch Grubenwässer)
- **Polen:** Schlesien (Bergsenkungen, Gasmigration, Grubenwasseranstieg)
- **Griechenland:** West Mazedonien und Megalopolis (Tagebauseen, Böschungsstabilität, Umweltbelastungen in Boden und Wasser)
- **Frankreich:** Cocheren (Bergsenkungen, geologische Störungen, Gasmigration)

4 Erste Ergebnisse

Bereits im ersten von drei Projektjahren konnten einige Ergebnisse erzielt werden. Diese wurden im Oktober bei einem Projektmeeting in Athen von den verantwortlichen Partnern vorgestellt und diskutiert, um daraufhin die weitere Projektarbeit auszurichten. Neben den notwendigen Tätigkeiten der Projektkoordination und -verbreitung wurden insbesondere folgende Meilensteine abgeschlossen, die im Anschluss kurz vorgestellt werden sollen:

4.1 Datenbank der Gefahren, die von stillgelegten und aufgegebenen Stein- und Braunkohlebergwerken Europa ausgehen können

Das Hauptziel dieser Aufgabe bestand darin, eine umfassende Wissensdatenbank für die Nachbergbaugesfahren in ehemaligen Stein- und Braunkohleabbaugebieten zu schaffen. Das Hauptergebnis ist eine umfassende Tabelle, die diese Gefahren beschreibt und in den Kontext der jeweiligen Region setzt. Die Partner, die die einzelnen Länder (Frankreich, Deutschland, Griechenland und Polen) vertreten, standen in Kontakt mit verschiedenen nationalen und regionalen Organisationen. Sie sammelten einschlägige Daten, repräsentative Beispiele und Informationen zum Gefahrenmanagement im Zusammenhang mit stillgelegten Stein- und Braunkohlebergwerken. Die Gefahren wurden hierzu in verschiedene Kategorien gegliedert. Neben den in Tabelle 1 aus Platzgründen lediglich aufgeführten Kategorien, Bezeichnungen und Bergwerksarten, bei denen diese Risiken auftreten, enthält die ursprüngliche Datenbank, die bei der Europäischen Kommission eingereicht wurde, detaillierte Beschreibungen, Konsequenzen, Illustrationen, Beispiele sowie Variablen und Faktoren, die die Gefahr beeinflussen können [12].

Tabelle 1: Datenbank der Nachbergbau-Gefahren stillgelegter Stein- und Braunkohlebergwerke in Europa.

Kategorie	Bezeichnungen (Deutsch/Englisch)	Tagebaue	Untertägiger Abbau
Bodenbewegungen	Bergsenkung mine subsidence		X
	Setzung settlement	X	X
	Hangrutschung land slide / slope slide	X	
	Bergschlag /Steinschlag rock fall	X	X
	Mikroseismische Erschütterungen microseismic events	X	X
	Tagesbruch sinkhole		X
	Erdspalte crevice		X
Umweltverschmutzung	(Grund-)wasserverunreinigung (ground) water pollution	X	X
	Umweltverschmutzung durch Bergbauabfälle Mining Waste Contamination	X	X
	Böschungsbruch (Tailing) Tailing dam failure	X	

Hydrologische Probleme	Tagebauflutung pit lake flooding	X	
	Polder		X
	Grubenwasseranstieg / Grundwasseranstieg mine water rebound / ground water rebound	X	X
Gas / Feuer	Radonbelastung/Strahlungsbelastung Radon exposure / radiation exposure	X	X
	Grubengas Mine gas / Firedamp		X
	Methanbildung auf Abfalldeponien Methane emissions from mining waste dumps	X	X

4.2 Kritische Analyse und Methodik der Wechselwirkungen dieser Gefahren

Um die Wechselwirkungen der in Tabelle 1 aufgeführten Gefahren zu erforschen, wurden zwei grundsätzliche Faktoren betrachtet: Wie wirken sich die Gefahren untereinander chronologisch aus und wie stark ist ihre Auswirkung. Diese Ergebnisse lassen sich zunächst generisch als Ablaufdiagramm der gegenseitigen Einflüsse darstellen, die von keiner Interaktion (Einzel-Gefahr, Level 1) bis hin zu kaskadierenden Gefahren (Level 3) reicht. Abbildung 4 zeigt diese Zusammenhänge [13].

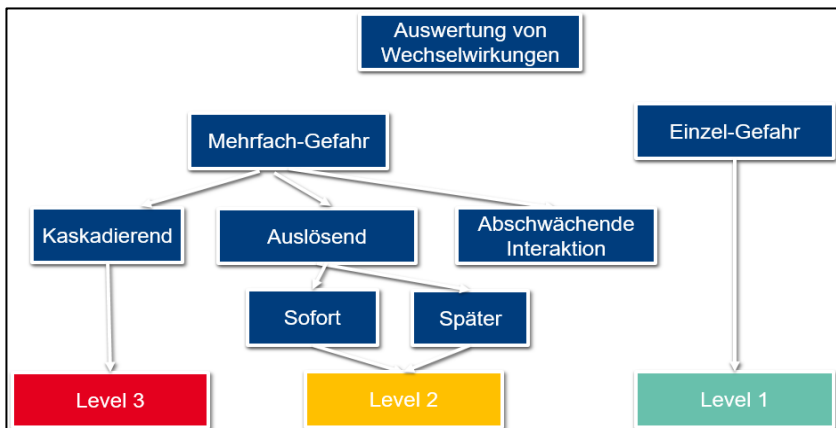


Abb. 4: Mögliche Wechselwirkungen verschiedener Gefahrenquellen. Modifiziert nach [13].

Mit Blick auf die vorher eruierten Nachbergbau-Gefahren sowie ausgewählte Naturgefahren, ließen sich dann für die unterschiedlichen Anwendungsgebiete Interaktionsmatrizen bilden, die diese Wechselwirkungen konkretisieren (Abbildung 5).

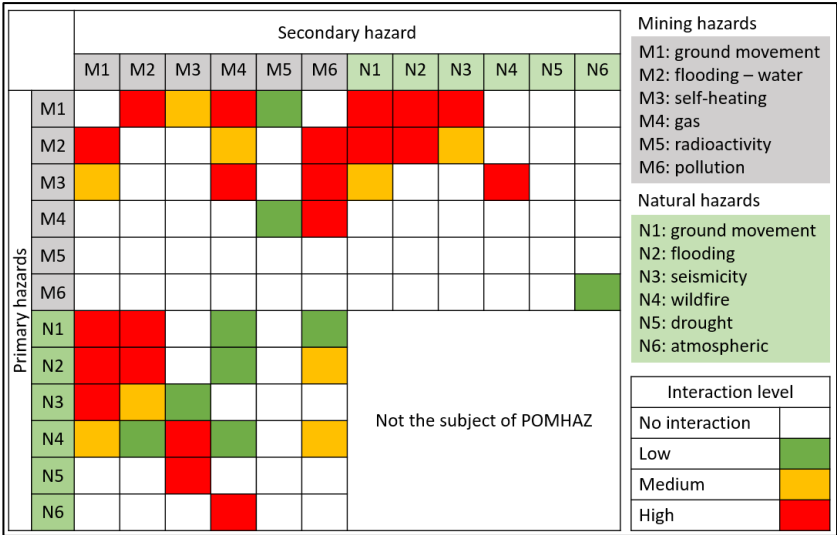


Abb. 5: Abbildung Interaktionsmatrix ausgewählter Nachbargebau- und Naturgefahren [13].

Auf Grundlage dieser Daten können in den nächsten Schritten die funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen an DSS und GIS abgeschätzt werden. Sie werden mit den Anforderungen der verschiedenen Stakeholder abgeglichen und die Entwicklung der jeweiligen Tools wird vorangetrieben. Derzeit wird an der Konzeption des DSS und an der Integration der Teilkomponenten (Input, Output, Front- und Backend, Multi-Risikoanalyse, Risikomanagement, sozioökonomische Aspekte und Nachhaltigkeit) gearbeitet.

5 Ausblick

In den kommenden zwei Jahren sollen die oben beschriebenen Vorarbeiten genutzt werden, um das DSS gemeinsam mit dem GIS zu einem vollwertigen räumlichen Entscheidungsunterstützungssystem (Spatial Decision Support System - SDSS) weiterzuentwickeln. Der Entscheidungsprozess folgt hierbei dem Analytical Hierarchy Process (AHP). Dabei sollen moderne Ansätze der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens in den verschiedenen Modulen eingesetzt werden, um die Qualität der Entscheidungsfindung zu verbessern. Die unterschiedlichen Tools werden kontinuierlich geprüft, verbessert und abschließend mittels realer Daten in den kurz vorgestellten Modellregionen validiert. Perspektivisch sollen die hierbei entwickelten Ansätze auch auf andere Nachbargebaugebiete und gegebenenfalls andere Anwendungsbereiche übertragbar sein.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Europäischen Kommission, „Research Fund for Coal and Steel (RFCS),“ Generaldirektion Forschung und Innovation, 2023. [Online]. Available: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/research-fund-coal-and-steel-rfcs_de. [Zugriff am 04 12 2023].
- [2] INERIS, „Partners,“ 13 12 2022. [Online]. Available: <https://www.pomhaz-rfcs.eu/partners>. [Zugriff am 04 12 2023].
- [3] V. Gallina, S. Torresan, A. Critto, A. Sperotto, T. Glade und A. Marcomini, „A review of multi-risk methodologies for natural hazards: Consequences and challenges for a climate change impact assessment,“ *Journal of Environmental Management*, Nr. 168, pp. 123-132, 2016.
- [4] A. Garcia-Aristizabal, P. Gasparini und G. UHINGA, „Multi-risk Assessment as a Tool for Decision-Making,“ *Urban Vulnerability and Climate Change in Africa*, p. 229–258, 2015.
- [5] Z. Liu, F. Nadim, A. Garcia-Aristizabal, A. Mignan, K. Fleming und B. Q. Luna, „A three-level framework for multi-risk assessment,“ *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, pp. 59-74, 2015.
- [6] N. e. a. Komendantova, „Multi-hazard and multi-risk decision-support tools as part of participatory risk governance: Feedback from civil protection stakeholders,“ *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Nr. 8, p. 50–67, 2014.
- [7] M. Kappes, M. Keiler, K. von Elverfeldt und T. Glade, „Challenges of analyzing multi-hazard risk: a review,“ *Nat Hazards*, Nr. 64, p. 1925–1958, 2012.
- [8] Y.-M. Chen, K. S. Fan und L.-C. Chen, „Requirements and Functional Analysis of a Multi-Hazard Disaster-Risk Analysis System,“ *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, pp. 413-428, 2010.
- [9] A. E. Rizzoli und W. J. Young, „Delivering environmental decision support systems: Software tools and techniques,“ *Environmental Modelling and Software*, pp. 237-249, 1997.
- [10] T. Sullivan, P. Bardos, C. Marot und R. Mariotti, „Framework for decision support used in contaminated land management in Europe and North America,“ *Land Contamination and Reclamation*, 2001.
- [11] J. Elkington, „Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business,“ *Environmental Quality Management*, pp. 37-51.
- [12] Centre for Research & Technology Hellas, „Technical report on “D2.1: Data base of hazards related to closed and abandoned coalmines and lignite in Europe”,“ 2023.
- [13] M. Alheib, „WP2: Post-mining hazard and multi-hazard assesement methodology,“ Ineris, Athen, 2023.

Die Integration von In Situ- und multispektrale UAV-Daten – Ein Ansatz zur Beurteilung des Vegetationszustands in nachbergbaulichen Poldern

Bodo Bernsdorf¹, Marcin Pawlik^{1,2}, Tobias Rudolph¹, Julian Jaeckel^{1,3}, Benjamin Haske^{1,2}

¹Forschungszentrum Nachbergbau, Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum

²Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau,

Technische Universität Bergakademie Freiberg,

³Geographisches Institut, Ruhr Universität Bochum

ZUSAMMENFASSUNG:

Im Rahmen des von der RAG-Stiftung geförderten Projektes MuSE - Multisensor-Geomonitoring zur Optimierung der nachbergbaulichen Wasserhaltung (2021-0002) wurden diverse Datenebenen miteinander verarbeitet. Neben In Situ-Messstationen erfolgten zudem UAV-Flüge, um über ein lokales Prozessverständnis Extrapolationen auf große Polderregionen, bergbaubedingte Senkungszonen, leisten zu können. Ziel war es, eine größere Sicherheit bei der Interpretation von Satellitendaten zu erlangen. Im hier dargestellten Beispiel wurde das Sensormessnetz durch Kartierungen mittels Mobile GIS verdichtet und interpretiert (Forschungszentrum Nachbergbau o.J., Yin et al. 2022, Bernsdorf et al. 2023a, Pawlik et al. 2023).

Der Artikel (in Anlehnung an einen Posterbeitrag zum 21. Altbergbaukolloquium 2023 in Essen) beschreibt aktuelle Erkenntnisse der Arbeiten zu Teilaspekten dieses Ansatzes. In-situ-Sensoren wurden verwendet, um die jährlichen Zyklen der Bodenfeuchtigkeit zu bestimmen (Bernsdorf & Khaing Zin Phyu 2023). Um eine Vorstellung von räumlichen Korrelationen zur Reaktion der Vegetation auf Trockenheit oder Überwässerung zu erhalten, wurde eine UAV-Ebene implementiert. Vegetationsindizes sollten mit Bodenfeuchte und Bodenoberflächentemperatur in Beziehung gesetzt werden (Bernsdorf et al. 2023b). Die Idee basiert auf der These, dass die Pflanzengesundheit, die mit Hilfe von UAV oder satellitengestützten Sensoren in Vegetationsindizes gemessen werden kann, hauptsächlich mit der Entwicklung der Bodenfeuchtigkeit im Polder zusammenhängt, die wiederum mit der durch die Sonneneinstrahlung beeinflussten Bodentemperatur verbunden ist. Es wird eine Kartierungslösung beschrieben, die auf Probeflächen getestet wurde. Um die Beziehung zwischen Bodenfeuchte und Vegetationsindizes im Allgemeinen zu verstehen, ist ein Vergleich zwischen diesem Parameter und der UAV-Ebene die Grundlage für die anschließende Übertragung auf Satellitenbilder. Die Ergebnisse helfen somit, satellitengestützte Überwachungsergebnisse von größeren Poldergebieten zu verstehen und zeigen die Veränderungen von Bodenfeuchte und darüber hinaus auch Feuchtfächen (ggf. anthropogene Senkungsseen). Dies ist ein wichtiger Beitrag aus dem Geo- und Umweltmonitoring in die Fragestellungen des Alt- und Nachbergbaus.

ABSTRACT:

As part of the MuSE - Multisensor Geomonitoring for the Optimization of Post-Mining Dewatering (2021-0002) project funded by the RAG-Stiftung, various data levels were processed together. In addition to in-situ measuring stations, UAV flights were also carried out in order to be able to extrapolate to large polder regions, subsidence zones caused by mining, via a local understanding of the process. The aim was to achieve greater reliability in the interpretation of satellite data. In the example presented here, the sensor measurement network was condensed and interpreted by mapping using mobile GIS (Research Center for Post-Mining n.d., Yin et al. 2022, Bernsdorf et al. 2023a, Pawlik et al. 2023).

The article (based on a poster contribution at the 21st Old Mining Colloquium 2023 (Altbergbau-kolloquium) in Essen) describes current findings of the work on partial aspects of this approach. In-situ sensors were used to determine the annual cycles of soil moisture (Bernsdorf & Khaing Zin Phyu 2023). To get an idea of spatial correlations to vegetation response to drought or overwatering, a UAV layer was implemented. Vegetation indices should be related to soil moisture and soil surface temperature (Bernsdorf et al. 2023b). The idea is based on the thesis that plant health, which can be measured in vegetation indices using UAV or satellite-based sensors, is mainly related to the development of soil moisture in the polder, which in turn is linked to soil temperature influenced by solar radiation. A mapping solution is described that was tested on sample plots. In order to understand the relationship between soil moisture and vegetation indices in general, a comparison between this parameter and the drone level is the basis for the subsequent transfer to satellite images. The results thus help to understand satellite-based monitoring results from larger polder areas and show the changes in soil moisture and also wetlands (possibly anthropogenic subsidence lakes). This is an important contribution from geo- and environmental monitoring to the issues of old and post-mining.

1 Einführung in die Thematik

Das Forschungszentrum Nachbergbau (FZN) an der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA) verfolgt mit dem Geomonitoring einen raum-zeitlichen Ansatz der auf unterschiedlichen Datenebenen basiert. Mit dem Fokus auf die Umweltentwicklung in Bergbaufolgelandschaften, insbesondere die Beobachtung sogenannter Polder - Landflächen in Bergbaugebieten, die infolge von Bergsenkungen ihre Vorflut verloren haben und künstlich entwässert werden müssen (Burghardt et al. 2017) - wird ein präzises Prozessverständnis der natürlichen Prozesse auf meist drei Datenebenen aufgebaut, um relevante Aspekte zu extrapolieren. Dabei handelt es sich um In-situ-Komponenten, eine multi- oder hyperspektrale UAV-Schicht und eine aus Multispektral- und Radarbildern bestehende Satellitenschicht. Der Ansatz basiert im Wesentlichen auf dem Versuch, ein in situ erarbeitetes Prozessverständnis in einen flächendeckenden Ansatz zu übertragen, der auf der Analyse von Satellitenbildern basiert, um größere Gebiete geografisch zu überwachen. Ansätze sind vorhanden (bspw. de Waal et al. 2021). Vor flächendeckenden Analyse per Satellitendaten müssen nach Ansicht des FZN jedoch Methoden entwickelt werden, um Punktinformationen flächenhaft interpretieren zu können (Pawlik et al. 2021). Das FZN setzt

hierzu auf UAV-gestützte Sensoren, um deren im Vergleich zur Satellitenebene höhere geometrische Auflösung zu nutzen. Die Ergebnisse werden mit der Satellitenebene fusioniert und tragen so zum besseren Verständnis der satellitengestützten flächendeckenden Bewertung bei.

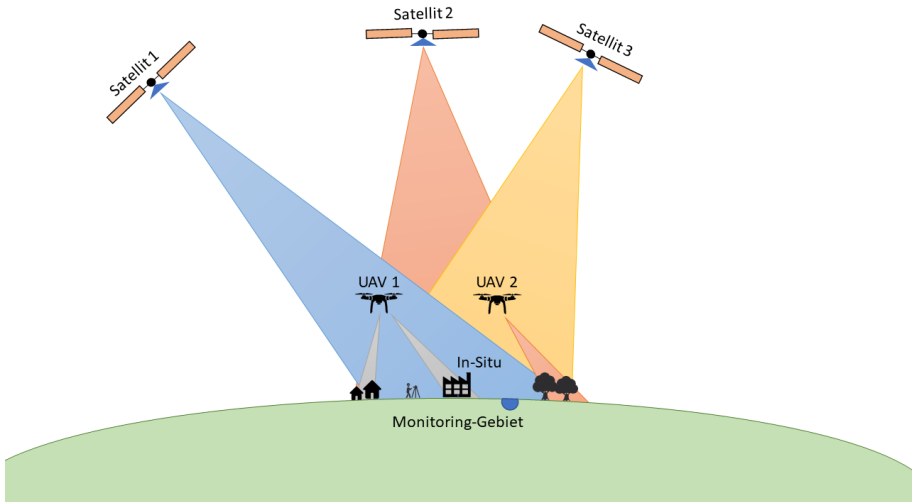


Abb. 1: Prinzipskizze des Mehrebenenansatzes im Geomonitoring. Nach Haske et al 2022, S. 48, verändert.

Bereits im Laufe von Vorprojekten wie „Climate Change – Management and Monitoring“ (C^2M^2) stand die Frage im Raum, wie sich Bergsenkungsgebiete in Bezug auf ihren Wasserhaushalt entwickeln. Angestoßen wurde die Diskussion durch die Trockenjahre 2018 - 2020 und das nachfolgende Starkniederschlagsereignis im Juli 2021. Während das Projekt C^2M^2 den Fokus auf die hydraulische Lieferfähigkeit aus dem Einzugsgebiet der naturnah zurückgebauten Emscher legte (Bernsdorf et al. 2022), steht im Folgeprojekt „MuSE - Multisensor-Geomonitoring zur Optimierung der nachbergbaulichen Wasserhaltung“ die Frage im Fokus, ob sich die Steuerung der Pumpen in den Bergsenkungsgebieten optimieren lässt (Forschungszentrum Nachbergbau o.J.).

Beide Fragen liegen nicht weit auseinander, denn ein Prozessverständnis des Wasserhaushalts in den Poldergebieten führt nach Ansicht des Projektteams zu den Antworten. In beiden Fällen geht es um die ökologischen Zusammenhänge zwischen klimabedingten Veränderungen, dem Boden als Medium zwischen der Pflanzenwelt und dem Grundwasser sowie möglichen Früherkennungen von kritischen Zuständen – etwa über die Interpretation von Vegetationsindizes. Insbesondere letztere lassen sich leicht per multispektraler Daten aus Satellit und Unmanned Aerial Vehicle (UAV) erfassen und werden vielfach angewendet. Lediglich gilt es herauszufinden, welche Pflanzenreaktion etwa phänologisch bedingt und welche durch einen gestörten Wasserhaushalt resultieren (Seidel 2023).

Im Bereich des 2018 geschlossenen Bergwerks Prosper-Haniel und dessen Abbaufeldern wurden übertägige Messstellen im Bereich der Boye angelegt, einem Bach im Bereich des Emscher-einzugsgebietes. Die Boye ist vielfach von Bergsenkungen betroffen und muss schon im Oberlauf

über ein zentrales Pumpwerk über den Nullrand der Bergsenkung gehoben werden (Abb. 1 und Abb. 2). Im weiteren Verlauf wird die Boye nochmal am Klärwerk Bottrop gehoben, bevor sie final in die Emscher mündet. Zudem ist der Bach vielfach überprägt, wurde aber im Zuge der Umgestaltung der Emscher ebenfalls naturnah zurückgebaut – soweit es die aktuelle Relief- und Siedlungssituation zuließ. Eine Darstellung der Situation findet sich bei Held (2007) und Seidel (2023).

Im Artikel wird dargestellt, mit welcher Methode eine erste „Sicherheit“ gewonnen wurde, um aus Satellitendaten generierte Vegetationsindizes später besser interpretieren und im Sinne der Fra-gestellung auswerten zu können. Lediglich die In Situ- und die UAV-Ebene werden dabei betrach-tet. Ausführlich wurde der Sachverhalt bei Bernsdorf et al. (2023a,b) beschrieben.



Abb. 2: Blick aus Richtung Pumpwerk Boye-Oberlauf Richtung Nullrand der Bergsenkung. Links neben dem Weg befindet sich das trockenengefallene Boye-Bachbett, während die Boye in zwei Druckwasserleitungen unterhalb der Tagesoberfläche über den Nullrand geführt wird. © FZN/Tobias Rudolph

2 Ausgangsthese

Die Ausgangsthese basiert auf bodenphysikalischen Zusammenhängen, nach denen Hitze und ausbleibendes Niederschlagswasser den Boden austrocknen lässt und ab einer Saugspannung von pF 4,2 der permanente Welkepunkt (PWP) für Pflanzen erreicht ist (Blume et al. 2010, S. 228). Daraufhin können Pflanzen, deren Wasseraufnahme über die Wurzeln per Osmose abläuft, noch eine Weile durch Schutzmechanismen gegensteuern (etwa das Schließen der Stomata). Danach verringert sich der Turgor-Druck und mit dem fehlenden Wasser stellen einzelne Organellen, wie auch das hier relevante Chlorophyll, die Arbeit ein. Die Funktion der Zellorgane wird

sich sukzessive verschlechtern, die Pflanze verliert die Turgeszenz und welkt (Kadereit et al. 2021).

Die in diesem Projektanteil zu belegende Forschungsfrage stellt sich vergleichsweise einfach dar: Lässt sich der beschriebene Prozess über Vegetationsindizes beobachten und gibt es für die dargestellte Kausalität eine direkte Korrelation zu gemessenen Bodenfeuchte- und der Temperatur der Bodenoberfläche.

3 Methode

Um die Ausgangsthese zu überprüfen wurde ein kombiniertes Kartiervorgehen gewählt, das ein bestehendes Messnetz aus Wetter-, Boden- und Temperatursensoren zu verdichten hilft. Mit kleinen RFID-Sensoren, die über eine Smartphone-App ausgelesen werden, wurde eine Bodenfeuchte- und Bodenoberflächentemperatur-Kartierung durchgeführt. Die Sensoren sind ausführlich bei Bernsdorf & Khaing Zin Phyu (2023) beschrieben, das Verfahren bei Bernsdorf et al (2023b). Um systematische Fehler bei der Probennahme auszuschließen, wurde ein altes Verfahren zur Herstellung eines Probennetzes gewählt. Die Methode wird als *Stratified Unaligned Systematic Sampling* (SUSS) bezeichnet (Isaak & Srivastavba (1989), Laurini & Thompson (1996), Webster & Oliver (1990)). Sie schlägt innerhalb eines regelmäßig erstellten Probennetzes Probenpunkte vor, die innerhalb einer Rasterzelle unsystematisch verteilt sind (vgl. Abb. 4:).



Abb. 3: Auslass der Druckwasserleitungen am Nullrand der Bergsenkung. © FZN/Tobias Rudolph

Dieses Probennetz wurde in ein mobiles GIS übertragen und die Probenpunkte im Gelände entsprechend der GNSS-Genauigkeit aufgesucht. Die Daten wurden vor Ort erfasst und ins GIS übertragen. Während der Kartierungen erfolgten UAV-Flüge unter Nutzung des sogenannten Real Time Kinematic, einer Positionierungsmethode, die die Positionsgenauigkeit unterhalb der geometrischen Auflösung der Luftaufnahmen hält (ca. 2 cm – 4 cm).

Alle Daten wurden mit photogrammetrischer Software und im GIS verarbeitet. Nach einer Interpolation der Kartierungen mit Hilfe der Kriging-Methode ergaben sich flächendeckende Abbildungen (Beispiel in Abb. 5:), die mit den Multispektral- und Thermaldaten verglichen werden konnten. Aus diesen wiederum wurden Vegetationsindizes abgeleitet und im GIS Korrelationen zwischen den Ergebnisebenen berechnet (Beispiel in Abb. 6:).

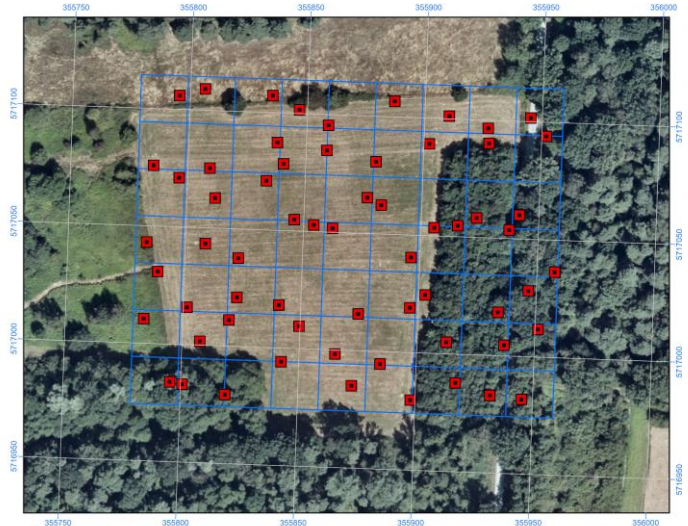
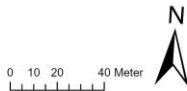
Kartierung der
Bodenoberflächentemperatur
und der Bodenfeuchte
Seminar GIS und räumliche
Analyse Wintersemester 2023/24



Technische
Hochschule
Georg Agricola

Legende

- Probenpunkte_berechnet
- Probennetz



Erläuterung:

Die Kartierung der Bodenoberflächentemperatur und der Bodenfeuchte in ca. 5 cm Tiefe erfolgte mit NFC-Sensoren und werden über ein mobiles GIS erfasst.

Während der Arbeiten wird das Gebiet mit einer Multispektral- und einer Thermalkamera in 50 und 80 Metern Flughöhe erfasst und später im GIS verarbeitet.

Abb. 4: Probennetzberechnung nach der SUSS-Methode. © FZN/Bodo Bernsdorf

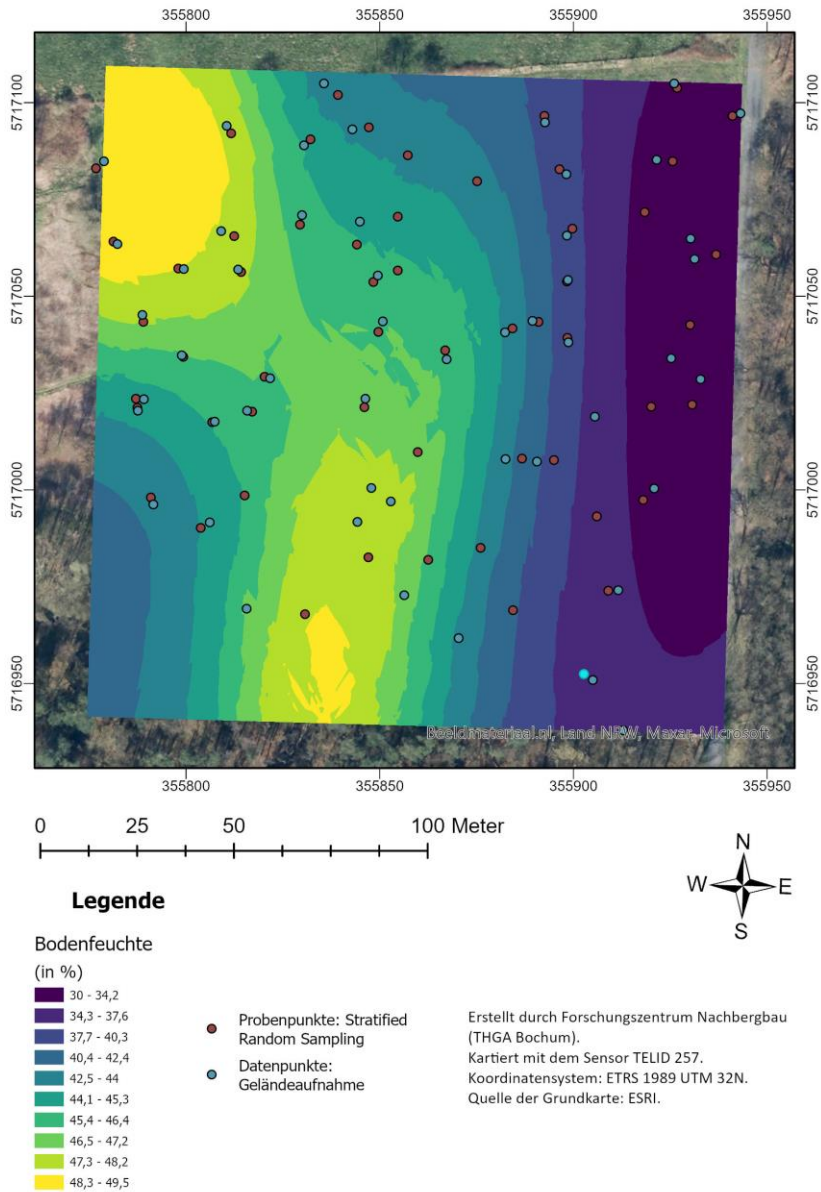


Abb. 5: Beispiel für die Interpolation der Bodenfeuchte. © FZN/Marcin Pawlik

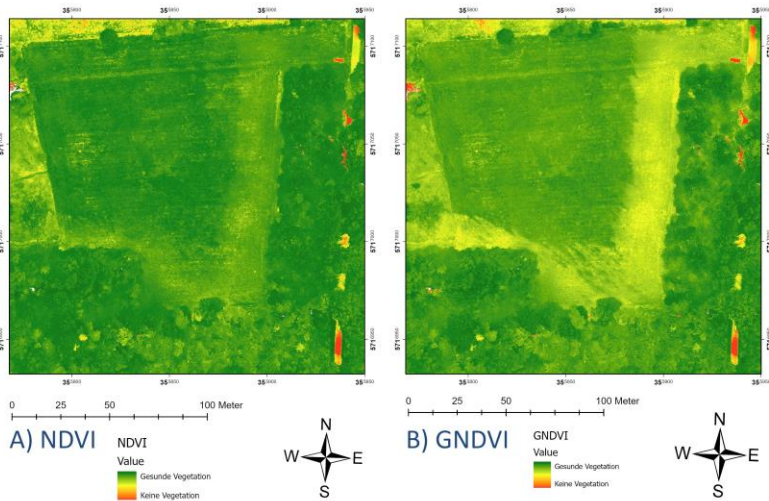


Abb. 6: Beispiel für aus Multispektraldaten abgeleitete Vegetationsindizes, hier NDVI (links) und GNDVI (rechts). © FZN/Marcin Pawlik

4 Ergebnisse

Die Korrelationsanalysen ergaben unterschiedliche Resultate. Grundlegend konnte der die angenommene Kausalität verursachende Einfluss der Temperatur der Bodenoberfläche auf die Bodenfeuchte in den oberen 5 cm mit einer hohen Korrelation belegt werden ($r = 0,89$ / $r^2 = 0,78$). In Arealen mit hoher Temperatur wurden somit - wie erwartet - die geringsten Bodenfeuchtwerte gemessen. Bezüglich der Vegetationsindizes ergaben sich differenzierte Bilder (Bernsdorf et al 2023b):

- GNDVI versus Bodenfeuchte (obere 5 cm): $r = 0,66$ ($r^2 = 0,43$)
- NDVI versus Bodenfeuchte (obere 5 cm): $r = 0,54$ ($r^2 = 0,29$)
- MSAVI versus Bodenfeuchte (obere 5 cm): $r = 0,50$ ($r^2 = 0,25$)
- SAVI versus Bodenfeuchte (obere 5 cm): $r = 0,50$ ($r^2 = 0,25$)

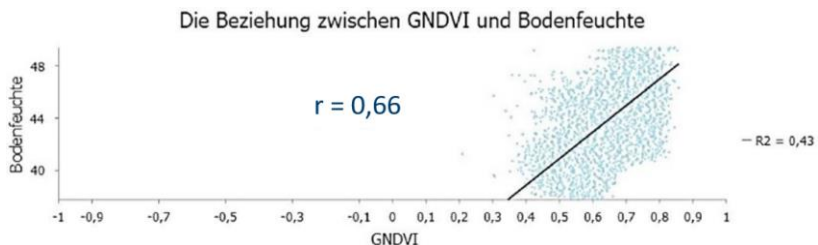


Abb. 7: Korrelation zwischen Kartierung und Indexberechnung am Beispiel des GNDVI (rechts). © FZN/Marcin Pawlik (Bernsdorf et al. 2023b)

Nach Cohen (2013) weisen alle getesteten Vegetationsindizes damit eine starke bis sehr starke Korrelation auf. Demgegenüber ergab die Analyse für die Korrelation zwischen der Temperatur der Bodenoberfläche und den Indizes eher schwache (bspw. SAVI $r = 0,1$) bis mittlere Korrelationen (bspw. NDVI $r = 0,32$).

5 Interpretation

Die Untersuchungen wurden mehrfach durchgeführt und jeweils ähnliche Ergebnisse erzielt. Man kann davon ausgehen, dass sich somit das Wettergeschehen mit der angedeuteten Verzögerung durch die Pflanzenschutzmechanismen in der Pflanzengesundheit ausdrückt und über die Erfassung von Vegetationsindizes bestimmen lässt. In der Untersuchung bildete der GNDVI das Geschehen besonders gut ab.

Diese einfache, aber effiziente Methode zur Überprüfung einer These gibt eine höhere Sicherheit bei der Interpretation der geometrisch schlechter aufgelösten Satellitenbilddaten, die spektral den genutzten Sensoren der UAV-Ebene vergleichbar sind (Pawlik et al 2022). Mit den Satellitendaten lässt sich nun die Landschaft sehr viel regelmäßiger und großflächiger überwachen. Eine Frühwarnung für eingeschränkte hydraulischer Lieferfähigkeit im Einzugsgebiet kann damit in ein Geomonitoring-Konzept integriert werden – etwa indem phänologisch bedingte Indizes über mehrere Jahre berechnet und mit der aktuellen Situation verglichen werden.

Die geringeren Korrelationen zu den gemessenen Temperaturwerten werden seitens der Autoren mit dem Versuchsaufbau erklärt. Vegetationsindizes und Bodenfeuchte sind konstanter, als etwa Temperaturen, die unmittelbar reagieren. So spielt die Dauer der Kartierung, der Zeitpunkt der Aufnahmen und die durch den Sonnenstand variierende Beschattung von Flächen bei der Temperaturerfassung eine größere Rolle.

Im weiteren Projektverlauf soll ein längerfristiges Monitoring initiiert werden. Zudem wird der Sprung aus der In Situ- und UAV-Ebene auf die Ebene der Satellitenfernerkundung vollzogen. Ziel ist es, über das gewonnene Prozessverständnis die aufwendigen In Situ-Messungen und UAV-Befliegungen mindestens zu reduzieren. Somit entsteht ein wichtiges Anwendungswerkzeug aus dem Geo- und Umweltmonitoring in der Anwendung für den Alt- und Nachbergbau.

LITERATURVERZEICHNIS

Bernsdorf, Bodo; Rudolph, Tobias; Khaing Zin Phyu; Climate Change – Management and Monitoring - Boden und In situ-Sensordaten als Schlüssel zum Prozessverständnis; Mining Reports – Glückauf 158. Heft 1/2022, S. 32-52. 2022. <https://mining-report.de/climate-change-management-and-monitoring-boden-und-in-situ-sensordaten-als-schluesel-zum-prozessverstaendnis/>.

Bernsdorf, Bodo; Khaing Zin Phyu; Zur Bewertung von in situ-Sensoren bei der Einschätzung von Prozessabläufen im Geomonitoring. Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften (ZDGG), Early Access 1/2023. 2023a. 10.1127/zdgg/2023/0339

Bernsdorf, Bodo; Rudolph, Tobias; Pawlik, Marcin; Bökelmann, Stephan; Multisensorales Geomonitoring – Ein Beitrag zur Datenfusion im Nachbergbau | Multi-Sensoral Geomonitoring – A Contribution on Data Fusion

- in Post-Mining. *gis.Science* 1/2023, S. 1-16. 2023b. <https://gispoint.de/index.php?eID=dump-File&t=f&f=18686&token=9ef7131050bb27794ffaa74ede67ebae2536bb55&download=>
- Blume, Hans-Peter; Brümmer, Gerhard W.; Horn, Rainer ; Kandeler, Ellen ; Kögel-Knabner, Ingrid; Kretschmar, Ruben ; Stahr, Karl ; Wilke, Berndt-Michael; Scheffer/Schachtschabel – Lehrbuch der Bodenkunde; 16. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 569 Seiten. 2010.
- Burghardt, Diana; Coldewey, Wilhelm; Melchers, Christian; Meßer, J.; Paul, Michael; Walter, Thomas; Wesche, Dominik; Westermann, Sebastian; Wieber, Georg; Wisotzky, Frank; Wolkersdorfer, Christian; Glossar Bergmännische Wasserwirtschaft; 1. Auflage. Arbeitskreis Grubenwasser der Fachsektion Hydrogeologie in der DGGV e.V. Neustadt/Weinstraße. 23 S. 2017.
- Cohen, Jacob; Statistical Power Analysis for Behavioral sciences; Academic Press, Revised Edition, New York, 473 S. 2013
- de Waal, Arne; Remke, Albert; Bernsdorf, Bodo; Fechner, Thore; Bican, Alexandra; Klink, Adrian; SenSituMon - Integration von Satelliten- und In-situ-Sensordaten zur Verbesserung der automatisierten großräumigen Überwachung von Überflutungen. *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*. 3/2021. 146. Jahrgang, S. 168-178. <https://geodaesie.info/zfv/heftbeitrag/8674>
- Forschungszentrum Nachbergbau; FZN entwickelt Wassermanagement im Ruhrgebiet weiter. Pressemitteilung zum Projektstart MuSE 2021 <https://fzn.thga.de/presse-muse/>
- Haske, B.; Rudolph, T.; Goerke-Mallet, Peter; Die Anwendbarkeit frei verfügbarer Fernerkundungsdaten für Risikomanagementsysteme des Alt- und Nachbergbaus; *GeoResources Zeitschrift* 8 (1), S. 45-49. 2022. <https://www.georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-1-2022.pdf>
- Held, Thomas; Der Fluss der Mitte – Die Verwandlung der Emscherregion; in: Zepp, Harald (Hrsg.). *Ökologische Problemräume Deutschlands*. Deutsche Akademie für Landeskunde, S. 23-46, Darmstadt: Humboldt & Mommsen. 2007.
- Isaaks, Edward H.; Srivastava, R. Mohan; An Introduction to Applied Geostatistics; Oxford University Press, New York, 561 S. 1989.
- Kadereit, Joachim W.; Körner, Christian; Nick, Peter; Sonnewald, Uwe; Strasburger – Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften; 38. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 1.155 Seiten. 2021.
- Laurini, Robert; Thompson, Derek; Fundamentals of Spatial Information Systems. 5th printing, The A.P.I.C. Series, No. 37, Academic Press London 680 S. 1996.
- Pawlik, Marcin; Yin, Xiaoxuan; Bernsdorf, Bodo; Rudolph, Tobias; Goerke-Mallet, Peter; Der Einsatz moderner Methoden des Geo- und Umweltmonitoring im nachhaltigen Umgang mit Georessourcen. *Mining Reports – Glückauf*. Heft 6 2023, S. 551-561. 2021. <https://mining-report.de/einsatz-moderner-methoden-des-geo-und-umweltmonitoring-im-nachhaltigen-umgang-mit-georessourcen/>
- Pawlik, Marcin; Haske, Benjamin; Bernsdorf, Bodo; Rudolph, Tobias; Benndorf, Jörg; Analyse des Zustands der Vegetation auf dem Gelände des stillgelegten Bergwerks Prosper-Haniel anhand von multispektralen Satellitenbildern der Sentinel-2 Mission und Drohnenflüge; *Markscheidewesen* 1/2022, 129. Jg. S. 37-44. J. 2022.
- Pawlik Marcin; Haske, Benjamin; Bernsdorf, Bodo; Rudolph, Tobias; John, André; Blachowski, Jan; Kujawa, Paulina; Dynowski, Aleksandra; The use of mobile GIS in the scientific research – Post-Mining Case Studies. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1189 012023 2023.

- Seidel, Dana; Nutzung von Vegetationsindikatoren zur Einschätzung der hydraulischen Lieferfähigkeit des Boye-Einzugsgebietes in Bottrop und Gladbeck. Masterarbeit zur Erlangung des Mastergrades der Ingenieurwissenschaften an der Technischen Hochschule Georg Agricola, Bochum, 80 Seiten. 2023.
- Webster, Richard; Oliver, , Margaret A.; Statistical Methods in soil and land resource survey; Spatial Information Systems, Oxford University Press vol. 99, 316 S. 1990
- Yin, Xiaoxuan; Bernsdorf, Bodo; Goerke-Mallet, Peter; Rudolph, Tobias; Die „Muse“ im nachbergbaulichen Geomonitoring – Neue Ansätze für das Poldermonitoring. Markscheidewesen 1/2022, 129. Jg. S. 29-36. 2022.



DR. SPANG

Ingenieurgesellschaft für Bauwesen,
Geologie und Umwelttechnik mbH



- Geotechnik
- Altbergbau
- Altlastensanierung
- Hang - und Böschungssicherheit
- Steinschlagschutz
- Felsbau
- Tunnelbau
- Brückenbau
- Umwelttechnik
- Wasserbau
- Naturschutz
- Beweissicherung
- Ingenieurgeologie
- Hydrogeologie
- Spezialtiefbau
- Rockfall-Software



REMINDNET – Paneuropäisches Altbergbaunetzwerk

Stefan Möllerherm

Technische Hochschule Georg Agricola, Forschungszentrum Nachbergbau, Bochum

ZUSAMMENFASSUNG:

Sowohl weltweit als auch in Europa gibt es zahlreiche Hinterlassenschaften des Bergbaus. Von ihnen können entsprechende Gefährdungen für Mensch und Umwelt ausgehen. Unsachgemäß geschlossene oder verlassene Bergwerke stellen damit für Regierungen, Gemeinden und Bergbauunternehmen ein schwieriges Erbe dar. Sowohl die Schließung aktueller Bergwerke als auch ehemalige Bergwerke erfordern Kenntnisse und Methoden, um eine erfolgreiche Sanierung zu gewährleisten. Jedoch fehlt es häufig an entsprechendem Wissen und Praktiken beim Umgang mit diesen Altlasten. Daher haben sich Natur-, Geo-, Ingenieur-, Sozial- und Geisteswissenschaftler sowie Ökonomen aus Universitäten, Hochschulen und Forschungseinrichtungen sowie Experten aus Behörden, Unternehmen und NGOs zu dem pan-europäischen Netzwerk REMINDNET - REcovery MINing District NETwork zusammengeschlossen, um den internationalen Wissensaustausch zu fördern und eine gemeinsame Forschungsagenda für den Umgang mit den Hinterlassenschaften der Rohstoffgewinnung zu entwickeln.

ABSTRACT:

There are numerous mining legacies both worldwide and in Europe. They can pose risks to people and the environment. Improperly closed or abandoned mines therefore represent a difficult legacy for governments, communities and mining companies. Both the closure of current mines and former mines require knowledge and methods to ensure successful remediation. However, there is often a lack of appropriate knowledge and practices in dealing with these contaminated sites. Therefore, natural scientists, geologists, engineers, social scientists, humanities scholars and economists from universities and research institutions as well as experts from public authorities, companies and NGOs have joined forces to form the pan-European network REMINDNET - REcovery MINing District NETwork to promote the international exchange of knowledge and develop a common research agenda for dealing with the legacies of raw material extraction.

1 Einleitung

In den letzten fünf Jahrzehnten hat sich die Weltbevölkerung verdoppelt, der Abbau von Rohstoffen sich verdreifacht und das Bruttoinlandsprodukt vervierfacht. Auch hat sich die Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen in den letzten zwei Dekaden verdoppelt [International Resource Panel 2019] und erfordert einen nachhaltigen Umgang mit den Hinterlassenschaften des Bergbaus (auch Altbergbau genannt). Beispielsweise benötigt die Energiewende Rohstoffe für Windkraftanlagen in Form von Beton (Kalkstein) und Stahl (Eisenerz). Diese Rohstoffe machen schon 90 – 95% aus für die Errichtung einer einzelnen Windkraftanlage [Marscheider-Weidemann 2016].

Daher ist der Rohstoffabbau auch zukünftig noch essentiell [Suopajarvi 2017]. Jedoch müssen gegenwärtige, zukünftige aber auch vergangene Konsequenzen der Bergbauaktivitäten in einer verantwortlichen Art und Weise adressiert werden. Die Gestaltung einer verantwortungsbewussten Rohstoffgewinnung berücksichtigt den gesamten Lebenszyklus, beginnend mit der Vergabe der Bergbaurechte und Lizenzen, über Exploration und Betriebsphase bis zur Schließung und Nachnutzung [Lesser 2020, Tiffner 2021, Vidal Legaz 2020, Goerke-Mallet 2022]. Gemäß des EU Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft (Circular Economy Action Plan) aus dem Jahre 2020 müssen darüber hinaus auch die sozialen Folgen und die Umweltauswirkungen des Rohstoffabbaus berücksichtigt werden. Nur so kann dauerhaft ein Rohstoffabbau in Europa geplant und durchgeführt werden und leistet einen wertvollen Beitrag zu den UN Nachhaltigkeitszielen.

2 Umwelteinwirkungen von Bergbauhinterlassenschaften

Alle Bergbausektoren wie Steinkohle, Braunkohle, Metallerze, Edelmetalle, Rohstoffe für die Energiewende (Seltene Erden, Lithium, Kobalt, etc.), Industriemineralien, aber auch Baurohstoffe bergen im unterschiedlichen Grad Risiken. Die Gewinnung im Tage- und im Tiefbau führt zwangsläufig zu einem Eingriff in die Landschaft und in die Umweltkompartimente Boden, Wasser und Luft, zu Veränderungen in der Biodiversität, in Habitaten und Ökosystemen, aber auch in der sozialen Umgebung und im Leben der lokalen Bevölkerung. In Abhängigkeit von der Technologie und den Managementpraktiken kann Gewinnung und Aufbereitung in erheblichen Umweltauswirkungen wie Verlust der Vegetation, Schadstoffbelastungen oder Zerstörung des Ökosystems resultieren. Abraum- und Bergelhalden sowie Tailings sind die Hauptursache für feste Abfälle, aber auch für flüssige Schadstoffbelastungen, beispielsweise Acid Mine Drainage, die wiederum die öffentliche Gesundheit und die soziale Entwicklung der Bevölkerung beeinträchtigen. Gewinnungs-, Aufbereitungs- und Veredlungsprozesse können ebenso der Grund für die Kontamination von Grund- und Oberflächenwasser mit toxischen Chemikalien und Metallen sein. Kupfer, Nickel, Quecksilber, Cyanide, Zink, Blei und Kadmium haben alle negative biologische Effekte auf den menschlichen Körper und andere Lebewesen in der Nahrungskette, während Staub und Wasser im Bergbau zu gefährlichen Arbeitsplätzen führen können. Zusätzlich können Ineffizienzen aufgrund nicht ausgelasteter Kapazitäten, Betriebsstörungen bei Maschinen, Mangel bei der Kontrolle von Reagenzien, irreguläre Arbeitsabläufe und der Einsatz von schwefelhaltigen Brennstoffen in Umweltbelastungen resultieren. Ein richtiges Management während der Betriebsphase kann diese Umweltauswirkungen und die zukünftigen Kosten für die Wiedernutzbarmachung minimieren. Jedoch enden diese negativen Umwelteinwirkungen nicht mit Schließung des Bergwerkes, im Gegenteil, sie sind weiter existent. Die meisten der Umweltauswirkungen bei geschlossenen Bergwerken, ob Tagebau oder Tiefbau, sind die gleichen wie bei aktiven Bergwerken (Abbildung 1). Der einzige große Unterschied kann im Schweregrad und im flächenmäßigen Umfang der Einwirkung liegen, muss aber nicht. In der sozialen Dimension tragen insbesondere die Halden zum Landschaftsbild und zum Bewusstsein bei, so dass sie im Laufe der Zeit als integraler Bestandteil der Nachbarschaft und somit identitätsstiftend sind.

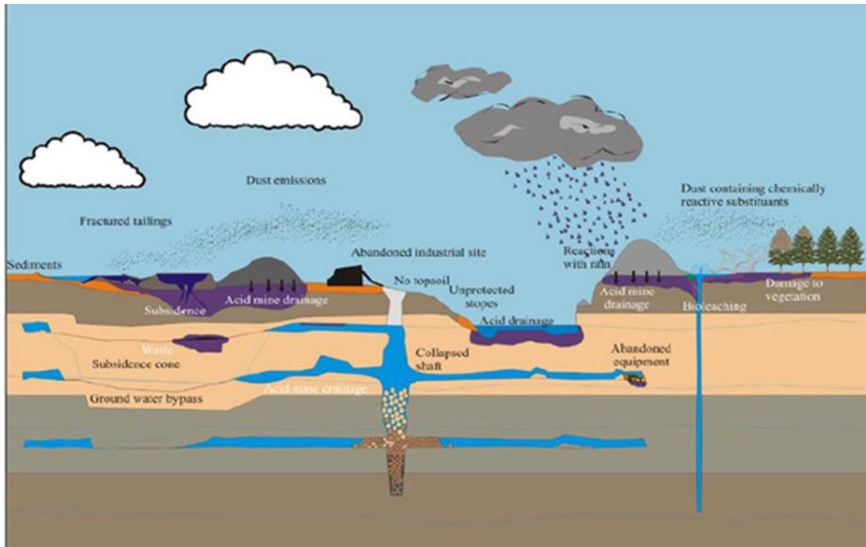


Abb. 1: Umweltauswirkungen von Bergbauhinterlassenschaften (COST Action 22138)

3 Altbergbau in Europa und in der Welt

Die Wahrscheinlichkeit, dass risikobehaftete Ereignisse eintreten, steigt mit dem Alter der Bergwerke. Besonders in dicht besiedelten Regionen ist es eine zwingende Notwendigkeit, die Folgen der Gewinnung und die Prozesse wie Grubenwasseranstieg, Grundwassermanagement, Stabilität von Halden und Absatzbecken zu adressieren. Alle Länder mit einer langen Bergbautradition haben die gleichen dringenden Probleme und ihre Lösung bedarf eines multinationalen Ansatzes und Wissensaustausch.

3.1 Altbergbau in Australien, Kanada und den USA

Die Hinterlassenschaften von ehemaligen Bergwerken sind ein weltweites Phänomen. Jedoch gibt es kaum verlässliche Statistiken über ihre Anzahl. Auch fehlt in vielen Fällen eine entsprechende Dokumentation der Anlagen und der Abbautätigkeiten. In den USA ist das Bureau of Land Management (BLM) zuständig für verlassene Bergwerke [Brune 2023]. Das Abandoned Mine Lands (AML) Programm zielt auf eine Erhöhung der öffentlichen Sicherheit und der Verbesserung der Luft-, Wasser-, und Bodenqualität durch Verringerung oder Beseitigung der Auswirkungen des früheren Hartgesteinsbergbaus (wie Gold, Silber, Blei und Uran) im Westen der Vereinigten Staaten. Die Behörde führt ein Verzeichnis bekannter stillgelegter Bergwerke auf vom BLM verwaltetem Land. Aktuell umfasst das Inventar 57.586 Standorte, von denen etwa 20 % bereits saniert wurden oder keine weiteren Maßnahmen erfordern. Die restlichen 80 % müssen weiter untersucht und/oder saniert werden (Abandoned Mine Lands | Bureau of Land Management (blm.gov)). Andere Experten schätzen die Zahl verlassener Bergwerke in den USA auf >600.000 und in Kanada auf 10.000 [Unger 2017].

Werner und seine Kollegen identifizierten, klassifizierten und georeferenzierten in ihrer Untersuchung 95.320 Bergwerke in Australien [Werner 2020]. Die überwiegende Mehrheit (89 %) der Minen waren inaktiv und nur 4 % wurden als saniert klassifiziert. Unter den inaktiven Minen werden die meisten als vernachlässigt eingestuft (68 %). Von diesen 68 % haben laut den Autoren 75 % nur eine geringe Aussicht auf eine Sanierung. Zusammengenommen deuten diese Zahlen darauf hin, dass ~80% der australischen Minen saniert werden müssen, was eine enorme wirtschaftliche, ökologische und soziale Herausforderung für die Zukunft ist und ein nationales Sanierungsprogramm erfordert.

3.2 Altbergbau in Europa

Europa blickt auf einen jahrtausendalten Bergbau zurück. Aufgrund damaliger unzureichender Praktiken gibt es demzufolge eine Vielzahl an Bergbahinterlassenschaften mit entsprechenden negativen Umweltauswirkungen. Tabelle 1 enthält einige Beispiele.

Tab. 2: Beispiele zu Altbergbau in Europa (COST Action 22138)

Land	Hinterlassenschaft
Tschechien	Stand 2022 sind in Tschechien 1.871 verlassene Bergwerke registriert, deren Eigentümer unbekannt sind. Falls von diesem Bergwerk eine Gefahr für die Öffentlichkeit ausgeht, ist die Regierung für die Wiederherstellung verantwortlich.
Rumänien	Das Land verfügt über keine offizielle Statistik hinsichtlich verlassener Bergwerke. Bis 2016 sind 52 Braunkohlebergwerke stillgelegt worden. Die Tagebaue beanspruchen eine Fläche von 10.500 ha, die nur zum Teil renaturiert worden sind.
Spanien	Das Kataster zu verlassenen und stillgelegten Bergbauabfallanlagen klassifiziert 44 Absetzteiche und 29 Halden mit „beträchtlichen Umweltauswirkungen“
Kosovo	Wie Rumänien verfügt das Land über keine Statistiken zu ehemaligen Bergbauöffnungen bzw. zu verlassenen Bergwerken. 9 Absetzbecken enthalten 60 Mio. t. Bergbauabfälle.
Nord-Mazedonien	Ehemaliges Bergwerk Lojane: Die gesamte Infrastruktur wie untertägige Hohlräume, Erzaufbereitungsanlagen, Bergehalden und Absetzbecken sind nicht wiederhergestellt worden. Die Rückstände enthalten toxische oder Schwermetalle wie Arsen, Quecksilber, Chrom ⁶⁺ und Antimon. Das Absetzbecken ist eine „ökologische Bombe“ und steht auf der Liste der ökologischen Hot spots des Landes.
Belgien	Ehemaliger Blei-Zink Abbau ist noch immer präsent in Ostbelgien.

Slowakei	17.852 Objekte, einschließlich 6.545 Bergehalden und 53 Absetzbecken. 16.000 sind verlassen, 53 Bergbaualtlasten erfordern eine Langzeitüberwachung, 25 Gebiete sind als „Gefährdet“ klassifiziert mit einer erforderlichen Sanierung.
Frankreich	Die nationale Bestandsaufnahme zu Bergbauabfällen enthält 800 ehemalige Bergwerke, 2.100 Absetzbecken des Erzbergbaus, 1.300 Absetzbecken des Steinkohlebergbaus, 53 Standorte mit hohen Umweltauswirkungen.
Finnland	Eine Studie im Auftrag des Umweltministeriums identifizierte insgesamt 53 Bergbaualtlasten in 40 Regionen, 30 müssen saniert werden.
UK	11.700 Bergwerke: Nichtedelmetalle in Schottland, Gold- und Kupferminen in Wales, Zinnabbau in Cornwall, Steinkohlenabbau in den Midlands
Schweden	Ca. 10.000 Hinterlassenschaften des Bergbaus
Irland	Ca. 100 verlassene Steinkohlen- und Metallerzbergwerke

Auch in Deutschland gibt es trotz jahrelanger Anstrengungen noch immer noch Probleme mit den Hinterlassenschaften. In Nordrhein-Westfalen sind in Summe 600 km² von Einwirkungen des bergbaulichen Resthohlräumen betroffen. Die Abteilung „Bergbau und Energie“ der Bezirksregierung Arnsberg beziffert die Anzahl von Tagesöffnungen auf 31.000 (Altbergbau - Gefahrenabwehr | Bezirksregierung Arnsberg (nrw.de)). Über den dokumentierten Bergbau hinaus ist in Nordrhein-Westfalen weiterer Bergbau betrieben worden, dessen Umfang und Ausdehnung wegen fehlender oder unzureichender Dokumentationen entweder kaum oder gar nicht bekannt ist. Hierzu gehören vor allem der so genannte "Uraltbergbau" (Bergbau vor Anlegung von Grubenbildern) oder der in Notzeiten geführte widerrechtliche Abbau Dritter. Das Landesamt Bergbau, Energie und Geologie in Niedersachsen verzeichnet ca. 4.500 Tagesöffnungen, davon rund 2.700 im Harz (Gefahrenabwehr Altbergbau | Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (niedersachsen.de)).

4 Management von Bergbauhinterlassenschaften

Weil viele Regionen in Europa und in der Welt von früheren Bergbauaktivitäten betroffen sind, erfährt der Umgang mit den Hinterlassenschaften des Rohstoffabbaus eine immer größere Aufmerksamkeit. So haben sich in den letzten 2 Jahrzehnten international verschiedene Initiativen gebildet, die sich mit Altbergbau und seinen Altlasten befassen.

Einen ersten Ansatz gab es bereits 2002. So stellte der Abschlussbericht Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD) des International Institute for Environment and Development (IIED) fest, dass "einige Auswirkungen langfristig sein können [und] die Gesellschaft bezahlt immer noch den Preis für die natürlichen Kapitalbestände, die von früheren Generationen abgebaut wurden". Wenn sie nicht gemildert werden, können Bergbaualtlasten Risiken für die menschliche Gesundheit und Sicherheit sowie für die Umwelt mit sich bringen und darüber hinaus negative sozioökonomische Auswirkungen haben. Auch der Ruf der Industrie und der Regierungen kann

durch die negativen Hinterlassenschaften stillgelegter Minen beeinträchtigt werden [MMSD 2002].

Risikobasierte Ansätze sind oft die Basis für das Management. Richtlinien dokumentieren den richtigen Umgang mit den Risiken. So haben Länder wie Brasilien [IBRAM 2014], Kanada [MAC Mining Association of Canada 2008] (NOAMI <https://noami.org>), die USA (Abandoned Mine Lands | Bureau of Land Management (blm.gov) und Australien [LPSPD 2016, Victoria State Government 2020] (Abandoned Mines Program (dmp.wa.gov.au) Richtlinien oder Empfehlungen zur Bergbauschließung und zum Altbergbau veröffentlicht. Multinationale Organisationen wie APEC [APEC 2018], Weltbank [WorldBank, 2002] oder ICMM [ICMM 2020] haben gleichfalls Dokumente erarbeitet, die auch soziale und ökologische Aspekte beinhalten. Darüber hinaus hat die ISO ein Standard zum Management von Bergbauhinterlassenschaften (ISO 20305:2020 (en), Mine closure and reclamation — Part 1: Requirements and recommendations und Part 2: Case studies and bibliography) erarbeitet.

Verschiedene Richtlinien in Europa adressieren die Rohstoffgewinnung und den Umgang mit den Hinterlassenschaften:

- Richtlinie 2006/21/EG: Management of waste from the extractive industries (Bewirtschaftung von Abfällen aus der mineralgewinnenden Industrie)
- Best Available Techniques reference document: Management of Waste from Extractive Industries im Einklang mit der Richtlinie 2006/21/EG (MWEI BREF), [Garbarino 2018]
- Seveso III Richtlinie: Umgang mit Absetzbecken, die gefährliche Stoffe enthalten
- Richtlinie 2009/335/EG: Technische Leitlinien für die Festsetzung der finanziellen Sicherheitsleistung gemäß der Richtlinie 2006/21/EG
- Leitfaden für die nichtenergetische Mineralgewinnung in Natura 2000 Gebieten
- Richtlinie 2000/60/EG: Wasserrahmenrichtlinie

Im März 2021 hat die europäische Kommission die Leitlinien für die Stilllegung von Bergwerken und die Berechnung und regelmäßige Anpassung der finanziellen Sicherheiten veröffentlicht [EU-Kommission 2021]. Darin werden neben den finanziellen Aspekten der Bergwerksstilllegung auch einige Sanierungstechniken beschrieben.

5 Pan-europäisches Altbergbaunetzwerk

Umwelttechnisch unsachgemäß geschlossene und verlassene Bergwerke stellen damit für Regierungen, Gemeinden und Bergbauunternehmen ein schwieriges Erbe dar. Sowohl die Schließung aktueller Bergwerke als auch ehemalige Bergwerke stellen eine potenzielle Bedrohung dar und erfordern Kenntnisse und Methoden, um eine belastbare Sanierung in Landschaften nach der Schließung zu gewährleisten [Kivinen 2017]. So hat nur Finnland ein Handbuch zur Schließung von Bergwerken erarbeitet [Heikkinen 2008, Punkkinen 2016].

Insbesondere wenn es keine erkennbaren Eigentümer oder Betreiber des Standorts gibt, die normalerweise für die Durchführung langfristiger Umweltüberwachungs- und Rekultivierungsprogramme verantwortlich wären, werden potenzielle Gefahren oft zu realen Auswirkungen. In diesen Fällen kann der Staat ein gerichtliches Verfahren einleiten, um die früheren Eigentümer und Betreiber des Standorts zu ermitteln, die dann für die Sanierungskosten des Standorts finanziell

verantwortlich gemacht werden. Es gibt jedoch viele Fälle, in denen die früheren Eigentümer nicht ermittelt werden können oder nicht über die Mittel verfügen, um eine solche Sanierung zu finanzieren, so dass die finanzielle Last oft auf den Staat übertragen wird. Darüber hinaus fehlt es in vielen europäischen Ländern an einem geeigneten Rechtsrahmen und an Verwaltungsstrukturen sowie an Managementverfahren, Sanierungsmethoden, Risikoabschätzungs- und Monitoring-techniken für aufgegebene und stillgelegte Bergwerke.

Der Umgang mit den ehemaligen Bergwerken kann auch oft nicht auf der Ebene eines einzelnen Staates gelöst werden, da sich die Bergbauregionen nicht immer an die Staatsgrenzen halten. Beispiele sind das Kohlebecken Oberschlesiens in Polen und Tschechien, das Erzgebirge in Deutschland und Tschechien oder die Braunkohlegewinnung in Polen, Deutschland und Tschechien (Bergwerk Tűrow). Daher müssen die Umweltauswirkungen nicht nur auf der Ebene der geltenden nationalen Rechtsvorschriften, sondern auch in internationaler Zusammenarbeit angegangen werden.

Vor diesem Hintergrund haben sich 2023 Wissenschaftler aus Universitäten, Hochschulen und Forschungseinrichtungen sowie Vertreter aus Behörden, Unternehmen und NGOs zu dem pan-europäischen Netzwerk REMINDNET - REcovery MINing District NETwork zusammengeschlossen (Abbildung 2).



Abb. 2: Logo REMINDNET (COST Action 22138)

Die folgenden Fragen sollen im Rahmen des Netzwerks behandelt werden:

1. Wie kann die Umsetzung verbessert werden, um die Hinterlassenschaften des Bergbaus nach der Schließung zu minimieren?
2. Wie lassen sich nachteilige Umweltauswirkungen bewerten, abmildern und überwachen?
3. Wie kann man die Bergbaubehörden bei der Umsetzung von Good Governance und Managementpraktiken unterstützen?
4. Wie lässt sich eine ausgewogene finanzielle Deckung sicherstellen?
5. Wie lassen sich die Entwicklung der Gemeinschaft und die Einbeziehung von Interessengruppen stärken?

Die Partner verfolgen dabei diese Ziele:

- Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses und gemeinsamer Definitionen für die nachhaltige Bewirtschaftung von Bergbauptlasten in Anlehnung an die ISO-Norm.

- Vergleich des derzeitigen rechtlichen Rahmens, der Verwaltungsstrukturen und der Managementansätze für stillgelegte Bergwerke in den Mitgliedsländern der COST Action.
- Koordinierung der Informationssuche und Datenerfassung, insbesondere für Datensätze und Statistiken, die Forschungsgruppen aufgrund von Sprachbarrieren und fehlenden nationalen Kontakten nicht zur Verfügung stehen.
- Aufbau einer europäischen Bergbau-Altlasten-Datenbank und Visualisierung auf QGIS
- Vergleich und Harmonisierung von bewährten Verfahren, Standards und Erfahrungen für ein umfassendes und nachhaltiges Management von Rohstoffabbau-Altlasten
- Input für Bergwerksbehörden, Aufsichtsbehörden und Finanzinstitutionen im Hinblick auf eine sozial ausgewogene und umweltfreundliche Bewirtschaftung von Bergwerkshinterlassenschaften durch Lernen und Schulung
- Transparente Verbreitung der Ergebnisse an die Öffentlichkeit durch eine frei zugängliche Visualisierungsplattform (abgeleitet von der QGIS-Datenbank)

So beabsichtigen die Beteiligten den Aufbau einer „Community of Practice“ zur Förderung des internationalen Wissensaustauschs und die Entwicklung einer gemeinsamen Forschungsagenda für den Umgang mit den Hinterlassenschaften der Rohstoffgewinnung. Dazu werden Experten aus derzeit getrennten Fachgebieten (z.B. Geologen, Geowissenschaftler, Ökonomen, Ingenieure, Umweltwissenschaftler, Naturwissenschaftler, Raumplaner, Sozialwissenschaftler) zusammengeführt, um das Wissen für ein nachhaltiges Management der Hinterlassenschaften zu konsolidieren. Der gegenseitige Wissensaustausch zwischen Forschern und Praktikern wird u.a. in Trainingsmassnahmen und in Schulungen initiiert. Besonderer Wert wird auf die Einbindung von Nachwuchswissenschaftlern gelegt.



Abb. 3: Teilnehmende Partner aus der EU (COST Action 22138)

Stand Ende November umfasst das Netzwerk 60 Vertreter aus 50 Organisationen aus 30 EU-Ländern (Abbildung 3). Die fünf Arbeitsgruppen befassen sich mit verschiedenen Fragestellungen. Eine Arbeitsgruppe wird die unterschiedliche Gesetzgebung, Governance und Managementpraktiken in den jeweiligen Ländern untersuchen. Das Hauptziel ist die Definition einer Regierungsstruktur und Management-Werkzeuge für die Verwaltung der Hinterlassenschaften der Rohstoffgewinnung. Die zweite Gruppe arbeitet zu den sozioökonomischen Aspekten der Nachsorge und der Finanzierung von Bergbauhinterlassenschaften. Hauptziele sind die Festlegung eines nachhaltigen Finanzierungsmodells und die Entwicklung von Strategien und Methoden für einen gerechten sozioökonomischen Übergang. Die dritte Arbeitsgruppe wird sich auf die Sanierung, die Überwachung und das Risikomanagement der verschiedenen Umweltaspekte konzentrieren. Hauptziel ist es, bewährte Praktiken für die Sanierung von Bergwerksstandorten, einschließlich der Wiederaufbereitung von Abraum und Halden, zu erfassen und kosteneffiziente Überwachungsmethoden und Risikomanagementinstrumente zu identifizieren. Die vierte Arbeitsgruppe fokussiert sich auf Training und capacity building, während sich die fünfte Arbeitsgruppe auf die Veröffentlichung und Verbreitung der Ergebnisse konzentriert.

FÖRDERUNG

Das Projekt wird aus Mitteln des EU COST (COoperation in Science and Technology) Programms unter COST Action CA22138 gefördert (Action CA22138 - COST).

LITERATURVERZEICHNIS

- APEC Asia-Pacific Economic Cooperation: Mine Closure. Checklist for Governments.- Report APEC#218-SO-03.1: 96 p., 2018 https://www.igfmining.org/wp-content/uploads/2019/04/218_MTF_MineClosure_Checklist-for-Governments-1.pdf.
- Brune, J; Goerke-Mallet, P.: Abandoned Mine Workings in Western USA – Legal, Organisational and Technical Challenges = Altbergbau im Westen der USA – rechtliche, organisatorische und technische Herausforderungen. In: Mining Report Glückauf 159 (3), S. 228-236, 2023.
- Europäische Kommission, Generaldirektion Umwelt, Guidelines for mine closure activities and calculation and periodic adjustment of financial guarantees, Publications Office, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2779/350770>
- Garbarino, E., Orveillon, G., Saveyn, H.G.M., Barthe, P., Eder, P.: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Management of Waste from Extractive Industries in accordance with Directive 2006/21/EC.- JRC Science for Policy Report, EUR 28963 EN: 722 p., 2018. <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC109657>.
- Goerke-Mallet, P; Melchers, C.: The Mine Life Cycle and the United Nations 2030 Agenda – A Sustainability Analysis = Der bergbauliche Lebenszyklus und die Agenda 2030 der Vereinten Nationen – eine Nachhaltigkeitsanalyse. In: Mining Report Glückauf 158 (1), S. 59-71. 2022. <https://doi.org/10.48771/a8cx-dr76>
- Heikkinen, P. M; Noras, P. and Salminen, R. (ed.): Mine Closure Handbook - Environmental Techniques for the Extractive Industries, 2008. ISBN 978.952-217-055-2
- IBRAM 2014: Guide for mine closure planning. [guia_ingles-1.pdf](#) (ibram.org.br)

- ICMM International Council on Mining and Metals: Closure Maturity Framework - Tool for Closure User Guide. 2020. <https://www.icmm.com/en-gb/guidance/environmental-stewardship/closure-maturityframework>
- International Resource Panel: Global Resources Outlook 2019 Natural Resources for a future we want. 2019. <http://www.resourcepanel.org/report/global-resources-outlook>
- Kivinen, S.: Sustainable Post-Mining Land Use: Are Closed Metal Mines Abandoned or Re-Used Space Sustainability 2017, 9, 1705; doi:10.3390/su9101705
- Lesser, P; Gugerell, K; Poelzer, G; Hitch, M. and Tost, M.: European mining and the social license to operate. In: The Extractive Industries and Society August 2020. DOI: 10.1016/j.exis.2020.07.021
- LPSPD: Mine Closure, Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry, Australian Government Leading Practice Handbook: Mine Closure | Department of Industry, Science, Energy and Resources 2016
- MAC Mining Association of Canada: Towards Sustainable Mining Mine Closure Framework.-1 p., 2008. https://mining.ca/wp-content/uploads/2019/02/TSM_Mine_Closure_Framework.pdf
- Marscheider-Weidemann, F., Langkau, S., Hummen, T., Erdmann, L., Tercero Espinoza, L., Angerer, G., Marwede, M. & Benecke, S.: Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016. DERA Rohstoffinformationen 28 353 S., Berlin 2016 ISBN 978-3-943566-71-0)
- MMSD: Breaking New Ground, 2002. G00910.pdf (iied.org)
- Punkkinen, H; Räsänen, L; Mroueh, U-M and Korkealaakso, J.: Guidelines for mine water management, 2016. ISBN 978-951-38-8443-7
- Suopajarvi, L; Ejdemo Th; Klyuchnikova, E; Korchak; E; Nygaard, V and Poelzer, G.: Social impacts of the local mining business: case studies from Northern Europe. Miner Econ, 2017. 30:31–39 DOI 10.1007/s13563-016-0092-5
- Tiffner, G; Lemmer, K. et al.: SLO Good Practices and Recent Disputes Illustrative Examples Across Europe, Technical Report April 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.31861.50408
- Unger, Corinne: Chapter 20 Legacy Issues and Abandoned Mines. In. T. O'Callaghan, G. Graetz (eds.): Mining in the Asia-Pacific, The Political Economy of the Asia Pacific. Springer International Publishing AG, 2017, DOI 10.1007/978-3-319-61395-6_20
- Victoria State Government: Preparation of Rehabilitation Plans. Guideline for Mining & Prospecting Projects, February 2020, Version 1.0. Earth Resources Regulation.- 73 p., https://earthresource.s.vic.gov.au/data/assets/pdf_file/0018/513342/Preparation-of-rehabilitation-plans-Guideline-for-miningandprospectingprojects-February-2020.pdf
- Vidal Legaz, B: Environmental information in the Raw Materials Information System (RMIS), Background and thematic information on environmental considerations related to the production of non-food, nonenergy raw materials, JRC Technical Report, 2020
- Werner, T; Bach, P; Yellishetty, M; Amirpoorsaeed, F; Walsh, St; Miller, A; Roach, M; Schnapp, A; Solly, P; Tan, Y; Lewis, C; Hudson, E; Heberling, K; Richards, Th; Chia, H Ch; Truong, M; Gupta, T and Wu, X: A Geospatial Database for Effective Mine Rehabilitation in Australia. Minerals 2020, 10, 745; doi:10.3390/min10090745
- WorldBank: It's Not Over When It's Over: MINE CLOSURE AROUND THE WORLD, 2002. <http://sitere-sources.worldbank.org/INTOGMC/Resources/notoverwhenover.pdf>.

Altbergbau-Monitoring im Poldermanagement

**Marcin Pawlik^{1,2}, Maik Gellendin^{2,3}, Benjamin Haske^{1,2},
Julian Jaeckel^{1,4}, Hernan Flores¹, Bodo Bernsdorf¹,
Tobias Rudolph¹**

¹ Forschungszentrum Nachbergbau, Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum

² Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau,
Technische Universität Bergakademie Freiberg

³ Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, Krefeld

⁴ Ruhr Universität Bochum

ZUSAMMENFASSUNG:

Bergbautätigkeiten haben erhebliche Auswirkungen auf Umweltmerkmale wie Vegetation, Boden und Wasser (Goerke-Mallet et al. 2016; Melchers et al. 2016). Die Auswirkungen des Bergbaus sind – beispielsweise in Bergsenkungsgebieten, den sogenannten Poldern - auch nach dessen Beendigung zu beobachten. Deshalb stellt das langfristige Geomonitoring mit modernen Erfassungsmethoden und -techniken heute eine wichtige Aufgabe und Herausforderung dar. Wie in den Arbeiten von Pawlik et al. 2022 und Rudolph et al. 2023 aufgezeigt, gehören zu den Methoden des Geomonitorings für Bergbauprozesse: Satellitenbildmissionen (Landsat und Copernicus), Drohnenflüge mit verschiedenen Sensoren, In-situ-Messungen (Sensoren zur Messung von Bodenfeuchte und -temperatur), mobiles GIS, Modellierung des geologischen Aufbaus und Überwachung von Grundwasserständen. Auf Grundlage dieser Daten können Prognosen der Landschaftsveränderungen vorgenommen und dann gezielte Maßnahmen ergriffen werden, um die ökologische Stabilität solcher Polder zu gewährleisten. Der Artikel (in Anlehnung an einen Posterbeitrag zum 21. Altbergbaukolloquium 2023 in Essen) beschreibt aktuelle Erkenntnisse der Arbeiten zu Teilaspekten dieses Ansatzes.

ABSTRACT:

Mining activities have significant impacts on environmental features such as vegetation, soil, and water (Goerke-Mallet et al., 2016; Melchers et al. 2016). The effects of mining - for example in subsidence areas, the so-called polders - persist even after its cessation. This makes long-term geomonitoring with modern data acquisition methods and techniques to an important task and challenge today. As demonstrated in the works of Pawlik et al. (2022) and Rudolph et al. (2023), the methods of geomonitoring for mining processes include: satellite image missions (Landsat and Copernicus), drone flights with various sensors, in-situ measurements (sensors for measuring soil moisture and temperature), mobile GIS, geological structure modelling, and groundwater level monitoring. Based on this data, forecasts of landscape changes can be made and targeted measures can then be taken to ensure the ecological stability of such polders. The article (based

Geomonitoring werden räumlich-zeitliche Veränderungen und Wechselwirkungen im Geo-/Ökosystem oder einer seiner Komponenten beobachtet. Um ein ganzheitliches Verständnis des Prozesses aufzubauen, ist es ratsam, vorher unbeeinflusst zu messen (Nullmessung). Dies ist wichtig für das Verständnis anderer externer Prozesse, wie z. B. der Auswirkungen des Klimawandels.

Die Auswirkungen des Poldermanagements auf die Umwelt muss ebenfalls überwacht werden, um sicherzustellen, dass ökologische Auswirkungen minimiert werden. Dies beinhaltet die Überwachung von Flora und Fauna in den Poldergebieten sowie die Bewertung von Veränderungen in der Wasserqualität (bspw. Seidel 2023). Der Einsatz von umweltfreundlichen Technologien und nachhaltigen Praktiken im Poldermanagement trägt dazu bei, die ökologische Integrität der Gebiete zu erhalten (siehe auch Bernsdorf et. al. 2023 in dieser Publikation).

Die fortschreitende Technologie hat die Überwachung des Poldermanagements auf ein neues Niveau gehoben. Intelligente Sensoren, Fernerkundung und Datenanalytik ermöglichen eine präzise und zeitnahe Erfassung von Informationen. Automatisierte Systeme können auf Grundlage dieser Daten selbstständig Entscheidungen treffen oder Warnungen auslösen, was die Reaktionszeit in kritischen Situationen erheblich verkürzt.

In diesem Artikel werden mögliche Methoden zur Polderüberwachung und deren Kombination dargestellt. Datenquellen sind Satellitendaten, Drohnenflüge, In-Situ Messungen und 3D-Modellierung der Geologie.

2.1 Satellitendaten

Optische Fernerkundungsmethoden ermöglichen die langfristige Beobachtung von Veränderungen an der Geländeoberfläche mit Satellitenbildaufnahmen bspw. der Landsat-Missionen 4, 5, 7, 8 und 9. Bei der Objekterkennung und Geländeklassifizierung hängen die Resultate einer Bildinterpretation häufig von den Erfahrungen des Interpreten ab, der Art des Objekts sowie den Veränderungen, auf das sich die Interpretation bezieht (Lillesand et al. 2015). Die multispektrale Interpretation der Satellitenbilder basiert auf der Auswertung der Spektralbänder aus den einzelnen Satellitenmissionen. Vor der multispektralen Analyse ist es wichtig, sich mit den Merkmalen der Daten von Weltraummissionen vertraut zu machen. Die Multispektralanalyse dient als Methode zur Beobachtung der Vegetation anhand berechneter Vegetationsindizes Index (bspw. Rouse et al. 1973). Als bekanntester Vegetationsindex gilt der NDVI - Normalized Difference Vegetation.

Die Untersuchung basierte auf multispektralen Analysen unter Verwendung des NDVI-Indikators (Abbildung 2). Die Grundlagen bildeten dafür Satellitenbilder aus Jahren: 1984, 1990, 1997, 2003, 2006, 2009, 2009, 2015 und 2021. Für die Darstellung der Ergebnisse wurde die von Kuechly et al. (2020) vorgeschlagene Klassifizierung verwendet. Diese Methode ermöglicht die langfristige Überwachung des Pflanzenwachstums der Pflanzen in den Gebieten.

Die Ergebnisse werden mit dem Ist-Zustand abgeglichen, da die verminderte Vitalität der Pflanzen auch mit anderen Faktoren zusammenhängen kann, z. B. mit Naturkatastrophen (Überschwemmungen, Dürren) oder dem Klimawandel.

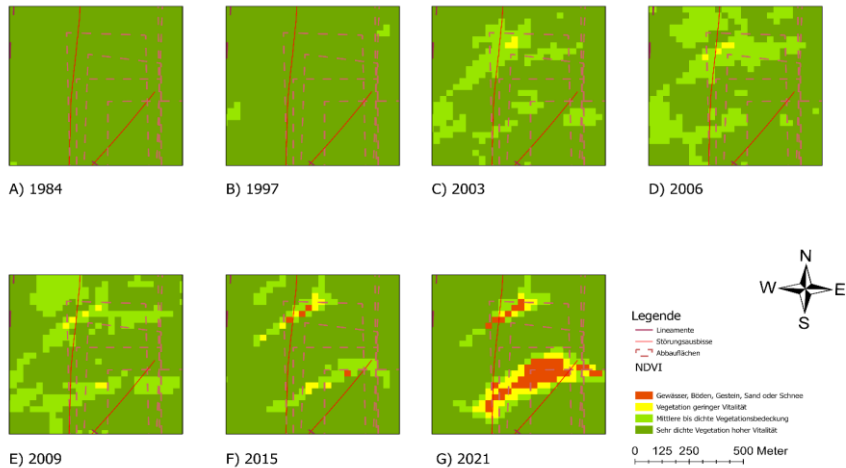


Abb. 2: Räumlich-zeitliche Analyse der Stand die Vegetation auf dem Grund des Vegetationsindikators – NDVI im Zeitraum 1984-2021. © Marcin Pawlik

2.2 Drohnenflüge

Unbemannte Flugsysteme (Unmanned Aerial Systems, UAS) umgangssprachlich auch Drohnen genannt, die mit verschiedenen Sensoren und Kameras ausgestattet sind, können für die Kartierung von Geländen verwendet werden. Das ermöglicht die Erfassung genauer topografischer Merkmale auch von schwer zugänglichen Gebieten. Im Vergleich zu Satellitenbildern ermöglichen UAS geometrisch deutlich hochauflösendere Luftbilder (Abbildung 3), dadurch können oberflächliche Strukturen, wie Erdstufen in der Nähe von Störungszonen genauesten analysiert werden. Diese Informationen sind äußerst wichtig, um den geologischen Aufbau eines Bergbaugebiets zu verstehen um potenzielle Gefahren wie Bodensenkungen vorherzusagen. Der Einsatz der Multispektralkamera ermöglicht, wie bei den Satellitenbildern, multispektrale Analysen. Diese können die Beobachtung von Vegetationsveränderungen mit Hilfe von Fernerkundungsindikatoren betreffen (Pawlik et al. 2022).

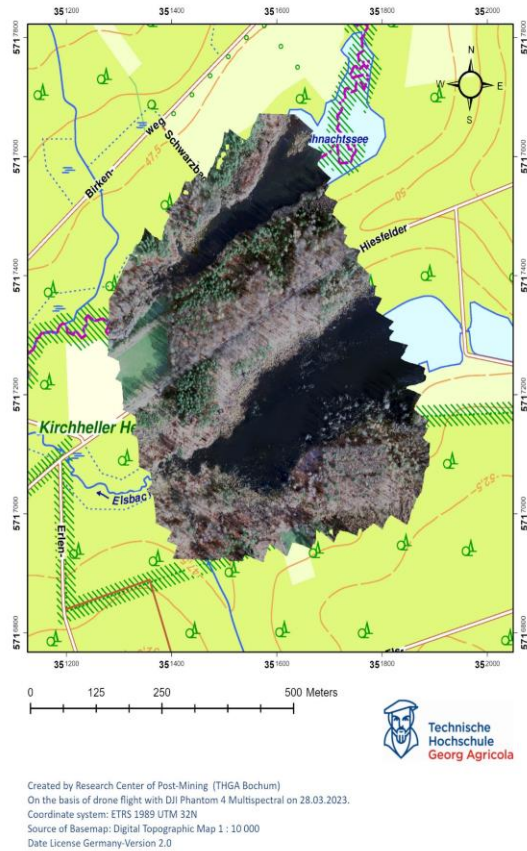


Abb. 3: Orthophoto der Drohnenbefliegung im Forschungsgebietes vom 28.03.2023.
 Quelle: Pawlik et al.2023

2.3 In-Situ Messungen

Eine Methode zur Verifikation im Gelände ist die Nutzung mobiler GIS-Daten. Mit Hilfe von Mobile GIS lassen sich Geländeaufnahmen, Ergebnisdaten und entsprechende Metainformationen nutzen, um den tatsächlichen Zustand der Umgebung vor Ort zu verifizieren (Abbildung 4).

Die Erfassung von Standort- und Beschreibungsinformationen ist ein wichtiger Gegenstand der Feldarbeit (Nowak et al. 2020). Das gewonnene Verständnis für einen Standort aus Standortinformationen lässt die Entscheidungsfindung nachgelagerter Prozesse zu. Geografische Informationssysteme (GIS) gestatten anschließend die Analyse und Darstellung der Daten in digitalen Karten. Die Kombination der verschiedenen Datensätze in einem GIS-Projekt ermöglicht ein umfassendes Verständnis der Veränderungen in bestimmten Regionen.



Abb. 4: Bodenfeuchte und – Temperatur Sensoren als Teil des In-Situ Messungen. © Bodo Bernsdorf

2.4 3D Modellierung der Geologie

Beziehen sich die dargestellten Aspekte auf die übertägige Situation, kommt für das Gesamtverständnis der Prozesse dem Untergrund eine wesentliche Rolle zu. Daher gilt gleiches auch für die Kenntnis und Modellierung des Untergrundes, sprich der Geologie (Deckgebirge) und der Tektonik (Störungen). Als Beispiel ist ein Modell aus dem Arbeitsgebiet dargestellt. Die Abbildung 5 zeigt den schematischen Auszug des Deckgebirgsmodells von Südosten. Die Modellierung erfolgte sukzessiv vom jüngeren ins ältere Gestein. Das Untergrundmodell besteht aus dem Strukturmodell (Tektonik), dem Stratigraphiemodell (Geologie) sowie dem Lagerstättenmodell. Neben den tertiären Einheiten (orange) wurden die bis zu 400 m mächtigen kreidezeitlichen Einheiten (grün) dargestellt.

Die Kenntnis des geologischen Aufbaus ermöglicht ein besseres Verständnis der Prozesse, die bei der Bildung von Poldern in Bergbaugebieten ablaufen. So sind die Störungsflächen teils erkennbar bis übertrage modelliert. Diese Bereiche sind wesentlich für die Bildung von Polderflächen, da untertägig die Flöze im Wesentlichen wegen der sich dort ändernden Teufe bis an die Störungsflächen abgebaut wurde. Gemeinsam mit den übertägig bspw. durch UAV-Aufnahmen festgestellten Unstetigkeiten lassen sich hierdurch beispielsweise Nullränder der Senkungsgebiete kartieren oder Zonen herausarbeiten, denen besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte. Denn Umweltveränderungen, wie Vernässungen und negative Auswirkungen auf die Vegetation, sind an solchen Stellen wahrscheinlicher.

Umgekehrt lässt sich – wie beschrieben – im Rahmen der Datenfusion auch das geologische Modell überprüfen oder anpassen.

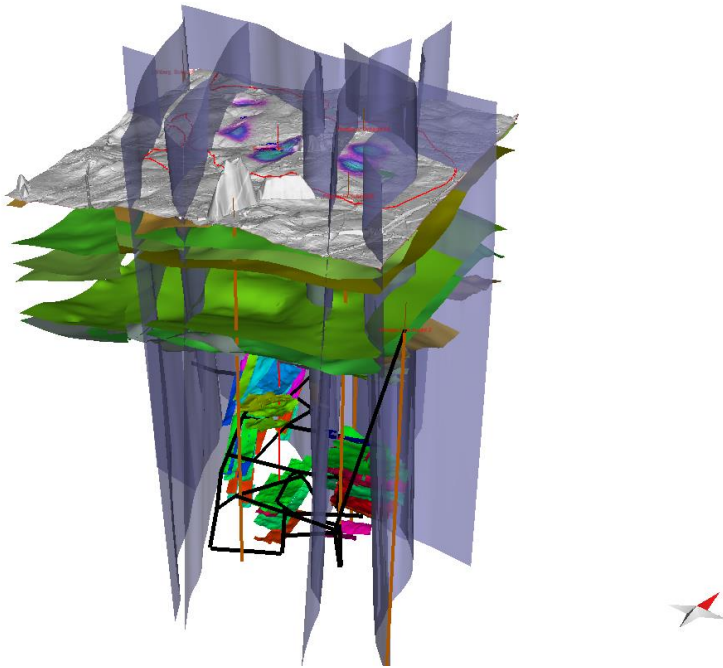


Abb. 5: Schematischer Auszug des Deckgebirgsmodells © Maik Gellendin

3 Interpretation

Die fortschreitende Technologie hat die Überwachung des Poldermanagements auf ein neues Niveau gehoben. Intelligente Sensoren, Fernerkundung und Datenanalytik ermöglichen eine präzise und zeitnahe Erfassung von Informationen. Automatisierte Systeme können auf Grundlage dieser Daten selbstständig Entscheidungen treffen oder Warnungen auslösen, was die Reaktionszeit in kritischen Situationen erheblich verkürzt.

Die Kombination von untertägigen Modellierungsergebnissen und übertägigen Beobachtungen ist ein wichtiger Schritt zu einem besseren Verständnis der Situation im Nachbergbau. Das dreidimensionale geologische Modell des stillgelegten Bergwerks Prosper-Haniel gibt Auskunft über die Geologie und Tektonik des Gebiets. Es ist auch möglich, die Phänomene zu verstehen, die während und nach dem Bergbaubetrieb auftreten.

Die geologische Struktur und die Lage möglicher tektonischer Verwerfungen sowie die Integration von Drohnenflüge ermöglichen es, die mit dem Bergbau verbundenen Probleme zu visualisieren. Modelle können überprüft und kalibriert werden.

Die Überwachung des Poldermanagements ist jedoch nicht nur eine technologische Herausforderung, sondern erfordert auch eine effiziente Organisation und Koordination. Dies betrifft sowohl staatliche Stellen als auch lokale Gemeinschaften. Schulungen und Sensibilisierungskampagnen sind wichtig, um die Menschen in den Poldergebieten über die Bedeutung der nachbergbaulichen Überwachung und ihre Rolle bei der Sicherheit zu informieren. Am Bei-

piel von Realereignissen, wie in den Dortmunder Stadtteilen Dorstfeld und Marten im Jahr 2008 wird diese Notwendigkeit klar (Grünwald et al. 2009).

Insgesamt spielt die Überwachung des Poldermanagements eine zentrale Rolle für die Sicherheit von Menschen, Eigentum und Umwelt in den gefährdeten Gebieten. Durch den Einsatz modernster Technologien, sorgfältige Inspektionen und eine gut koordinierte Zusammenarbeit kann das Poldermanagement effektiv betrieben und mögliche Risiken minimiert werden. Eine kontinuierliche Anpassung an sich ändernde Umweltbedingungen und die Integration nachhaltiger Praktiken sind dabei entscheidend, um langfristige Sicherheit zu gewährleisten.

4 Zusammenfassung

Die Überwachung von Altbergbau im Poldermanagement ist ein wichtiger Aspekt, um die Sicherheit und landschaftsökologische Entwicklung der Polder zu gewährleisten. Durch regelmäßige Untersuchungen und gezielte Maßnahmen können potenzielle Risiken frühzeitig erkannt und beseitigt werden. Auf diese Weise können Polder auch in Zukunft sicher und stabil genutzt werden.

Da nicht alle Veränderungen an der Tagesoberfläche gleich schnell verlaufen und sich Effekte überlagern, ist ein kontinuierliches Monitoring notwendig. Die vollständige digitale Umsetzung und Bewertung der Geodaten bieten dafür das notwendige Werkzeug. Um die Ursachen der Oberflächenveränderungen besser zu verstehen, müssen die geologischen Strukturen im Untergrund und an der Tagesoberfläche im Untersuchungsgebiet bekannt sein. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass durch die Geodaten-Integration die Ursachen der Veränderungen in den betroffenen Gebieten eindeutig bestimmbar sind und ein Prozessverständnis aufgebaut werden kann.

LITERATURVERZEICHNIS

- Bernsdorf, Bodo; Pawlik, Marcin; Rudolph, Tobias; Jaeckel, Julian; Haske, Benjamin; Die Integration von In Situ- und multispektrale UAV-Daten – Ein Ansatz zur Beurteilung des Vegetationszustands in nachbergbaulichen Poldern; Tagungsband zum 21. Altbergbau-Kolloquium 2023, Bochum, S. X, in Vorbereitung.
- Busch, Wolfgang.; Coldewey, Wilhelm G.; Walter, Diana; Wesche, Dominik; Tielmann, Ilka; Analyse von Senkungserscheinungen außerhalb prognostizierter bergbaulicher Einwirkungsbereiche des Bergwerks Prosper-Haniel. (Gutachten der TU Clausthal und der WWU Münster vom 31.08.2012 im Auftrag der Bezirksregierung Arnsberg (Abt.6); Clausthal-Zellerfeld), 2012.
- Goerke-Mallet, Peter; Melchers, Christian; Mütterthies, Andreas; Innovative monitoring measures in the phase of post-mining, IMWA 2016, Freiberg/Germany, S. 570-577, 2016.
- Grünwald, Uwe; Schümborg, Sabine; Wöllecke, Britta; Graf-van Riesenback, Gert; Piroth, Klaus; Gutachten zu Entstehung und Verlauf des extremen Niederschlag-Abfluss-Ereignisses am 26.07.2008 im Stadtgebiet von Dortmund – einschließlich der Untersuchung der Funktionsfähigkeit von wasserwirtschaftlichen Anlagen und Einrichtungen der Stadt, Emschergerossenschaft und Dritter in den Gebieten Dortmund-Marten, -Dorstfeld und -Schönau; Stadt Dortmund, Cottbus, Karlsruhe, Köln; 132 Seiten; 2009; [https://rathaus.dortmund.de/dosys/gremrech2.nsf/0/0EB-FDAC8ACE31EADC125755100533D84/\\$FILE/Anlagen_13944-09.pdf](https://rathaus.dortmund.de/dosys/gremrech2.nsf/0/0EB-FDAC8ACE31EADC125755100533D84/$FILE/Anlagen_13944-09.pdf)

- Harnischmacher, Stefan; Zepp, Harald; Bergbaubedingte Höhenänderungen im Ruhrgebiet – Eine Analyse auf Basis digitalisierter historischer Karten; ZfV 135. Jg., 6, 2010; S. 386 – 397. https://geodae-sie.info/images/zfv/135-jahrgang-2010/downloads/zfv_2010_6_Harnischmacher_Zepp.pdf
- Harnischmacher, Stefan; Veränderung der Geländehöhen im Ruhrgebiet seit 1892 – Elevation changes in the Ruhr District since 1892, Poster, 2018.
- Kuechly, Helga; Cozacu, Antonia; Kodl, Georg; Nicolai, Clara; Vallentin, Claudia; Grundlagen der Fernerkundung. Inforeihe SAPIENS: Satellitendaten für Planung, Industrie, Energiewirtschaft und Naturschutz. Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, 2020.
- Lillesand, Thomas M.; Kiefer, Ralph W.; Chipman, Jonathan W.; Remote Sensing and Image Interpretation. Wiley, 2015.
- Melchers, Christian; Goerke-Mallet, Peter; Kleineberg, Karl; Elements and aspects of the post-mining era. Mining Report Glückauf .152 (3), S. 215-223, 2016.
- Nowak, Maciej M.; Dziób, Katarzyna; Ludwisiak, Łukasz; Chmiel, Julian; Mobile GIS applications for environmental field surveys: A state of the art. Global Ecology and Conservation, Volume 23, e01089, pp. 1-11, 2020.
- Pawlik, Marcin; Gellendin, Maik; Bernsdorf, Bodo, Rudolph, Tobias, Benndorf, Jörg; Digital-Twin – How to Observe Changes and Trends on the Post-Mining Areas, International Journal of Earth and Environmental Science 2022, 7: 195 <https://doi.org/10.15344/2456-351X/2022/195>
- Pawlik, Marcin; Haske, Benjamin; Flores, Hernan; Jaeckel, Julian; Bernsdorf, Bodo; Rudolph, Tobias; The use of drone flights to observe the post-mining processes on the example Weihnacht and Pfingst lakes, XXIII Conference of PhD Students and Young Scientists, Wrocław, Poland, 15.06.2023 (Poster), 2023.
- Rouse, Jeremy W.; Haas Randall H.; Schell, Juliana A; Deering Don W; Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I:309-317. 1973.
- Rudolph, Tobias; Yin, Xiaoxuan; Goerke-Mallet, Peter; Advanced definition of the geo- and environmental monitoring from the post-mining experience in the Ruhr region. Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, 2023, 10.1127/zdgg/2023/0383
- Seidel, Dana; Nutzung von Vegetationsindikatoren zur Einschätzung der hydraulischen Lieferfähigkeit des Boye-Einzugsgebietes in Bottrop und Gladbeck. Masterarbeit zur Erlangung des Mastergrades der Ingenieurwissenschaften an der Technischen Hochschule Georg Agricola, Bochum, 80 Seiten. 2023.

Zur Entwicklung eines UAV-basierten multispektralen Korrosionsindex für ein Industriekultur-Geomonitoring

**Bodo Bernsdorf, Julia Haske, Heiner Rößmann,
Tobias Rudolph, Christoph Meier**

Forschungszentrum Nachbergbau, Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum

ZUSAMMENFASSUNG:

Im Rahmen des DBU-geförderten Projekts „MUM | InduKult Ruhr - Monitoring | Umwelteinflüsse | Modellbildung auf und von Objekten der Industriekultur im Ruhrgebiet“ (Förderkennzeichen: 37668/01) wurden im Wesentlichen UAV-basierte bausubstanzliche Bewertungen von identitätsstiftenden Objekten und Denkmalen der Industriekultur im Ruhrgebiet erprobt. Ziel war es in einer Machbarkeitsstudie moderne Methoden des Umwelt- und Geomonitorings, insbesondere unter Einsatz diverser UAV-getragener Sensoren, Materialschäden an Objekten der Industriekultur zu detektieren und diese bewertbar zu machen. Der vorliegende Artikel konzentriert sich auf zwei dazu wertvolle Aspekte: Neben Fragen der exakten Verortung von Bildmaterial unterschiedlicher Kameras und Drohnen-Plattformen stellte sich die Frage, ob die Verrechnung verschiedener spektraler Kanäle zu einer Identifikation von typischen Schadensbildern führen kann (DBU 2023, Forschungszentrum Nachbergbau 2023). Der Artikel stellt mit der Idee des Korrosionsindex (CorrIndex) einige Ergebnisse vor.

ABSTRACT:

As part of the DBU-funded project „MUM | InduKult Ruhr - Monitoring | Umwelteinflüsse | Modellbildung auf und von Objekten der Industriekultur im Ruhrgebiet“ (funding code: 37668/01), UAV-based structural assessment of identity-forming objects and monuments of industrial heritage in the Ruhr area is being tested. The aim of the feasibility study was to use modern methods of environmental monitoring and geomonitoring, in particular with the use of various UAV-based sensors, to detect material damage to objects of industrial heritage and to make these assessable. The article concentrate on two valuable aspects: In addition to questions of the exact localization of image material from different cameras and drone platforms, the question arose as to whether the offsetting of different spectral channels can lead to the identification of typical damage patterns (DBU 2023, Forschungszentrum Nachbergbau 2023). The article presents some results with the idea of the corrosion index (CorrIndex).

1 Einführung

Auch Industriekultur ist dem Klimawandel ausgesetzt: Alte Fördergerüste leiden unter Hitzeperioden, in denen die Temperaturen deutlich höher steigen als zur Zeit ihrer Erbauung. Extremwetterlagen beeinflussen die Bauwerke von stillgelegten Stahlwerken oder Kokereien. Es bilden sich Risse, Lack-Abplatzungen und andere Materialschäden, so dass entweder teure

Sanierungen nötig werden oder sogar ein Abriss droht. Auch der Untergrund und damit die Standfestigkeit der Anlagen ist von negativen Umwelteinflüssen wie Trockenheit oder Feuchtigkeit betroffen. Gleich-zeitig gelten die Monumente des industriellen Zeitalters als prägende, identitätsstiftende Land-marken, die es auch in Zukunft möglichst original zu erhalten gilt – nicht nur im Ruhrgebiet, son-dern in vielen vergleichbaren Regionen wie dem Saarland, dem Ibbenbürener oder dem Aache-ner Raum. Gleichzeitig spricht man über Industriebauten, die für eine vielleicht 30- oder 40-jährige Nutzungsdauer ausgelegt waren und nicht für alle Ewigkeit betrieben werden sollten.

Hier setzt das DBU-geförderte Forschungsprojekt „MuM | Indukult Ruhr“ an (kurz für: „Monitoring | Umwelteinflüsse | Modellbildung auf und von Objekten der Industriekultur im Ruhrgebiet“; För-derkennzeichen: 37668/01). Das Forschungszentrum Nachbergbau erarbeitete im Sinne einer Machbarkeitsstudie eine innovative Methode, mit der sich die Zustände von Denkmälern der In-dustriekultur baubsubstanzlich und zerstörungsfrei bewerten lassen. Dazu kamen im Wesentlichen UAVs (Unmanned Arial Vehicles – Unbemanntes Fluggerät) zum Einsatz, die mit optischen, ther-malen und multispektralen Sensoren ausgestattet sind. Sie sammelten wichtige Daten, die fusio-niert betrachtet wurden und es damit zukünftig ermöglichen, die komplexen Gebäude schnell, umfassend sowie hochgenau raumzeitlich und dreidimensional zu betrachten. Der weitere Rah-men wurde an verschiedenen Stellen beschrieben (Bernsdorf et al 2023, Haske et al. 2023):

Der vorliegende Artikel beschreibt zwei Themenansätze:

- Photogrammetrische Auswertung: Die gemeinsame Auswertung von Daten unterschiedlicher Kameras - insbesondere solcher auf beweglichen Plattformen montierte Sensorsysteme - ist nicht trivial. Im Vorfeld müssen einige Verarbeitungsschritte erfolgen, um die Daten im 3D-Raum miteinander in Beziehung zu setzen.
- Metallurgische Fragestellungen: Gleiches gilt für das Material selbst, das nicht nur vielfältig in seiner Beschaffenheit, sondern auch vielgestaltig in Bezug auf die Oberflächenbehandlung ist. Hierzu müssen Kenntnisse gewonnen werden, die sich später in Beziehung zum spektralen „Fingerabdruck“ eines Schadentyps setzen lassen.

Beide Aspekte wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Die Verfahren und Ergebnisse werden an dieser Stelle auszugsweise dargestellt. Eine umfassende Publikation wird aktuell erarbeitet.

2 Photogrammetrische Aspekte

Der Einstieg in das Arbeitspaket erfolgte über diverse Forschungsfragen:

- Kann eine photogrammetrisch korrekte Abbildung und Überlagerung diverser, auf unterschiedlichen Drohnen verbauter Sensoren, gelingen?
- Wie gelingt die Verarbeitung auf komplexen Anlagen, wie Schachtgerüsten, die sich bspw. durch eine Vielzahl filigraner, unterschiedlich geneigter und exponierter Flächen auszeichnen?
- Welche Methoden sind geeignet, nach einer Objektmodellierung auch bei Wiederholungsflügen zu einer eindeutigen Lokalisierung von Schäden zu gelangen?

- Welche Daten lassen sich photogrammetrisch korrekt in den Datentensor überführen?
Im Projekt standen Drohnen mit Sensoren für RGB, thermales Infrarot und Multispektraldaten aus den Kanälen R, G, B, Red Edge und nahes Infrarot zur Verfügung.

Der Hintergrund für diese Fragen ist der Fakt, dass Kameras extrem unterschiedlich in Bezug auf ihrer Charakteristiken sind. Aspekte sind etwa die Brennweite, Abbildungsfehler des Objektivs, die Chip- und Pixelgröße, die spektrale Bandbreite des Chips, etc. pp. Besonders problematisch ist es, wenn die Kameras zudem als UAV-gebundene Sensoren auf beweglichen Plattformen betrieben werden. Dann kommen Entfernungen zum Objekt, Aufnahmewinkel und weitere Aspekte hinzu. Diese Vielfalt gilt im Einzelfall sogar für ein einziges Aufnahmeinstrument, das etwa aus mehreren verschiedenen Sensoren bestehen kann. Als Beispiel sei die im Projekt genutzte Multispektralkamera der Firma DJI genannt, die auf einer Phantom 4-Drohne montiert wurde (Abb. 1:).

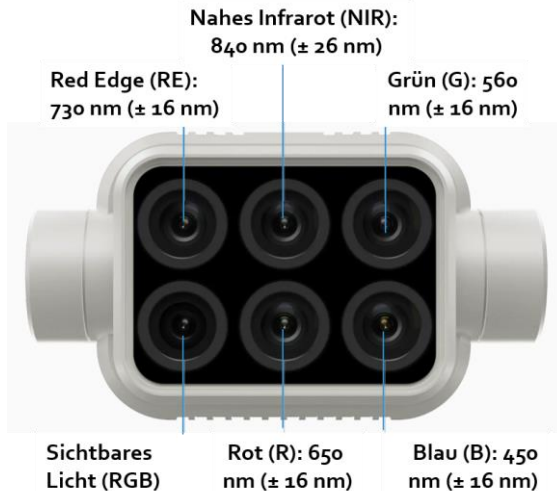


Abb. 1: Die im Projekt genutzte Multispektralkamera der Firma DJI besteht aus sechs einzelnen Sensoren, die vor einer Auswertung entsprechend korrigiert werden müssen (Quelle: DJI <https://www.dji.com/de/p4-multispectral?from=nav&pb=BCQ9HQ1u&pm=custom&site=brandsite>), verändert.

Ziel des Projektes war es jedoch, genau diese Vielfalt zu beherrschen und in Beziehung zu setzen, um die Daten miteinander korrelieren zu können. Denn erste Versuche im Projektvorfeld gaben Hinweise darauf, dass sich unterschiedliche Schadensbilder über das elektromagnetische Spektrum sehr unterschiedlich abbilden.

Nach einigen Grundlagenarbeiten und der Erarbeitung verschiedener Verfahrensansätze basierend auf Bündelblockausgleichungen ließen sich erste Fortschritte erzielen. Die projektive Transformation einer Ebene (z. B. ein Ausschnitt eines Drohnenbildes) in eine andere Ebene (z. B. eine Fläche am Schachtgerüst) gelang ohne Restklaffungen. Dies bedeutet, dass Ausschnitte von Drohnenbildern stückweise auf ebene Flächen eines Objektes entzerrt werden und so die Auf-

nahmen der verschiedenen Sensoren lagerichtig übereinandergestapelt werden können. Die einzelnen Layer des Bildstapels lassen sich dann gemeinsam nutzen, um die Objektflächen näher auf Schäden zu untersuchen.

Die hierzu benötigten exakten Flugplanungen sind Voraussetzung auch für das spätere Monitoring-Verfahren, nicht aber Gegenstand der Publikation. Trotz der Nutzung des Real Time Kinematic-Ansatzes (RTK) bleiben Probleme in der exakten Positionierung der Kamera im 3D-Raum (2 – 4 cm).

In aufbauenden Arbeiten wurden solche Aspekte sowie diejenigen der inhärenten Bildfehler thematisiert, etwa die radialsymmetrische, tangentielle und asymmetrische Verzeichnung von Kameras, die sich wiederum durch unterschiedliche Aufnahmeposition oder die Objektausdehnung „verschärfen“. Aus einer Kombination bestehender und eigens programmierter Softwaremodule zur Berechnungen von Transformationspunkten ließen sich die Arbeitsschritte letztlich so umsetzen, dass auswertbare Ergebnisse über alle Sensoren resultierten (wesentliche Hinweise gab Luhmann 2010).

Einige Arbeitsschritte nach der Bildaufnahme (vgl. Abb. 2.):

- Aerotriangulation (Orientierung des Bildverbandes)
- Dense Matching (Erzeugung und Glättung einer 3D-Punktwolke)
- Vermaschung der Punktwolke (Erzeugung einer Objektoberfläche)
- Texturierung des 3D-Modells

Über eine Transformation mit anschließender projektiver Entzerrung lassen sich danach im Modell die zugehörigen Bilder exakt zuordnen (Abb. 3:). In der beschriebenen Weise wurde bspw. mit den RGB- und Multispektralbildern umgegangen, so dass sie einer gemeinschaftlichen Auswertung unterliegen können.

Die Untersuchungen erbrachten auch Erkenntnisse zu wesentlichen Limitierungen. So ist die sichere Verwertung von Thermalbildern nicht möglich. Sie sind aus verschiedenen Gründen ungeeignet, um in den Bildstapel eingefügt zu werden. Im Wesentlichen liegt das an der Tatsache, dass man einerseits schon bei einzelnen Flügen keine einheitlichen Aufnahmebedingungen herstellen kann. Ist ein Objekt besonnt, ergibt sich im Optimalfall tatsächlich eine verwertbare Abbildung. Hier absorbieren und reflektieren geschädigte Oberflächen, Lackabplatzungen und Rostbilder sehr unterschiedlich. Prinzipiell wird aber bereits durch minimale Störungen das Bild getrübt. Schon eine durchziehende Wolke oder Teilbeschattung verändern die Situation. Eine einheitliche Besonnung ist allerdings generell unmöglich.

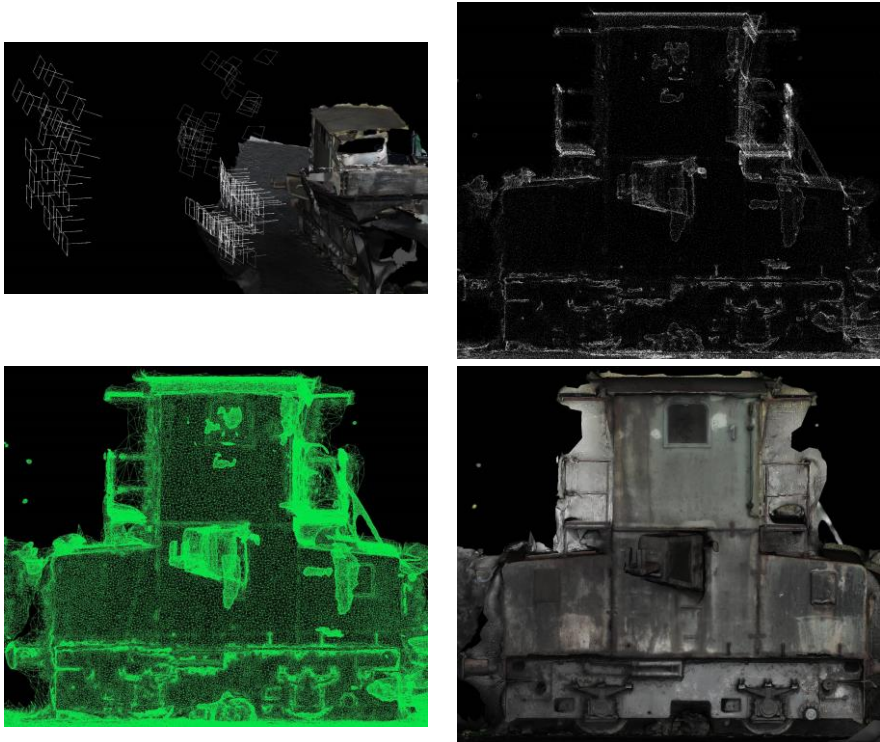


Abb. 2: Arbeitsschritte bis zur Modellbildung:
 oben links: Aerotriangulation (Orientierung des Bildverbandes);
 oben rechts: Dense Matching (Erzeugung und Glättung einer Punktwolke);
 unten links: Vermaschung der Punktwolke (Erzeugung einer Objektoberfläche);
 unten rechts: Texturierung des Modells. @FZN / Heiner Rößmann



Abb. 3: Transformation der Eckpunkte eines Ausschnitts der 3D-Modelloberfläche ins Bild mit anschließender projektiver Bildentzerrung. @FZN / Heiner Rößmann.

Die geringe Auflösung der Thermalkameras führt dazu, dass sich Wärmebilder zudem nicht immer orientieren lassen. Dies gilt vor allem, wenn die Temperaturunterschiede des aufgenommenen Objektes gering sind, d. h. die Wärmebilder einen geringen Kontrast aufweisen. Ein kühler, bedeckter Wintertag verursacht eine nahe der Außentemperatur abstrahlende Objektoberfläche, die für ein Matching nach dem beschriebenen Verfahren nicht geeignet ist – die Oberfläche bildet sich, thermal gesehen, zu einheitlich im Sensor ab, Kontraste fehlen. Damit wäre auch eine Schädenserkenkung und -bewertung mindestens eingeschränkt.

Zusammenfassend kann für den photogrammetrischen Ansatz festgestellt werden, dass RGB- und Multispektralbilder mit hoher Genauigkeit aufeinander eingepasst und für die Detektion von Materialschäden genutzt werden können. Insbesondere ist die Grundlage mit dem vorgestellten Konzept geschaffen, um mit den zusammengeführten Bildern Materialschadensanalysen in Form von Rasterberechnungen zur Ableitung von Rostindizes (hier CorrIndex genannt) durchzuführen.

3 Metallurgische Fragestellungen

Auch hier erfolgte die Befassung mit der Thematik über einige Forschungsfragen.:

- Stellen sich Materialschäden auf verschiedenen Kanälen unterschiedlich dar?
- Sind hierzu klassische RGB-, thermale und multispektrale Daten geeignet?
- Welche Materialschäden lassen sich exemplarisch erfassen und wie muss die Verarbeitung zu deren Identifikation erfolgen?

Este Annäherungen über Laborarbeiten mit bewitterten Probenplättchen wurden verworfen, da bestimmte Rahmenbedingungen in den Versuchen nicht beachtet wurden. Einerseits stellte sich heraus, dass die Drohnensensoren die jeweiligen Probenplättchen von 60 mm X 60 mm nicht mit hinreichender Schärfe aus der Nähe abbilden können. Zudem wurden die Versuche unter Kunstlicht durchgeführt. Hierzu wurden LED-Scheinwerfer zur Bestrahlung genutzt. Daher waren auch die spektralen Ergebnisse aufgrund der schmalbandig emittierenden LED-Lampen nicht repräsentativ für eine Außenaufnahme im Sonnenlicht. Als drittes Problem traten die in Kapitel 2 thematisierten Probleme bei diesen Versuchen deutlich zu Tage. Die Paralaxen der eingebauten Linsen der sechs einzelnen Kameras der Multispektraldrohne führten in dieser frühen Phase zu erheblichen Problemen.

Zielsetzung der Untersuchung war es aber, basierend auf den Grundlagen des in der Luft- und Satellitenbilddauswertung üblichen Verfahrens einer Indexbildung aus miteinander in Verhältnis zu setzenden spektralen Kanälen eine Grundlage zu schaffen (bspw. Huete 1988, Rouse et al. 1973). Dieses Verfahren wird etwa bei Vegetations- oder Wasserindizes angewendet und die Literatur weist darauf hin, dass Rostschäden bspw. in bestimmten Wellenlängen ebenfalls besondere Absorptions- und Reflektionseigenschaften aufweisen. Es galt daher vorab zu untersuchen, ob charakteristische Unterschiede in der spektralen Signatur beziehungsweise der materialspezifischen Reflexionskurve der untersuchten Komponenten vorliegen. Da Korrosionssysteme an Gebäuden und Objekten der Industriekultur oftmals komplex, vielschichtig und aus einer Kombination von verschiedenen Korrosionsmechanismen auftreten können, wurden als erster Schritt charakteristische Merkmale und Erscheinungsformen dieser Korrosionssysteme bestimmt, um so einen Versuchsaufbau zu erstellen, der unter optimierten Testbedingungen erfolgen kann. Hierfür

wurden Testbleche aus unlegiertem Baustahl benutzt, die durch künstliche oder natürliche Alterung in verschiedenen Zuständen vorlagen. Wie Abb. 4: zeigt, können so beispielweise Bereiche mit aktiver Oberflächenkorrosion (1), deutlich inaktiverer (passiver) Oberflächenkorrosion (2) oder verschiedene Arten der Oberflächenbeschichtung (3, 4) sowie defekte Beschichtungen (4) simuliert werden.



Abb. 4: Übertragung der identifizierten Korrosionsmechanismen, Kokerei Zollverein, Essen.
@FZN / Christoph Meier.

Auf dieser Basis wurde ein Testbild erstellt, bei dem neben den übertragenden Korrosionsmerkmalen ebenfalls Parameter wie der Betrachtungswinkel und die Betrachtungsrichtung, die Größe und Ausprägung der zu untersuchenden Objekte, die Tageslichtverhältnisse sowie der Abstand der Multispektralkamera zum Objekt angepasst und optimiert werden konnte. Hierfür wurden neben den unter Abb. 5: (links) aufgeführten Merkmalen zusätzlich unbeschichteter und nicht korrodierter Baustahl (5), Baustahl mit vorangeschrittener, aktiver Oberflächenkorrosion (6) sowie ein weiterer Beschichtungstyp (7) analysiert. Die Ausgabe der Bilder erfolgt neben einem RGB-Bild in fünf verschiedenen multispektralen Bändern (blau, grün, rot, Red Edge, Nahinfrarot in Abb. 5: rechts). Je deutlicher die Farbausprägung in den jeweiligen Bildern war, desto mehr monochromatische Strahlung der jeweiligen Wellenlänge wurde von dem Sensor der Multispektralkamera detektiert. Um die Ergebnisse der optischen Darstellungen mit Zahlenwerten charakterisieren zu können, wurden die jeweiligen Bereiche des Testbildes in Form eines Spektralprofils analysiert.

Die Parallaxenfehler wurden dadurch umgangen, dass die Analyse in jeweils den einzelnen Spektralbändern erfolgte. Die Ausgabe erfolgt in pixel value (Pixel Wert), also ein Wert für die im jeweiligen Pixel (beziehungsweise Bereich) detektierten Photonen der jeweiligen Wellenlänge. Wenn man die Werte der einzelnen Spektralbänder in normierter Form graphisch aufträgt, erhält man so ein spektrales Profil des untersuchten Bereiches. Gleiches wurde mit Blechproben aus identischem Grundmaterial (unlegierter Baustahl) mit Oberflächenkorrosion in verschiedenen Stadien durchgeführt (aktive Korrosion jung/frisch, aktive Korrosion fortgeschritten/mittel, aktive Korrosion fortgeschritten/alt).

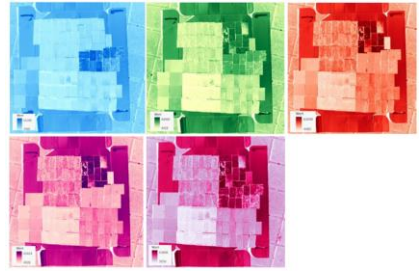
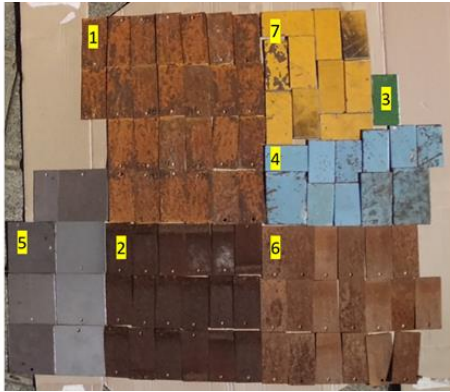


Abb. 5: Testbild für die Multispektralanalyse. Reflexionen in den Kanälen Blau, Grün, Rot, Red Edge und Nahinfrarot. Die Wellenlängen sind Abb. 1: zu entnehmen. @FZN / Christoph Meier.

Trägt man die Messwerte der Bereiche mit Flächenkorrosion in unterschiedlichen Stadien gegeneinander auf, lässt sich erkennen, dass die unterschiedlichen Bereiche des Testbildes signifikante Unterschiede in ihrem spektralen Profil aufweisen (Abb. 6:). Die frische Korrosion und die mit mittlerer Dauer korrodierenden Proben zeigen ein vergleichbares spektrales Profil auf, das sich lediglich im Bereich von grünem Licht (560 nm) unterscheidet. Deutliche Unterschiede zeigt jedoch die als alt bezeichneten Proben, vor allem konstant im Bereich von rotem Licht (650 nm), red edge (730 nm) sowie Licht im nahinfraroten Bereich (840 nm).

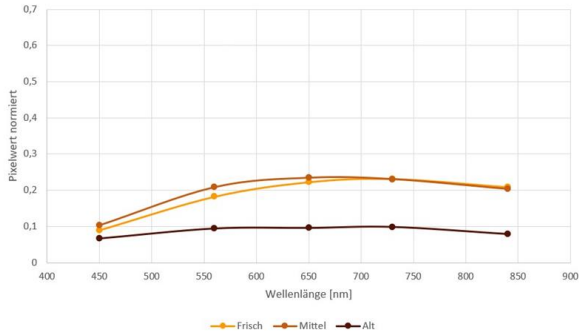


Abb. 6: Spektrale Profile unterschiedlicher Korrosionszustände. @FZN / Christoph Meier.

Ebenfalls lassen sich signifikante Unterschiede aufzeigen, wenn man die verschiedenen Beschichtungstypen (Blau, Grün, Gelb) mit den verschiedenen Stadien der Flächenkorrosion vergleicht (Abb. 7:).

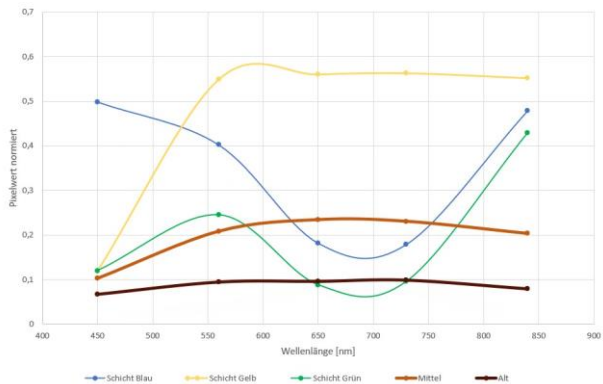


Abb. 7: Übertragung der identifizierten Korrosionsmechanismen, Kokerei Zollverein, Essen.
@FZN / Christoph Meier.

Die verschiedenen Beschichtungstypen weisen deutlich unterschiedliche spektrale Profile zueinander auf. Entscheidender jedoch sind die unterschiedlichen Ausprägungen der spektralen Profile im Vergleich zu den Proben mit Flächenkorrosion. Da unlegierter Baustahl korrosionsaffin ist und somit nach bereits kurzer Zeit im oxidierten Zustand vorliegt, besteht auf Basis dieser Ergebnisse in Abhängigkeit vom jeweiligen Beschichtungstyp die Möglichkeit, Beschädigungen von Oberflächenbeschichtungen im Vergleich zum freigelegten Werkstoff nachzuweisen und analysieren zu können. Die Zusammenfassung der Ergebnisse findet sich in Tab. 1.

Tab. 1: Zuordnungsversuch der Spektralkanäle zu den Schadensbildern

Schadensmechanismus	Kanal	Bemerkung
Lochfraßkorrosion	Nicht nachweisbar	Ausprägung zu klein
Spaltenkorrosion	Nicht nachweisbar	Ausprägung zu klein
Beschädigung Beschichtung	NIR, in Abhängigkeit der Beschichtung mit weiteren Kanälen nachweisbar	Vergleichend zum freigelegten Werkstoff / Korrosionsprodukt
Flächenkorrosion aktiv	(blau), Grün, Rot, Red Edge, NIR	Vergleichend zu passiver (alter) Korrosion bzw. Beschichtung
Grad der Flächenkorrosion	(blau), Grün, Rot, Red Edge, NIR	Unterschiede zwischen frisch / mittel im Bereich blau – rot im Vergleich zu passiver (alter) Korrosion: gesamte Bandbreite)

4 Ableitung von Korrosionsindizes

Die Datenverarbeitung sollte in einem n-dimensionalen, raum-zeitlichen Datentensor geschehen (Modell in Abb. 8:). Mit den beschriebenen photogrammetrischen und metallurgischen Ansätzen erscheint dies umsetzbar. Wie aber wertet man solche Datentensoren aus? Um das Ziel zu erreichen und eine Bewertung von Objekten der Industriekultur zu leisten, hat das Projektteam die Idee der Indexberechnungen aus dem Umfeld des Geomonitorings bzw. der Erdbeobachtung übernommen.

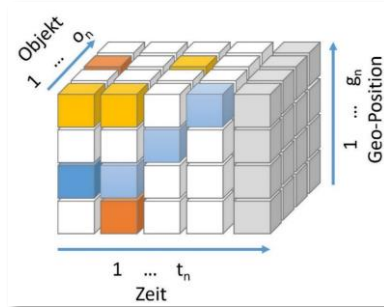


Abb. 8: Die Generierung eines spatio-temporalen Datenwürfels aus Volume Elements (Voxeln) ermöglicht eine gemeinsame Objektbewertung über Jahre hinweg. @FZN / Bodo Bernsdorf.

Diese Indizes sind dimensionslos und geben einen Zustand im Wertebereich - 1...+1 an (Formel 1, bspw. Hurte 1988, Rouse et al. 1973). Erste Hinweise auf die Funktionsfähigkeit des Ansatzes ergaben sich aus klassischer Bildverarbeitung. Bestimmte Schadenstypen konnten in den jeweiligen RGB-Bildern durch Betonung einzelner Farben hervorgehoben werden. Die metallurgischen Spektraluntersuchungen bestätigten diesen Zusammenhang.

Beispiel Schadensindex

$$\text{Schadensindex} = \frac{(\text{Kanal 1} - \text{Kanal 2})}{(\text{Kanal 1} + \text{Kanal 2})} \quad 1$$

Diverse Versuche von Kanalkombinationen konnten durch die beschriebenen Vorarbeiten getestet werden. Besonders Kanalkombinationen, die den nahen Infrarotkanal verwendeten (hier: 840 nm ± 26 nm), brachten gute Ergebnisse. Steht keine Multispektralkamera zur Verfügung, kann ersatzweise der Rot-Kanal genutzt werden (hier: 650 nm ± 16 nm). Beispielhaft werden die Ergebnisse für die Formeln 2 und 3 dargestellt. In Abb. 9: (Nutzung des NIR-Kanals vs. dem Blau-Kanal) ist erkennbar, dass besonders aktive Korrosion sowohl auf Flächen als auch als Kantenrost herausgearbeitet wird. Demgegenüber streicht die Nutzung der Kanäle Rot und Blau Schäden in der Beschichtung heraus.

Beispiel CorrIndex 2

$$\text{CorrIndex 2} = \frac{(\text{NIR} - \text{Blau})}{(\text{NIR} + \text{Blau})} \quad 2$$

Beispiel CorrIndex 4

$$\text{CorrIndex 4} = \frac{(\text{Rot} - \text{Blau})}{(\text{Rot} + \text{Blau})} \quad 3$$

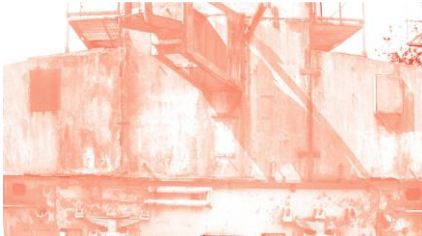


Abb. 9: CorrIndex 2: Besonders aktive Korrosion und Kantenrost wird heraus gearbeitet @FZN / Heiner Rößmann.

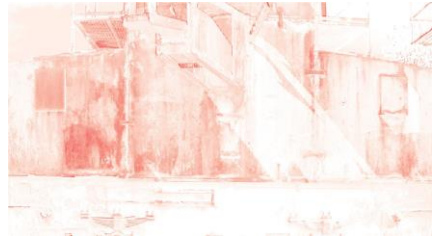


Abb. 10: CorrIndex 4: Alternative Nutzung klassischer RGB-Kameras bspw. zur Bewertung von Schäden an Coatings @FZN / Heiner Rößmann.

5 Fazit und Ausblick

Im Wesentlichen konnte die Machbarkeitsstudie belegen, dass UAV-basierte Systeme mit allen ihnen anhaftenden Schwierigkeiten Datenmaterial liefern können, das zu einer schnellen Bewertung großer Industrieobjekte beitragen kann. Photogrammetrische Wege zur Datenprozessierung konnten aufgezeigt werden und erste metallurgische Versuche durchgeführt und ausgewertet werden. Versuche, mit Schadensindizes klassische Methoden der Bildauswertung aus Geomonitoring und Fernerkundung auf die Bewertung von Schadensbildern zu übertragen, scheinen vielversprechend.

Hier sind die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie allerdings limitiert, da umfassende Untersuchungen zur spektralen Reaktion dezidiert Schadensbilder nur angerissen wurden. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass Korrosionsprodukte sich gut abbilden lassen. Da solche Methoden auch in der Rohstoffexploration genutzt werden (bspw. Oxidationsprodukte, Goethit, Lepidokrokit, Magnetit, Hematit, etc.) ist die Wahrscheinlichkeit hoch, diese Verfahren auf die Bewertung des Materialzustands übertragen zu können. Hierzu werden jedoch Hyperspektralkameras genutzt. Erste Versuche mit einem UAV DJI M300 und einer HAIP BlackBird V2 zeigen gute bis sehr gute, kontraststarke Ergebnisse (Abb. 11.). Ziel ist es daher, diesen Weg weiter zu beschreiten und in einem Folgeprojekt einerseits die Arbeiten zu intensivieren und die Verfahren zusätzlich zu automatisieren. Letzteres soll dazu führen, dass die Monitoring-Methoden einer breiten Nutzerschaft zur Verfügung stehen.

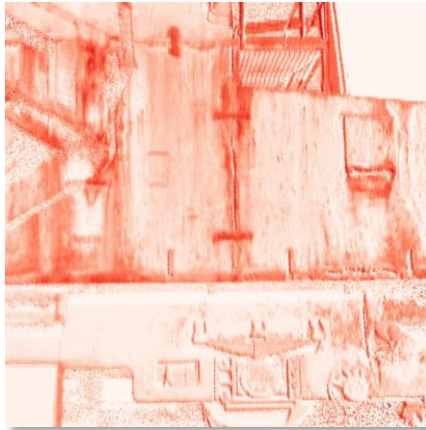


Abb. 11: Betonung von aktiver Korrosion entlang von Kanten in einer Hyperspektralanalyse (687 nm vs. 507 nm). @FZN / Heiner Rößmann.

LITERATURVERZEICHNIS

- Bernsdorf, Bodo; Tiganj, Julia; Haske, Benjamin; Geomonitoring as an instrument to accompany structural changes in post-mining areas; in: Melcher, Christian; Goerke-Mallet, Peter; Lubenska, Natalia (Hrsg.): Managing the Change: Tasks of Post-Mining in Ukraine – A Joint German-Ukrainian Collection of Scientific Papers devoted to the issue of Post-Mining in Ukraine including the actual war districts: hazards and perspectives. Bochum: Selbstverlag der Technischen Hochschule Georg Agricola. S. 92 – 117. 2023a. <https://doi.org/10.48771/c2d6-2060>
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt; Monitoring | Umwelteinflüsse | Modellbildung auf und von Objekten der Industriekultur im Ruhrgebiet; Projektdatenbank, 2023. https://www.dbu.de/projekt_37668/01_db_2848.html
- Forschungszentrum Nachbergbau (2023): MUM | InduKult Ruhr; Forschungszentrum Nachbergbau – Projektinformationen. 2023. <https://fzn.thga.de/forschung/mum-indukult/>
- Haske, Benjamin; Bernsdorf, Bodo; Tiganj, Julia; Rudolph, Tobias; The use of UAVs in supporting the preservation of the industrial and mining heritage in the Ruhr area images; IOP Conference Series Earth and Environment Science 1189 (2023) 012023. Wroclaw. 2023. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1189/1/012024>. doi:10.1088/1755-1315/1189/1/012024.
- Huete, Alfons Ramon; A soil-adjusted vegetation index (SAVI); Remote Sensing of Environment, Volume 25, Issue 3, pp. 295-309. 1988. DOI: 10.1016/0034-4257(88)90106-X.
- Luhmann, Thomas; Erweiterte Verfahren zur geometrischen Kamerakalibrierung in der Nahbereichsphotogrammetrie; Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in Kommission bei Verlag C. H. Beck. München 2010.
- Rouse, Jeremy W.; Haas Randall H.; Schell, Juliana A; Deering Don W; Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I:309-317. 1973.



Tunnelbau-
lösungen mit
PEB!

Unsere Arbeitsgebiete:

- Maschineller (TBM) und konventioneller Tunnelbau, Offene Bauweise
- Grabenloser Leitungsbau, Rohrvortrieb, Microtunneling, HDD
- Spezialtiefbau, Geotechnik, Schachtbauwerke

Unser Leistungsspektrum:

- Objekt- und Tragwerksplanung, Heißbemessung, Beratung, Überwachung
- Bautechnische Prüfung und tunnelbautechnische Beratung, EBA-Prüfsachverständiger
- Gutachten, Schadensanalysen, Prozessdatenanalyse TBM, Forschung u. Entwicklung
- BIM-Planung, -Koordination und -Beratung

BUNG - PEB
Tunnelbau-Ingenieure

BUNG-PEB Tunnelbau-Ingenieure GmbH

Hauptsitz: Stockumer Straße 475 | 44227 Dortmund

Bürostandort: Robert-Bosch-Straße 21 | 48153 Münster

Tel. +49 231 997732-0 | info@bung-peb.de

www.bung-peb.de

Empfehlung

„Qualitätssicherung/Qualitätsmanagement bei Sanierungsarbeiten im Altbergbau“

Herausgeber: Der Arbeitskreis Altbergbau der DGGT e. V. (AK 4.6) und des DMV e. V.
Mitwirkende: Stephan Bachmann, Jörg Benndorf, Andreas Benthin, Matthias Bock, Danny Bodentab, Geertje Buchwald, Tobias Friedrich, Alfred Geers, Peter Goerke-Mallet, Michael Heitfeld, Robin Hoffmann, Peter Höggebe, Herbert Klapperich, Jens- Peter Lux, Tobias Rudolph, Peter Scharf, Emmerich Schuscha, Christina Seidel, Falk Seliger, Jan Starke, Tobias Steinert, Peter Steinmetz, Goetz-Wolfram Thauer, Ansgar Wehinger, Daniel Wehler, Roy Wings, Martin Zimmerman

Inhalt

1	Vorbemerkung	264
2	Begriffsbestimmung	264
3	Grundsätzliche Herangehensweise/Handlungsablauf	265
4	Aspekte der Qualitätssicherung bei einzelnen Handlungsschritten	266
4.1	Kriterien für die Auswahl eines geeigneten Ingenieurbüros	266
4.2	Anforderungen an die Recherche (u. a. Archivrecherche)	268
4.3	Anforderungen an die Zustandserfassung (Beurteilung Standsicherheit) und das Sanierungskonzept	271
4.4	Anforderungen an bauausführende Firmen und Anforderungen an die Durchführung von Sanierungsarbeiten	273
4.5	Anforderungen an Versatz- und Verfüllbaustoffe	275
4.6	Dokumentation und Monitoring	278
4.7	Anforderungen an den Abschlussbericht von Erkundungs- und Sanierungsarbeiten	281
5	Ausgewählte Quellen	282
	Anhang I	284

MUSTER-Inhaltsverzeichnis Abschlussbericht

Anhang II.....	287
----------------	-----

ZUSATZINFO zu Nachweisen

1 Vorbemerkung

Der Arbeitskreis Altbergbau der DGGT und des DMV erarbeitet Empfehlungen zu verschiedenen Schwerpunkten des Altbergbaus. Beim Altbergbau handelt es sich um Gesamtheit aller bergmännisch hergestellten Hohlräume (Grubenbaue) einschließlich Bohrungen sowie Tagebaue, Halden, Kippen und Restlöcher, die bergbaulich nicht mehr genutzt werden (DGGT AK4.6 2004).

Die Empfehlungen sind Anleitungen zum einheitlichen und effizienten ingenieur- und bergtechnischen Umgang mit altbergbaulichen, schadensrelevanten Hinterlassenschaften. Die differenzierten bergtechnischen Maßnahmen kommen zur Gewährleistung der Sicherheit insbesondere in Abhängigkeit von der Nutzung der Tagesoberfläche zum Einsatz.

Die vorliegende Empfehlung „Qualitätssicherung/ Qualitätsmanagement bei Sanierungsarbeiten im Altbergbau“ behandelt Maßnahmen zur Absicherung vom Mindeststandards bei der Durchführung der Erkundung, Bewertung und Sanierung sowie Monitoring von altbergbaulichen Hinterlassenschaften.

Ohne ein durchdachtes Qualitätsmanagement und eine darauf abgestimmte Qualitätssicherung ist nicht sichergestellt, dass alle Anforderungen beachtet werden. Bei einer Missachtung von Qualitätsstandards und Regeln im Umgang mit Altbergbau könnten notwendige Sanierungsmaßnahmen erschwert werden oder im schlimmsten Fall sogar scheitern. Risiken bestehen sowohl bezüglich fachlicher als auch wirtschaftlicher Anforderungen sowie des zeitlichen Aufwands. Ein Qualitätssicherungs- und -managementsystem (QS/ QM) ist somit die Basis der durchzuführen- den Überlegungen und Arbeiten.

Eine integrierte Umsetzung der Fragen zum Altbergbau ermöglicht somit eine nachhaltige (ökonomische, ökologische und soziale) Bearbeitung und somit die Chance die Herausforderungen der Langzeit- und Ewigkeitsaufgaben zu lösen.

Die Empfehlung basiert auf dem Kenntnisstand der einschlägigen nationalen und internationalen Fachliteratur und Empfehlungen der DGGT, des DMV und der DGGV. Hierbei sind als Grundlage insbesondere die Empfehlungen des Arbeitskreises 4.6 – Altbergbau der DGGT (DGGT AK4.6 2020.) und die Empfehlungen des Arbeitskreises 2.10 – Geomesstechnik der DGGT (DGGT AK2.10 2022) zu nennen. Auf die Nennung weiterer Quellen wird verzichtet und auf die vorgenannten Unterlagen verwiesen.

2 Begriffsbestimmung

Qualitätssicherung und Qualitätsmanagement dienen dazu, sicherzustellen, dass Produkte, Dienstleistungen und Prozesse den festgelegten Qualitätsstandards entsprechen und den Anforderungen gerecht werden.

Qualitätssicherung

Qualitätssicherung ist ein systematischer Ansatz, um sicherzustellen, dass die festgelegten Qualitätsanforderungen erfüllt werden. Sie umfasst alle Maßnahmen, die ergriffen werden, um sicherzustellen, dass ein Produkt oder eine Dienstleistung den gewünschten Qualitätsstandards entspricht.

Die Qualitätssicherung beinhaltet oft die Überwachung und Prüfung von Produkten, Prozessen und Systemen, um sicherzustellen, dass sie die definierten Spezifikationen erfüllen. Sie beinhaltet auch die Implementierung von Methoden und Verfahren, um Fehler zu identifizieren, zu korrigieren und zukünftig zu vermeiden.

Qualitätsmanagement

Qualitätsmanagement bezieht sich auf die Gesamtheit der Aktivitäten, die zur Steuerung und Verbesserung der Qualität in einer Organisation durchgeführt werden. Es ist ein umfassender Ansatz, der alle Aspekte des Unternehmens umfasst und darauf abzielt, einen Prozess der kontinuierlichen Verbesserung zu schaffen. Das Qualitätsmanagement beinhaltet die Entwicklung und Implementierung von Qualitätsrichtlinien, -prozessen und -verfahren, um sicherzustellen, dass die Qualitätsziele erreicht werden (können). Es umfasst auch die Schulung der Mitarbeiter, die Förderung von Qualitätsbewusstsein und die Etablierung eines Qualitätsmanagementsystems, das regelmäßig überprüft und verbessert wird.

Dabei ist das Qualitätsmanagement von entscheidender Bedeutung, da es die Basis dafür legt, dass die Arbeiten und die Dokumentation den geforderten Standards und Regeln entsprechen. Dies beeinflusst unter anderem folgende Punkte:

- Risikominimierung
- Effizienz und damit Kostenreduktion
- Zufriedenheit der Auftraggeber, der zuständigen Behörden sowie aller Projektbeteiligten

Zur Reduktion der Sanierungsrisiken im Altbergbau müssen dabei unterschiedliche Themenbereiche durch das Qualitätsmanagement abgedeckt werden. Neben fachlichen Themen sind auch rechtliche und wirtschaftliche Randbedingungen zu beachten.

3 Grundsätzliche Herangehensweise/Handlungsablauf

Für eine erfolgreiche Sanierung von altbergbaulichen Hinterlassenschaften sind verschiedene Schritte notwendig. Dabei ist es je nach Projekt erforderlich, die Schwerpunkte unterschiedlich zu gestalten und die Bearbeitung der einzelnen Schritte der Situation vor Ort anzupassen.

Der generelle Ablauf kann wie folgt angegeben werden:

- altbergbaubezogenes Schadensereignis oder Risiko/Gefahr erkennen, melden, registrieren und dokumentieren. Dies geschieht in Abhängigkeit von den spezifischen Vorgaben in den einzelnen Bundesländern;
- Ersteinschätzung durch die zuständige Ordnungsbehörde bzw. Bergbauunternehmen; gegebenenfalls Durchführung von Sofortmaßnahmen;
- Bewertung des Schadensausmaßes nach den allgemeinen Regeln zum Stand der Technik;
- Prüfung der Zuständigkeit (Kostenträger) durch Bergbehörde bzw. zuständige Behörde;
- Einschaltung Sachverständiger;
- Bearbeitung Konzept/Planung zur Erkundung und Sanierung;
- Ausschreibung der Erkundungs- und Sanierungsarbeiten mit Leistungsbeschreibung,

Leistungsverzeichnis und Vertragsbedingungen;

- Prüfung der Angebote, Vergabevorschlag mit Preisspiegel und Auftragserteilung;
- Ausführung und Bauüberwachung der Erkundungs- und Sanierungsarbeiten;
- Abschlussdokumentation sowie ggf. Empfehlungen zu Maßnahmen für ein mittel- bis langfristiges Monitoring;
- Durchführung des Monitorings, Dokumentation und Bewertung der Monitoringergebnisse.

4 Aspekte der Qualitätssicherung bei einzelnen Handlungsschritten

4.1 Kriterien für die Auswahl eines geeigneten Ingenieurbüros

Bei der Sanierung von Hinterlassenschaften des Altbergbaus sind neben der Durchführung der eigentlichen operativen Erkundungs-, Sicherungs- und/oder Verwahrungsmaßnahmen durch entsprechend qualifizierte Bergsicherungs-, Bohr- oder Tiefbauunternehmen auch administrative Arbeiten zur Planung und Überwachung sowie gutachterliche Beurteilung der Maßnahmen durchzuführen.

Je nachdem, ob es sich um einen Tagesbruch, eine Präventivmaßnahme innerhalb eines Risikomanagements oder die Baugrundverbesserung im Rahmen geplanter Baumaßnahmen handelt, können alle oder aber nur Teile der in dieser Qualitätsempfehlung dargestellten Aufgaben und Tätigkeiten erforderlich werden.

Bei solchen Projekten sind sowohl die Komplexität als auch die Vielfalt der Fachgebiete zu beachten. Die Fachgebiete umfassen neben anderen Themen aus den Fachbereichen Bergbau, Marktscheidewesen, Ingenieurgeologie, Hydrogeologie, Ausgasung, Arbeitsschutz, Organisation, Umwelttechnik auch allgemeine wirtschaftliche und rechtliche Themen. Daher ist die Vergabe dieser Tätigkeiten zumindest teilweise an ein – oder gegebenenfalls mehrere Ingenieurbüros – empfohlen. Bei einer getrennten Vergabe sind die Koordination und Abstimmung der Einzelarbeiten zwingend notwendig.

Die Kenntnisse und die Erfahrungen eines Ingenieurbüros werden den Erfolg der Maßnahmen in Bezug auf technische, sicherheitliche und wirtschaftliche Faktoren beeinflussen. Von daher ist es wichtig, dass sich der Auftraggeber vor der Auftragsvergabe von der personellen, technischen, aber auch der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit der Bewerber, bzw. der in Frage kommenden Ingenieurbüros, Kenntnis verschafft.

Grundsätzliche Anforderungen

Bei der Ausführung muss das zu beauftragende Ingenieurbüro die für die Arbeiten relevanten Rechtsvorschriften, Verwaltungsanweisungen und Normen, die sich auf vielerlei Gebiete beziehen, wie z. B. Baugrund, Arbeitsschutz, Statik, berücksichtigen. Insbesondere sind bei der Ausführung der Leistungen die altbergbaulichen Bestimmungen zu beachten und einzuhalten. Die Arbeiten im Altbergbau erfolgen in Abhängigkeit von landesspezifischen Regelungen oftmals unter Bergaufsicht oder ordnungsbehördlicher Veranlassung – von daher sind Gesetze, Verordnungen usw. der jeweils zuständigen Behörde – anzuwenden. Die Kenntnis dieser Rechtsvorschriften und Normen ist somit für das ingenieurmäßige Arbeiten bei Maßnahmen im Altbergbau unverzichtbar. Einen Hinweis auf die anzuwendenden Vorschriften geben die weiteren Empfehlungen des Arbeitskreises Altbergbau.

Je nach Aufgabenstellung besteht ein qualitativer Vorteil darin, wenn Mitarbeiter von zu beauftragenden Ingenieurbüros über den Nachweis der Bestellung zum öffentlich bestellten und vereidigten bzw. anerkannten Sachverständigen, bspw. für die verschiedenen Sachgebiete des Nachbergbaus verfügen. Liegt keine Anerkennung vor, sollte über einschlägige Erfahrung und Fachkunde sowie angemessene Referenzprojekte die Eignung zur Bearbeitung von Gutachter- und Planungsleistungen im Altbergbau nachgewiesen werden.

Beispielsweise ist die Gewinnung vieler Rohstoffe mit einer spezifischen Ausgasung verbunden, die auch nach dem Ende der Gewinnung, vielleicht in geringerem Maße, anhält, z. B. Ausgasung von Methan in der Kohle oder undichte Gasproduktionsbohrungen. Um die Risiken/Gefährdungen, die sich durch Ausgasungen während der Sanierungsmaßnahme ergeben, aber auch um eine spätere gefahrlose und wirtschaftliche Abführung der Gase über das Sanierungsbauwerk zu berücksichtigen und planen zu können, muss ein Ingenieurbüro über entsprechende Kenntnisse verfügen.

Des Weiteren muss das Ingenieurbüro insbesondere bei der Planung der Arbeitsabläufe und der einzusetzenden Betriebsmittel sowie bei der späteren Überwachung der Sanierungsmaßnahme Arbeits-, Gesundheits-, und Umweltschutzkenntnisse (AGU) in das Projekt einfließen lassen. Bzgl. dieser Themen ist neben der Planung und dem täglichen Betrieb auf der Baustelle auch das Handling von evtl. belasteten Boden- und/oder Aushubmassen im Zuge von Sanierungsmaßnahmen zu nennen.

Für die Erstellung ggf. erforderlicher Ausschreibungsunterlagen (Leistungsbeschreibung, Leistungsverzeichnis ...) und/oder auch für die Mitarbeit bei der Auftragsvergabe (Sichten, Bewerten der Angebote) sind Kenntnisse im Vergaberecht erforderlich.

Sind mit der Sanierungsmaßnahme Eingriffe in die Natur verbunden, was zumeist der Fall ist, sind im Antragsverfahren und in der Ausführung der Maßnahme Gewässer-, Natur- und Artenschutz zuständigen Behörden einzubinden. Dies kann in Abhängigkeit von der Größe des Eingriffs zur Notwendigkeit von Ausgleichsmaßnahmen und damit einhergehend zur Erstellung landschaftspflegerischer Fachbeiträge oder Begleitpläne führen.

Neben den näher erläuterten ordnungsbehördlichen, bergbehördlichen oder weiteren Vorschriften ergibt sich somit die Notwendigkeit, dass das zu beauftragende Ingenieurbüro über Kenntnisse der Vorschriften in diesen genannten Fachbereichen verfügt.

Nachweise der wirtschaftlichen und finanziellen Leistungsfähigkeit

Es ist wichtig, dass sich der Auftraggeber vor der Auftragsvergabe ein Bild von der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit des Auftragnehmers macht, um zu verhindern, dass es während der Projektlaufzeit schlimmstenfalls zum Ausfall des Auftragnehmers kommt. Die in „ZUSATZINFO zu Nachweisen“ (s. Anhang II) aufgeführten Belege tragen zu einem solchen Bild bei.

Nachweise der technischen und beruflichen Leistungsfähigkeit

Die im Informationsfeld „ZUSATZINFO zu Nachweisen“ (s. Anhang II) aufgeführten Belege sollen Hinweise dafür geben, in wieweit der Bewerber in der Lage ist aufgrund seiner Fachkenntnis, die technischen und organisatorischen Anforderungen des Projektes im Altbergbau zu erfüllen.

Die aufgeführte Vielfalt an Anforderungen, die in jedem Projekt auch noch durch weitere spezifische

Anforderungen erweitert werden, kann dazu führen, dass ein Ingenieurbüro diese in ihrer Gesamtheit nicht alleine erfüllen kann. In diesem Fall können Teile der Aufgaben, z. B. die natur- und artenschutzrechtlichen Aufgaben, an ein weiteres Ingenieurbüro als Nachauftragnehmer vergeben werden. Für die Weitergabe von Teilaufgaben an einen Nachauftragnehmer muss sich der Auftraggeber die Zustimmung vorbehalten und darauf achten, dass auch der Nachauftragnehmer die erforderlichen Anforderungen erfüllt.

4.2 Anforderungen an die Recherche (u. a. Archivrecherche)

Über den Altbergbau ist mitunter nur wenig bekannt. Alte Tagesöffnungen, Grubenbaue und untertägige Hohlräume müssen häufig erst erkundet werden. Für die zuständigen Behörden ist die Gefahren-/Risikoabwehr dieser Hinterlassenschaften des Altbergbaus zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung ein Teil ihrer Amtspflicht. Für Eigentümer und Rechtsverantwortliche ist es ein Teil ihrer Sorgfaltspflicht.

Zur regulären Erfassung und Bewertung von altbergbaulichen Hinterlassenschaften sowie nach Schadensereignissen werden zuerst zur Verfügung stehende Quellen genutzt. Hierzu zählen vor allem die zeichnerische Darstellung der Grubenbaue in Risswerken und Grubenbildern. Aber auch die Dokumentationen in historischen Karten, wie Stollenkarten, Separationskarten, Gang- und Flözkarten, Flurkarten und Messtischblättern sowie geologische Karten etc. können wertvolle Hinweise zur Lage und dem Umfang der Grubengebäude enthalten.

In den entsprechenden Grubenakten, Betriebsplänen, Urkunden und Chroniken sind häufig weitere Details enthalten und beschrieben. Ergänzt werden können diese Unterlagen durch historische Fotobestände und Luftbilder.

Neben den Archiven der zuständigen Bergbehörden, sind vor allem die Staatsarchive der Länder, die Archive von Museen, Bibliotheken von Hochschulen und Sammlungen, Betriebsarchive sowie Archive von Kommunen und Bergbauvereinen wichtige Fundquellen. In einigen Bundesländern (u. a. Sachsen, Niedersachsen) bilden die jeweiligen Bergarchive als Außenstellen der Staatsarchive eine reichhaltige Quelle für Überlieferung und Zusammenfassung der Akten aus den verschiedenen Bergbauverwaltungen und Zeitepochen sowie von Bergbauunternehmen.

In den zuständigen Bergbehörden sind zumeist Unterlagen zum Altbergbau, wie Bergschadenkundliche Analysen (BSA), Bergbau-/Altbergbaukataster oder auch altbergbauliche bzw. geotechnisch-markscheiderische Bewertungen oder Verwahrungs-/Abschlussdokumentationen vorhanden, welche einen schnellen Überblick über die Situation ermöglichen und gegebenenfalls erste Maßnahmen zur Gefahrenabwehr ableiten lassen.

Die Bergbehörden haben stets darauf geachtet, dass Akten und Grubenrisse erhalten bleiben und archiviert werden. Diese bilden bis heute den Grundstein für die Bestände in den Staats- und Bergarchiven. Es muss jedoch darauf verwiesen werden, dass eine Vielzahl von Grubenbauen – vor der Pflicht zur Führung eines Grubenrisswerkes – angelegt wurden. Hier kann nur auf die Akten selbst zurückgegriffen werden. Der lagemäßige bzw. räumliche Bezug bleibt dabei jedoch sehr schwer und teils auch nicht mehr nachvollziehbar. Das gleiche gilt für den Bergbau in Kriegs- und Notzeiten, wobei hier oftmals jegliche Angaben über den Altbergbau fehlen. Hier kann vereinzelt

noch auf Überlieferungen von Zeitzeugen und Heimatforschern zurückgegriffen werden.

Ein weiteres Problem ergibt sich aus fehlenden Akten und Rissen, welche durch Brände/ Stadtbrände, Hochwasser und Kriegswirren usw. in Verlust geraten sind. Hierdurch können Angaben zu ganzen Bergrevieren und Bergbauepochen fehlen.

Ferner sollte auch bzgl. Altlast-, Kampfmittelverdachts- und Schutzgutbetroffenheiten bei den entsprechenden zuständigen Behörden recherchiert werden und die Grundlagen erfasst sowie dokumentiert werden.

Die Basis für die Grundlagenermittlung ist eine nachvollziehbare und umfassende Archivrecherche. Dabei kommt der Auswahl der Archive und Bestände eine besonders wichtige Bedeutung zu, da nur hierdurch die Vollständigkeit der verfügbaren Informationen gewährleistet werden kann. Der Zeitaufwand für die Archivrecherche ist erheblich und darf nicht unterschätzt werden. Für die Recherche einschließlich der Auswertung ist eine ausreichende Qualität (u. a. Dokumentenqualität, -auflösung aber auch inhaltliche Aussagefähigkeit bzw. Möglichkeit der Lage- und Höhenzuordnung) zu gewährleisten, da diese die Grundlage für weitere Schlussfolgerungen und Bewertungen sowie Planungsleistungen darstellt. Hieraus werden altbergbaulich bedingte Risiken/ Gefährdungen, Erkundungs- und Sanierungsmaßnahmen wie auch Kostenschätzungen abgeleitet.

Die Fachkenntnisse in der Archivarbeit und Erfahrungen im Umgang mit den Archivalien sind Voraussetzung für die Recherchen im Rahmen der Grundlagenermittlung. Die Archivarbeit ist eine raum-zeitliche Analyse von historischen Datensätzen! Daher sollten für die Grundlagenermittlung bereits geographische Informationssysteme (GIS) genutzt werden. Die hier gelegten Grundlagen können dann im weiteren Projektverlauf Verwendung finden.

Der Archivrecherche ist eine strukturierte und wissenschaftliche Arbeitsweise sowie Organisation zugrunde zu legen. Ausgehend vom zeitlichen Kontext und der verwaltungsrechtlichen Zuordnung können die altbergbaulichen Unterlagen für ein Bergrevier verschiedenen Archiven zugeordnet und sogar in verschiedenen Bundesländern verteilt sein. Die räumliche und sachliche Zuständigkeit sowie staatsrechtlich-administrative Zugehörigkeit für das zu bewertende Bergbauobjekt/ Bergrevier bilden die Grundlage für die Ermittlung der zuständigen Archive.

Innerhalb der Archive erfolgt die Aufteilung der Archivalien nach Beständen. Diese sind nach der Herkunft der Unterlagen gegliedert und zumeist mit einer Beschreibung des Inhaltes und der Laufzeit versehen, was einen ersten Überblick ermöglicht.

In den Beständen sind anhand von Findbüchern bzw. Datenbanken die relevanten Akten zu recherchieren und für die Einsichtnahme auszuwählen. Dabei ist darauf zu verweisen, dass noch nicht alle Bestände und Findhilfsmittel digitalisiert und auch nicht alle online verfügbar sind. Die digitale Online-Recherche ist zwar hilfreich, aber kein Ersatz für die Recherche in den Archiven vor Ort.

Nach der Auswahl und dem Ausheben der Archivalien sind diese nach Relevanz einzusehen, zu lesen und die Inhalte zur weiteren Verwendung verfügbar zu machen sowie zu dokumentieren. Die wesentlichen und für die Projektbearbeitung wichtigen Inhalte sind zu übernehmen. Da der Aufwand im Vorhinein nicht abgeschätzt werden kann, ist es empfehlenswert den Aufwand auf Nachweis kalkulieren zu lassen. So ist eine aufwandsbezogene und zuverlässige Qualitätssicherung möglich.

Für die Einsichtnahme sind Kenntnisse von historischen Schriftarten unabdingbar. Hierbei muss auf die sehr differenzierte Qualität der Handschriften verwiesen werden. Die Texte der Akten sind ggf. zu transkribieren, um diese für die Auswertung verfügbar zu machen.

Weiterhin sind bergbauliche/bergtechnische und markscheiderische Fachkenntnisse erforderlich, um den Inhalt der Archivalien bewerten und einordnen zu können.

Die Vorgehensweise und Ergebnisse der Archivrecherche sind nachvollziehbar zu dokumentieren. Dabei sind alle recherchierten Archive, Bestände und Quellen auch mit Negativergebnissen aufzuführen und zu beschreiben. Der Inhalt und die Qualität der Quellen sind darzustellen.

Im Ergebnis der Archivrecherche sind die erhobenen Daten auszuwerten und als Grundlage für die weiteren ingenieurtechnischen Leistungen vorzubereiten. Die Risse und Pläne dienen zur visuellen Darstellung der Grubenbaue. Diese sind an ausreichend und geeigneten Passpunkten zu georeferenzieren. Die Rechercheergebnisse aus den Akten dienen der allgemeinen Beschreibung des Bergbaureviers sowie der Detailbeschreibung der altbergbaulichen Objekte. Die Objektbeschreibung muss dabei alle vorhandenen bergtechnischen Angaben, wie Querschnitt, Tiefe, Ausbau und Sicherung etc., enthalten.

Zusätzlich ist eine umfassende Recherche nach modernen Geodaten – auch als Webdiensten – durchzuführen, die die aktuelle geowissenschaftlich-technische Situation am Standort beschreibt (u. a. Hydrogeologische Karten, geologische Karten, Webportale zu nationalen und/oder internationalen Bodenbewegungsdiensten).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die integrierte Recherche die Grundlage für die Erfassung und Bewertung von altbergbaulichen Objekten darstellt. Sie ist für die Untersuchung, Bewertung und letztendlich Sanierung von Bergbauobjekten und das Monitoring unabdingbar. Durch fundierte Recherchen und die raum-zeitlichen Auswertungen der gewonnenen Ergebnisse lassen sich Erkundungs-, Sanierungs- und Monitoringdienstleistungen fachgerecht planen und ausführen, was eine effektive Gefahren-/Risikountersuchung und -abwehr sowie letztendlich eine Kostenoptimierung ermöglicht.

4.3 Anforderungen an die Zustandserfassung (Beurteilung Standsicherheit) und das Sanierungskonzept

Zustandserfassung

Bei der Zustandserfassung ist eine fachmännische Bearbeitung und Baubegleitung zu gewährleisten. Hierbei ist neben der schriftlichen Dokumentation eine GIS-basierte Dokumentation der verfügbaren Geodaten empfehlenswert.

Für die Untersuchungen des Untergrundes und die Ermittlung geotechnischer Parameter im Allgemeinen sowie die Erkundung und Bewertung von Hinterlassenschaften des Altbergbaus im Speziellen sind die einschlägigen Baunormen, Regelwerke und Rechtsvorschriften zu beachten. Maßgebliche Bestandteile einer fachlich fundierten Untersuchung zur Zustandserfassung sind dabei:

- umfassende Recherchen, wie eine Grubenbildeinsichtnahme, historische Karten, Bergrevierbeschreibungen etc. zur Schaffung einer guten Planungsgrundlage für eine weitergehende Erkundung (s. Kapitel Anforderungen an die Recherche (u. a. Archivrecherche));
- vermessungstechnische / markscheiderische Aufnahme und geotechnisch / altbergbauliche Dokumentation der Grubenbaue (z. B. Wasserlösungsstollen);
- auf die Standorte angepasste Erkundung und Kartierung der Tagesoberfläche, von Veränderungen der Vegetation (als indirekter Hinweisgeber zu Strukturen im Untergrund), der Entwässerungssituation (Hydrologie, Hydrogeologie) und des Untergrundaufbaus (Boden, Geologie, Tektonik);
- Zustandserfassung der bergbaulichen Hinterlassenschaften (u. a. Lage, Abmessungen) und Ermittlung der geotechnischen Parameter des umgebenden Untergrundes.

Im Rahmen der Untergrunderkundung ist vielfach eine an die Örtlichkeit angepasste schrittweise Vorgehensweise sinnvoll und ist in Kombination mit Fotobeweissicherungen (Datum, Ortsbezug) durchzuführen:

- Kartierung der Standorte hinsichtlich Nutzung, Schäden an baulichen Einrichtungen, Deformationen und Vegetationsveränderungen der Geländeoberfläche, Wasseraustritte u. ä.;
- vereinfachte Erkundungsmethoden mit Baggerschürfen, Kleinrammbohrungen, Rammsondierungen, Geophysik usw.;
- bei Bedarf vertiefte Erkundung mit Maschinenbohrungen oder Schaffung eines befahrbaren Zugangs zur Hinterlassenschaft sowie Erkundung/Vermessung mittels Laserscan oder Bohrlochkamera;
- Anpassung des Erkundungsrasters an die Art, Lage und Abmessungen der zu erkundenden Objekte;
- laufende Anpassung des Erkundungsprogramms an zuvor erzielte Ergebnisse.

Das Ziel der Zustandserfassung ist die Ermittlung aller notwendigen Parameter zur Beurteilung der Standsicherheit und ggf. zur Ausarbeitung eines geeigneten Sicherungs- und Monitoringkonzeptes. Dazu gehören u. a. folgende Angaben:

- Karten/Risswerk mit Art und räumliche Anordnung der Grubenbaue (Ausbau, Überlagerung, Lage, Dimensionen) sowie deren Anbindung an umgebende Grubenbaue und Gebirge;
- standsicherheitsrelevante Merkmale (z. B. Verbrüche, Deformationen, Wasserführung, Versatz);
- Lagerstättenmodell (ggf. digitales 3D-Modell), geologisch-tektonische Verhältnisse und geotechnische Kennwerte.

Im Rahmen der Zustandserfassung ist auch der für die Geländeoberfläche relevante Einwirkungsbereich zu ermitteln bzw. festzulegen (ggf. über Webdienste zur Bodenbewegung).

Standsicherheitsbewertung

Grundsätzlich gelten die einschlägigen Baunormen, wie DIN EN 1997-1 und -2, DIN 4020 und DIN 1054. Darüber hinaus sind für die Bewertung der Standsicherheit der Tagesoberfläche zusätzlich die einschlägigen Regelwerke (insbesondere bei den Bergbehörden) sowie Veröffentlichungen (allgemeiner Stand der Technik und Entwicklung) zum Altbergbau zu beachten. Dies schließt ausdrücklich die bereits erschienenen Empfehlungen des Arbeitskreises Altbergbau ein.

Gerade bei Altbergbauproblematiken kann das tatsächliche Standsicherheitsniveau (oder ein Rest-risiko) häufig aufgrund unzureichender Verfügbarkeit der erforderlichen Bewertungsparameter nicht sicher angegeben werden. Hier kann dann insbesondere das Prinzip des Monitorings angewandt werden bzw. es ist ein angepasstes Kontroll- und Monitoringprogramm und die Anwendung von Schwell- und Grenzwerten zu verwenden.

Sanierungskonzept

Das Sanierungskonzept muss so ausgerichtet sein, dass für den gefährdeten Bereich ein an die Nutzung der Geländeoberfläche angepasstes Sicherheitsniveau erreicht wird. Dabei sind nach Möglichkeit bereits im Rahmen der Zustandserfassung das für die Geländeoberfläche anzustrebende Sicherheitsniveau sowie die Art des Sanierungskonzeptes zu definieren.

Grundsätzlich kann die Sanierung durch eine Sicherung oder Verwahrung in Abhängigkeit vom angestrebten Sicherheitsniveau für die Geländeoberfläche erfolgen:

- Herstellung der dauerhaften Standsicherheit der Geländeoberfläche (z. B. bei Bebauung);
- Teilsicherung der Geländeoberfläche z. B. durch Geogitter zur Minimierung des Einwirkungspotenzials (z. B. bei Verkehrsflächen);
- Einzäunung des gefährdeten Bereichs zur Gewährleistung öffentlichen Sicherheit ohne Maßnahmen zur Sicherung der Tagesoberfläche.

Weiterhin sind folgende Arten von Sanierungskonzepten zu unterscheiden:

- Verwahrung der Grubenbaue (nachsorgefrei);
- Voll- oder Teilsicherungen;
- Bauliche Sicherungen nach dem Widerstands- oder Ausweichkonzept;
- Sicherungen am Bauwerk oder im Baugrund;

- erhaltende oder wiederherstellende Sicherungen.

Die konkreten Maßnahmen eines Sanierungskonzeptes sind an die örtlichen Verhältnisse anzupassen und mit der zuständigen Behörde abzustimmen.

Bei der Aufstellung von Sanierungskonzepten muss immer auch der mögliche Einfluss auf die Wasserführung im Grubengebäude berücksichtigt werden. Ein im Grubengebäude vorhandenes funktionsfähiges Entwässerungssystem sollte möglichst nicht verändert werden. Sind Änderungen notwendig, sind die Einflüsse zu untersuchen, zu bewerten und zu monitoren.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Zustandserfassung kann das Sicherheitsniveau, gegebenenfalls auch z. B. aus Gründen der Verhältnismäßigkeit, angepasst werden. Es ist daher wichtig, dass der beauftragte Gutachter mögliche technische Varianten einer Sanierung aufzeigt und wirtschaftlich bewertet.

Bei der Planung von Eingriffen in ein Grubengebäude im Zuge der Zustandserfassung oder auch der Sanierung ist frühzeitig abzuklären, ob noch Eigentumsrechte an dem betroffenen Bergwerk verliehen sind. Dies geschieht am sichersten über die Bergbehörden, hier liegen die Berggrundbücher mit den notwendigen Informationen vor.

4.4 Anforderungen an bauausführende Firmen und Anforderungen an die Durchführung von Sanierungsarbeiten

Im Rahmen von nachbergbaulichen Untersuchungs-, Erkundungs- und Sanierungsarbeiten werden über Grundlagenrecherchen, Planungen und Leistungsbeschreibungen für die Ausschreibungsphase und die Randbedingungen für die Ausführung derartiger Arbeiten definiert. In der Ausschreibung wird die Rangfolge der zu Grunde liegenden vertraglichen Bedingungen für die Ausführung der Leistungen festgelegt. Bestandteil der Vertragsbedingungen sind in der Regel neben dem Leistungsverzeichnis weitere Dokumente, Gesetze und Regelwerke, wie das BGB, die VOB oder individuelle Einkaufsbedingungen bzw. Eigenerklärungen. Der vertragliche Inhalt wird zwischen den Parteien (Auftraggeber/Auftragnehmer) vor der Auftragsvergabe festgelegt. In den Vertragsbedingungen werden in der Regel bereits allgemeine Vorgaben an die bauausführenden Firmen in Bezug auf Compliance, Informationspflichten, Verantwortlichkeiten usw. formuliert.

Die konkreten technischen Anforderungen bezogen auf die Baumaßnahme werden in den einzelnen Punkten der Leistungsbeschreibung adressiert.

Allgemeine Baubeschreibung und Hinweise

- Aufgabenstellung;
- Beschreibung der Geologie und Tektonik / Untergrundverhältnisse / Grundwasserverhältnisse / Altlasten / Gasproblematik;
- Beschreibung der bergbaulichen Verhältnisse (bereits vorliegende Informationen über vorhandenen Altbergbau) / Darlegung möglicher anzutreffender Hohlräume / Rissunterlagen;
- Anforderungen zur Baustelleneinrichtung / Eigentümerermittlung / Betretungserlaubnis / Kampfmittelstellungnahme / Baustelleninfrastruktur (Wasser, Abwasser etc.);

- Anforderungen der Sorgfaltspflichten;
- Anforderungen der Beweissicherung;
- Anforderungen an die baubegleitende Vermessung / Schlussvermessung;
- Beschreibung der Versorgungs- und Entsorgungsleitungen;
- Einholen von Aufgraberlaubnissen / Schachtscheinen;
- Anzeigen der Arbeiten bei den zuständigen Behörden;
- Anforderungen an den Geräteeinsatz;
- Anforderungen an die zu verwendenden Baustoffe (Eignungsnachweise);
- Entsorgungshinweise.

Hinweise zur technischen Ausführung

Unabhängig von der Art der Aufwältigung, wie vertikal (Schacht) oder horizontal (Strecke/Stollen) Auffahrungen sind verschiedene Randbedingungen und Aufgaben zu beachten:

- Ermittlung der Möglichkeiten der vor-Ort Zwischenlagerung und Entsorgungswege;
- Probenahme und Laboruntersuchung der Aushubmassen sowie der zutretenden Wässer;
- Gebirgsmechanische Verhältnisse / Standsicherheit:
 - Streckenquerschnitt / Querschnittserweiterungen erforderlich (Nachriss),
 - Bewetterung,
 - Gasaustritt z. B. Erdgas/Grubengas, Schwefelwasserstoff, Kohlenstoffdioxid und die messtechnische Überwachung,
 - Radon (regelmäßige Messungen / Personendosimetrie);
- Festlegung des Erkundungsverfahrens (Bohrerkundung / Schürfe etc.);
- Festlegung der Erkundungstechnologie / technischen Parameter (Bohrdurchmesser / Neigung der Bohrung / Schurftiefe etc.);
- Dokumentation der Erkundungsergebnisse.

Aufwältigungstechnologie

- bei der Ausführung der technischen Anlagen ist ggf. die TAS (technische Anforderungen an Schacht- und Schrägförderanlagen) zu beachten; bis 50 m Teufe gilt die Vorschacht-richtlinie;
- bei Erfordernis Festlegung der Ausbauart (i. d. R. rückverankerter, bewehrter Spritzbeton);
- Sicherung untertägiger Hohlräume (z. B. Anker, konstruktive Abstützung):
 - temporäre Sicherung für die Dauer der Bauausführung,
 - Sicherung zur Gewährleistung einer langfristigen Stabilität;
- Sonderbewetterung;
- Einbautechnologie Versatz (hydraulisch, pneumatisch);
- Sicherung / Verwahrung der Zugänge.

Sicherungs- und Verwahrarbeiten

- Verfüll- und Injektionsleistungen einschließlich der Festlegung der Verfüll-/Injektionstechnik (Drucklos/Niederdruck/Injektion);

- Messtechnische Überwachung insbesondere die Überwachung der Infrastruktur, Gebäude etc.;
- Verwahrung der Hohlräume:
 - Festlegung der Verwahrtechnologie,
 - Festlegung des Verwahrhorizontes,
 - Festlegung zur Gestaltung der Widerlager/Verwahrkörper;
- Verschließen ohne vollständige Verwahrung:
 - Errichten eines Dammbauwerkes,
 - Wasserwege/Beachtung der Einleitgenehmigungen.

Arbeitssicherheit und Umweltschutz

- Einhaltung gesetzlicher Vorgaben wie z. B. Arbeitsschutz gemäß ArbStättV/DGUV Vorschriften und Regeln, Immissionsschutz gemäß BImSchV, Naturschutz (NatSchG) etc.;
- Arbeiten in Bereichen mit Ausgasungen nach TRGS 900 (z. B. Radon, Kohlendioxid), Explosionsschutz (z. B. Methan, Wasserstoff) Betrachtung durch Sachverständigen;
- Arbeiten in kontaminierten Bereichen (z. B. TRGS 524, TRGS 402);
- Anzeige der Arbeiten bei der zuständigen Überwachungsbehörde.

Allgemeine Bedingungen

Das Leistungsverzeichnis und das abgefragte Mengengerüst bilden die kalkulatorische und planerische Grundlage für die Angebotserstellung. Zusätzlich können weitere Nachweise/Dokumente für die Eignungsbewertung der Firma gefordert werden. Hinweise zu möglichen Nachweisen liefert die im Anhang II zusammengestellten „ZUSATZINFO zu Nachweisen“.

4.5 Anforderungen an Versatz- und Verfüllbaustoffe

Entscheidend für das Erreichen des Sanierungsziels und die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ist neben der Wahl des geeigneten Versatzmaterials auch die Einbautechnologie.

4.5.1 Anforderungskriterien/ Genehmigungsfähigkeit

Vor dem Einbau von Versatz- und Verfüllbaustoffen werden die Anforderungskriterien in Abhängigkeit des vorgesehenen Sanierungsziels unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten festgelegt. Die Genehmigungsfähigkeit ist vor dem Hintergrund von Schutzgütern zu bewerten (Wasser, Naturschutz, Denkmalschutz etc.).

Die Anforderungskriterien beinhalten die Festlegung der mechanischen Eigenschaften (bei hydraulisch abbindendem Versatz: Eigenschaften im nichtabgebundenen und im abgebundenen Zustand) wie Verdichtungsgrad, Druckfestigkeit, Fließverhalten, sowie die chemischen Eigenschaften wie Temperaturentwicklung, Widerstand gegen aggressive Wässer des Versatzes. Weiterhin werden die einzuhaltenden Anforderungen bzgl. der Umweltverträglichkeit formuliert.



**„GEWALTIGE DIMENSIONEN
UND KOMPLEXE TECHNIK –
DAS IST MEIN METIER.“**

Fabian Andlauer, Projektleiter

Nachdem ich meine Abschlussarbeit bei Herrenknecht geschrieben hatte, war für mich klar, dass ich auch zukünftig hier arbeiten möchte. Als Projektleiter bin ich das Bindeglied zu unseren Kunden und begleite Projekte vom Start, bis zum erfolgreichen Durchbruch. Wer technisch geprägt ist, eigene Entscheidungen treffen und mit seiner Arbeit etwas leisten möchte, das einen Mehrwert schafft, der ist hier genau richtig.



**TRIFFT DIE BESCHREIBUNG AUF DICH ZU?
DANN KOMM IN UNSER TEAM!**

herrenknecht.com/karriere

4.5.2 Eignungsnachweis/ Qualitätssicherungsplan

Eignungsnachweis

Der Eignungsnachweis ist der Nachweis der Einhaltung der Anforderungskriterien für den vorgesehenen Versatzstoff.

Der Eignungsnachweis wird vor Baubeginn durch den Ausführenden vorgelegt und durch den Planer geprüft und bestätigt. Ggf. werden weitere Eignungsversuche an dem Versatzmaterial durchgeführt.

Qualitätssicherungsplan

Der Qualitätssicherungsplan umfasst die Festlegung aller Maßnahmen, die für die Überwachung der Einhaltung der vorgegebenen Anforderungen an den Versatz und des Einbaus notwendig sind.

Festlegung für die Güteüberwachung während der Einbauphase:

- Anforderungen an die Eigenüberwachung mit Benennung der Prüfverfahren und des Prüfumfanges;
- Anforderungen an die Fremdüberwachung mit Benennung der Prüfverfahren und des Prüfumfanges;
- Beschreibung der Überwachung der Stoffströme;
- Festlegung des Umfanges von Rückstellproben einschließlich Lagerungsdauer und –ort;
- Beschreibung der aus dem Bauablauf erforderlichen Überwachung (z. B. Verfüllgeschwindigkeit, Überwachung Verfüllgrad, Suspensionsdichtemessungen, magnetisch-induktive Durchflussmessungen).

4.5.3 Überwachung – Monitoring

Zur Sicherstellung einer zweckmäßigen Erkundungs- und Sanierungsdurchführung (z. B. Versatz, Aufwältigung, gezielte Ableitung von Grubenwässern) ist ein Bauablaufplan – unter Berücksichtigung von Randbedingungen zur Leistungs- und Terminkontrolle – zu erstellen. Der Bauablaufplan wird gemäß dem Erfüllungsstand und dem Bauablauf sowie den Erkenntniszuwachsen angepasst und fortgeschrieben. Er ist Gegenstand der Bauberatungen:

- Kontrolle der Sanierungsarbeiten, Qualitätssicherungsprogramm;
- Einhaltung der Arbeitsschutzrichtlinien;
- Kontrolle des Sicherheits- und Gesundheitsplanes des ausführenden Betriebes;
- Einhaltung der Sanierungstechnologien (z. B. Bohr- und Versatzverfahren);
- Einhaltung der vorgegebenen Örtlichkeiten (z. B. Versatz- und Bohransatzpunkte);
- Nivellement, Messmarken an Gebäuden, Rissmonitore für das Senkungsmonitoring u. a. während der Bohr- und Injektionsarbeiten;
- Kontrolle von Versatzaustritten (inkl. Dokumentation und Mengenerfassung);
- Ermittlung des Versatzgrades (theoretischer (rechnerische) Versatzgrad in %);
- Probenahme, Felduntersuchungen und Dokumentation:
 - Materialproben Herstellung Versatz,

- Wiegescheine/Lieferscheine/Aufmaße,
- Massenströme je Zeit (magnetisch-induktive Durchflussmessungen),
- Druckverläufe (bei hydraulischem Versatz), Lotungen,
- Geotechnische Untersuchungen Versatz (bei Zugänglichkeit, z. B. Lastplattenversuche),
- Kontrollbohrungen für organoleptische Ansprache und ggf. für Probenahme und Laboruntersuchungen,
- Nivellement, Risskontrollen;
- Laboruntersuchungen:
 - Chemische Untersuchungen (z. B. Deklarationsanalytik Versatzmaterial, Grubenwasseranalytik),
 - Geotechnische Untersuchungen (z. B. bodenmechanische Kennwerte).

4.6 Dokumentation und Monitoring

Das Markscheiderisch-Geotechnische Monitoring kann in allen Phasen eines Sanierungsprojektes von der Projektvorbereitung über die Ausführungsphase bis hin zur Nachsorge erforderlich sein.

4.6.1 Notwendigkeit des Monitorings

Mögliche Veranlassungen sind:

- Veränderungen an der Tagesoberfläche und im Untergrund, Gefährdungen und Umweltbeeinflussungen;
- Chancen-Risiken-Management;
- Qualitätssicherung von Baumaßnahmen und die Steuerung des Bauprozesses;
- Beweissicherung (ggf. in Verbindung mit einer Nullmessung/ Status-Quo-Messung);
- Kommunikation mit und Beteiligung von Betroffenen und Behörden;
- Dokumentation des Betriebszustandes von Flächen und Bauwerken;
- Beobachtung des Stilllegungs- und Nachbetriebszustandes.

Ein Monitoringkonzept ist aufgabenspezifisch zu entwerfen und beinhaltet die folgenden Komponenten (Rudolph, Yin & Goerke-Mallet 2023):

- Definition des Ziels des Monitorings in Übereinstimmung mit übergeordneten Zielen (z. B. behördliche Vorgaben und gesetzliche Regelungen);
- Festlegung der notwendigen Monitoringroutinen, -zeiträume (Regelmäßigkeit und Dauer), der Flächengröße und des Minimums der räumlichen Auflösung, unter Berücksichtigung der räumlich-zeitlichen Variation des Monitoringziels;
- Auswahl geeigneter Monitoringverfahren, d. h. der Kombination aus Messungen und statistischen Auswerteverfahren, unter Berücksichtigung von behördlichen Vorgaben, unternehmerischen Standards, Richtlinien und (Handlungs-) Empfehlungen;
- Definition von Warn- und Alarmwerten zur Bewertung der Ergebnisse;
- Definition von Aktions- und Reaktionsprozessen zur Rückkopplung in der Bereitstellung von Georessourcen (z. B. zeitliche Verzögerung in der Grundwassersümpfung von Tagebauen zur Verhinderung weiterer Bodenbewegungen).

4.6.2 Notwendige Design-Informationen

Zur Erstellung von Monitoringkonzepten sind Anforderungen zu spezifizieren. Diese beinhalten vor allem:

- räumliche Ausdehnung des Objektes, dessen Geometrie und dessen Einwirkungsbereich (räumliche Auflösung und Abdeckung);
- zeitlicher Horizont des Projektes (zeitliche Auflösung und Abdeckung);
- Zielgrößen und Zielparameter (Messauflösung und -bereich);
- Qualitätsanforderungen der Erfassung der Zielparameter hinsichtlich Genauigkeit (Präzision), Zuverlässigkeit und Irrtumswahrscheinlichkeit.

Der Einwirkungsbereich bezieht sich auf den Bereich, der durch das zu sanierende Objekt in seinen Eigenschaften oder seiner Funktionalität negativ beeinflusst werden kann.

Eine raum-zeitliche Abgrenzung ist zu Beginn des Projekts nicht immer möglich. Daher sind mehrere Phasen des Monitorings zu berücksichtigen und hierbei die Monitoringverfahren und Parameter anzupassen:

- Erkundungsphase, mit der Anwendung des initial festgelegten Monitorings über kurz- bis mittelfristige Zeiträume (Nullmessung);
- Erschließungsphase, mit der Auswertung der Ergebnisse der initialen Monitoringverfahren und Anpassung und/oder Erweiterung des Monitorings/der Monitoringparameter über mittelfristige Zeiträume;
- Produktionsphase, mit der optimalen Anwendung und Integration des Monitorings über mittel- bis langfristige Zeiträume;
- Abschlussphase, ggf. mit Reduktion des Monitorings auf ein notwendiges (genehmigungs-)rechtliches und technisches Minimum über langfristige Zeiträume und die finale Beendigung des Monitorings.

Die möglichen Zielgrößen umfassen für markscheiderisch-geotechnische Fragestellungen vor allem die Geometrie, Kinematik, Mechanik/Hydraulik, Geologie/Hydrogeologie, Metrologie, Geophysik, Umweltparameter und weitere anthropogene Einflussgrößen (z. B. andere Gewinnungsbetriebe, Grundwasserbewirtschaftung).

Als Zielparameter eignen sich in der Regel statistische Kennzahlen, z. B. der Mittelwert, die Varianz oder die Wahrscheinlichkeit der Über- oder Unterschreitung kritischer Grenzwerte.

Die Qualitätsanforderungen umfassen Genauigkeiten, Vertrauensintervalle oder Irrtumswahrscheinlichkeiten (Fehler 1. und 2. Art) im Fall des Änderungsmonitorings.

4.6.3 Messverfahren im Monitoring

Für Monitoring unterschiedliche Zielgrößen und Parameter stehen unterschiedliche Verfahren zu Verfügung:

Zielgröße (Parameter)	Auswahl möglicher Messverfahren im Monitoring
Geometrie (z. B. Abstand, Länge, Distanz, Koordinaten und deren Änderungen, Höhenunterschiede, Neigung).	Tachymetrie, GNSS, Laserscanning, Radarinterferometrie, Fotogrammetrie, Geometrisches Nivellement, Messpegel, Hydrostatische Setzungsmessungen, Extensiometer, Fissurometer, Konvergenzmessgeräte, Lote, Inklinometer, Dehnungsmesstreifen, faseroptische Systeme
Mechanik (z. B. Dehnung, Kraft, Spannung und Druck, Volumenstrom)	Kraftmessdosen, Messanker, Dehnungsmesssysteme, hydraulische Spannungsgeber, Spannungsdrukgeber, faseroptische Systeme
Metrologie (z. B. Niederschlag, Temperatur, Luftdruck, Volumenströme)	Verschiedene Messsysteme zur Erfassung der Wasser-, Boden-, Bauwerkstemperaturen, Bodenfeuchte magnetische-induktive Durchflussmessung, Ultraschalldurchflussmessgeräte, Beprobungen, Klimastationen
Geophysik (z. B. elektrischer Widerstand, Schwereanomalien)	(Mikro-) Seismik, Geoelektrik, Elektromagnetik, Georadar, Gravimetrie, Magnetik
Grund-/ Bergwasser	Wasserstandsmessungen, Durchflussmessungen, Analysen der Wasserchemie

4.6.4 Auswerteverfahren im Monitoring

Die Qualitätsbeurteilung der Monitoringverfahren erfolgt in der Regel hinsichtlich der Kriterien der raum-zeitlichen Auflösung, der Genauigkeit, Richtigkeit und Präzision.

Die Auflösung beschreibt dabei den kleinsten Zählbereich des Messverfahrens. Die Präzision ist ein Maß für die Streuung der Messwerte (zufälliges Messrauschen) um einen Mittelwert und die Richtigkeit ein Maß für die systematische Abweichung der Messwerte von einem wahren Wert. Die Genauigkeit betrachtet das Zusammenspiel zwischen zufälliger und systematischer Messunsicherheit.

Grundlage des mess- und auswertemethodischen Ansatzes des Monitoringkonzeptes bildet die Präzisions- und Richtigkeitsindizes der eingesetzten Monitoringverfahren. Unter Nutzung dieser und der statistischen Verfahren zur Messunsicherheitsanalyse nach GUM (JCGM 2008) können:

- im Sinne eines Voranschlages verschiedene Monitoringkonzepte verglichen und optimiert werden und
- nach der Messung die Messungsergebnisse statistisch analysiert werden.

Dieser Prozess beinhaltet im Wesentlichen wahrscheinlichkeitstheoretische und statistische Betrachtungen. Auf die Darstellung von Details wird hier verzichtet und auf die angegebenen Quellen verwiesen (JCGM 2008, DGGT AK 2.10 2022).

4.6.5 Dokumentation

Die im Rahmen von Monitoringprojekten erhobenen Daten, Berechnungs- und Ergebnisprotokolle sollten nach den Grundsätzen der Nachvollziehbarkeit, Transparenz, Richtigkeit und Eindeutigkeit

archiviert und notwendigen Sachverständigen erstellt und ggf. der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Es empfiehlt sich eine Zusammenstellung der Daten in einem (webbasierten GIS, welches als Informations- und Austauschplattform dient (ggf. auch für einen öffentlichen Beteiligungsprozess). Der Arbeitskreis Altbergbau schlägt folgende Mustergliederung eines Monitoringberichtes vor:

- Veranlassung;
- Zielsetzung;
- Ausgangssituation (inkl. Nullmessung, Status-Quo-Messung) und historische Situation sowie verfügbare, relevante offene Geodaten;
- Anforderungen an das Monitoring;
- Darstellung des Monitoringkonzeptes und der Zeitdauer;
- Beschreibung des Monitoringverfahrens und der Messmethodik/ des Messverfahrens;
- Beschreibung der Datenerfassung, -speicherung und -weiterverarbeitungsverfahren und Auswerteverfahren, Darstellung der Methode der zusammenfassenden Bewertung;
- Darstellung der einzelnen Monitoringergebnisse über die Zeit und ggf. Vergleich mit Prognosewerten sowie Darstellung und Interpretation von Veränderungen;
- Erläuterungen zu Optimierungen des Monitoringkonzeptes;
- zusammenfassende Bewertung der Objekt- und Flächenveränderungen;
- Schlussfolgerungen.

4.7 Anforderungen an den Abschlussbericht von Erkundungs- und Sanierungsarbeiten

Die Abschlussdokumentation bildet den Nachweis von durchgeführten Erkundungs- und Sanierungsarbeiten sowie die Grundlage für zukünftige Abschätzungen von Auswirkungen auf die Tagsoberfläche sowie von Risiko- und Gefahrenbewertungen. Auch werden mit der Abschlussdokumentation die erlangten Kenntnisse zu den altbergbaulichen Anlagen dokumentiert, archiviert sowie langfristig bewahrt und verfügbar gehalten. Hauptbestandteil der Abschlussdokumentation ist neben der Beschreibung und grafischen Darstellung die gutachterliche Bewertung der ausgeführten Maßnahme.

Eine Abschlussdokumentation ist grundsätzlich bei allen Maßnahmen an stillgelegten Grubenbauen bzw. unterirdischen Hohlräumen sowie Halden und Restlöchern anzufertigen und der zuständigen Behörde zu übergeben.

Bei einfachen Arbeiten, die keinen signifikanten Einfluss auf die altbergbauliche Situation haben, kann in Abstimmung mit der Bergbehörde die Abschlussdokumentation auf eine vereinfachte Form der Ergebnisdarstellung reduziert werden.

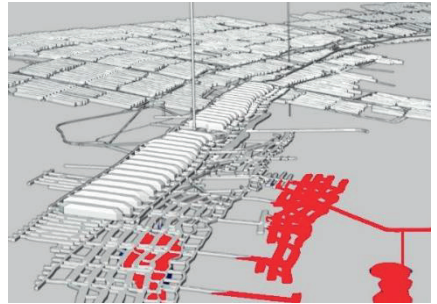
Die Anforderungen zur Erarbeitung des Abschlussberichtes ergeben sich aus der Mustergliederung (s. Anhang I). Die Stichpunkte der Aufzählung sind Merkpositionen, die anhand der konkreten Maßnahmendurchführung zu verifizieren und dann textlich zu untersetzen sind. Notwendige Risswerknachtragungen sind durch einen Markscheider zu prüfen und zu bestätigen. Die im Anhang I unterbreitete Mustergliederung ist nicht abschließend und kann bezüglich des jeweiligen Vorgangs ergänzt oder angepasst werden.

5 Ausgewählte Quellen

- DGGT AK 4.6 (2004): Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“- Veröffentlichung 4. Altbergbaukolloquium 04. bis 06.11.2004 in Leoben, Anhang, S. 1-23, Verlag Glückauf Essen.
- DGGT AK 4.6 (2020): Geotechnisch-markscheiderischen Untersuchung, Bewertung und Sanierung von alt bergbaulichen Anlagen – Empfehlungen des Arbeitskreises 4.6 „Altbergbau“
- DGGT AK 2.10 (2022): Empfehlungen des Arbeitskreises 2.10 – Geomesstechnik der DGGT
- TAS: Technische Anforderungen an Schacht- und Schrägförderanlagen – Stand: Dez. 2005
- BVOS – Bergverordnungen für Schacht- und Schrägförderanlagen der Länder. Z. B. Stand: 04.12.2033 (NRW), 15.10.2003 (Niedersachsen)
- DIN 1054 – Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Stand: Dez. 2010
- DIN 4020 – Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke– Stand Dez. 2010
- DIN 4118: Fördergerüste und Fördertürme für den Bergbau – Einwirkungen, Berechnungs- und Konstruktionsgrundlagen – Stand: Dez. 2018
- DIN EN ISO 9001 (2015) – Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen
- DIN EN 1997- Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik; Teil 1: Allgemeine Regeln und Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds – Stand: 2010

PLEJADES

Independent Experts



PLEJADES GmbH – Bergbau / Sanierung / Umwelt

Strategische Beratung, Konzepte und Studien, Prüfungen, Baubegleitung, Projektmanagement und Projektsteuerung sowie Schwerpunkt Altbergbau mit Bergbausanierung, Bergbaustilllegung, Bergbaunachnutzung

MUSTER-Inhaltsverzeichnis Abschlussbericht**I. Inhaltsverzeichnis****1. Veranlassung und Ziel der Maßnahme**

- Anlass des Tätigwerdens
- Kurzbeschreibung des Vorgangs
- Träger der Maßnahme und Beteiligte

2. Ausgangssituation/Grundlagenkapitel

- Darstellung der Lage und Morphologie des Bearbeitungsbereichs sowie Ortsangaben
- Darstellung der Regionalgeologie, der Beschreibung der geographischen Gegebenheiten
- Beschreibung der geologischen Gegebenheiten
- Deckgebirgs- und Nebengesteinsverhältnisse, der Lagerstätte, der Hydrogeologie sowie der Tektonik (Störungen)
- Beschreibung der geotechnischen und hydraulischen Gegebenheiten
- Darstellung der Deckgebirgsbeschaffenheit, der geotechnischen und hydraulischen Verhältnisse
- Beschreibung der bergbaulichen und -schadenkundlichen Gegebenheiten mit Darstellung:
 - bergbauhistorischer Abriss,
 - Berechtsamsverhältnisse,
 - Auffahrungs-, Ausbau- und ggf. Versatzverhältnisse,
 - Zustand des Objektes sowie der ggf. dazugehörigen bergbaulichen Tagesöffnung vor der Maßnahmendurchführung und der vorläufigen Risiko-/Gefährdungsbeurteilung
- Beschreibung der verwendeten Unterlagen:
 - Archivalien,
 - Grubenbilder,
 - Berechtsamsakten,
 - historischen Unterlagen etc.

3. Erkundungs- und Sanierungskonzept

- Beschreibung des vorgesehenen Programms der Risiko-/Gefahrenforschung oder der geplanten Maßnahme zur Risiko-/Gefahrenabwehr
- Zielstellung und Vorgehen zur Zielerreichung

4. Dokumentation der durchgeführten Erkundungs- u./od. Sanierungsarbeiten

- bauzeitlicher Maßnahmenüberblick und -ablauf
- Beweissicherung
- Art und Umfang der Erkundungsarbeiten
- Art und Umfang der Aufwältigungsarbeiten

- Art und Umfang der Sanierungsarbeiten
- Darstellung und Auswertung von Massenbilanzen
- Abweichungen von der vorgesehenen Maßnahmendurchführung
- Wiederherstellung der Tagesoberfläche
- Besonderheiten (z. B. Versatzaustritte, Tagesbrüche etc.)

5. Qualitätsüberwachung und -sicherung

- Kontroll- bzw. Nachweisbohrungen
- verwendete Baustoffe
- Baustoffprüfungen

6. Vermessungstechnische Aufnahme und Überwachungsprogramm

- Lage- bzw. Höhenmessungen oder Rissmonitoring
- gutachterliche Überprüfung

7. Geotechnisch-markscheiderische Einschätzung zur Nachnutzung des sanierten Bereiches

- Ergebnis der Maßnahme
- Markscheiderische Dokumentation (verwendete Festpunkte, Bezugssysteme (Lage, Höhe), Interpretation der Ergebnisse inkl. Einschätzung Genauigkeit des Risswerkes (Fehlbohrrate, Ursachen)
- Berechnung des Versatzfaktors
- Bewertung der dauerhaften Standsicherheit der Tagesoberfläche
- Abgrenzung Sanierungsumfang
- ggf. Angaben über den Verschluss von Tagesöffnungen
- Hinweise zur Folgenutzung (ggf. Nutzungseinschränkungen) und
- Risikoneubewertung inkl. Bewertung des Restrisikos
- Kontroll- und Wartungsregime

8. Zusammenfassung

II. **Abbildungsverzeichnis**

III. **Anlagenverzeichnis**

- Anlage 1: Topografische Übersichtskarte
- Anlage 2: Lagepläne entsprechend Blattschnitt (mit graphischer Darstellung des betroffenen Einwirkungsbereichs u. ggf. Risikobereiche)
- Anlage 3: Detaillagepläne/Darstellung im Risswerk:
 - Versatz, Risikobereich inkl. Risikoklasse nach der Maßnahme
 - Katastersituation und Besonderheiten
- Anlage 4: Schnitte mit Darstellung der technischen Maßnahmen
- Anlage 5: Fotodokumentation zur Maßnahme (objektbezogen) zur Beweissicherung (Ist-Situation Flächen, Besonderheiten (z. B. geotechn. Ereignisse, Versatzaustritte, ggf. Risse an Gebäuden infolge Sanierungsmaßnahme,

- End-Zustand Flächen)
- Anlage 6: Standsicherheitsnachweis oder statische Berechnungen bzw. Bohr- und Sondierverzeichnisse (inkl. Nachweis ordnungsgemäße Rückbau von Ausbauten und Bohrlochrückverfüllung)
- Anlage 7: Prüfberichte, Qualitätsnachweise, Produktdatenblätter sowie Probenahme- und Laborprotokolle
- Anlage 8: Abnahmeniederschrift
- Anlage 9: Vermessungsprotokolle einschließlich Skizzen

IV. Literaturverzeichnis/verwendete Unterlagen

V. Abkürzungen

Zusatzinfo zu Nachweisen**Zusatzinfo zu Nachweisen**

(Hinweis: Die Vorschläge sind projektbezogen anzupassen)

Nachweise der wirtschaftlichen und finanziellen Leistungsfähigkeit:

- Auszug aus dem Berufs- oder Handelsregister, nicht älter als 6 Monate;
- aktuelle Darstellung der Unternehmensstruktur sowie der gesellschaftsrechtlichen Verflechtungen und Beteiligungen;
- Bescheinigung der Anmeldung bei der zuständigen Berufsgenossenschaft,
- Erklärungen über (Nicht-)Vorhandensein von Insolvenz- oder ähnlichen Verfahren;
- Erklärungen über (Nicht-)Vorhandensein von Einträgen im Gewerbezentralregister.
- Zahlungsplan
- Zertifikate z. B. Qualitätsmanagement (ISO 9001). Arbeitsschutz (ISO 45001, SCC-Zertifizierung). Umweltschutz (ISO 14001)

Weitere Erklärungen, dass das Ingenieurbüro seinen unternehmerischen Verpflichtungen nachkommt, z.B. Zahlung von Sozialbeiträgen, Zahlung von Steuern, Gesamtumsatz des Unternehmens, Bankauskunft, Betriebshaftpflicht, können eingefordert werden.

Nachweise der technischen und beruflichen Leistungsfähigkeit:

- Referenzen aus der jüngeren Vergangenheit, z. B. der zurückliegenden 3 Jahre, mit vergleichbarer Größenordnung und Aufgabenstellung mit Kurzbeschreibung der erbrachten und abgeschlossenen Leistungen des Bewerbers: Erfolgs-/Pressemeldungen des Auftraggebers (z. B. Webseite, öffentliche Medien)
- Zusicherung des Bewerbers, dass er die geforderten Leistungen erbringen kann; Angabe der im Vergabefall am Projekt mitarbeitenden Personen des Bewerbers mit Stellung im Projekt: Name, Lebenslauf und Referenzen
 - Nachweis der Personalkapazität
 - Schulungsnachweise Personal (z. B. Weiterbildungszertifikate, Bohrgeräteschulung)
- Nachweise der vorgesehenen Geräte- und Maschinen
- Eignungsnachweise Baustoffe (Umweltverträglichkeit, mechanische Eigenschaften, Verfügbarkeit), ggf. Umgangsgenehmigung für radioaktive Stoffe,
- Eine Eigenerklärung, dass der Bewerber über ein Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9001 oder gleichwertig verfügt, kann möglicherweise auch gefordert werden.
- Bauablaufplan/Zeitplan

