

Mugova, E. & Wolkersdorfer, C. (2019): Dichteschichtung als potentielle In-situ-Behandlung von Grubenwasser in gefluteten Untertagebergwerken. Paper presented at the Bergbau, Energie und Rohstoffe 2019, Bochum, 2019-09-11 – 13. – p. 155-159; Clausthal-Zellerfeld (Technische Hochschule Georg Agricola, Deutscher Markscheider-Verein e.V.).

# Dichteschichtung als potentielle In-situ-Behandlung von Grubenwasser in gefluteten Untertagebergwerken

Elke Mugova<sup>1</sup>, Christian Wolkersdorfer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Technische Hochschule Georg Agricola, Forschungszentrum Nachbergbau, Bochum;

<sup>2</sup>South African Research Chair for Acid Mine Drainage Treatment, Tshwane University of Technology (TUT), Pretoria

## Zusammenfassung

Grubenwasser aus gefluteten Bergwerken ist oftmals ein Problem für Umwelt und Gesellschaft. Verschiedene aktive und passive Sanierungs- bzw. Grubenwasseraufbereitungsverfahren werden genutzt, um Schäden für Schutzgüter gering zu halten, wobei dies jedoch oft mit hohem finanziellem Aufwand verbunden ist. Dichteschichtung als natürliche In-situ-Behandlung könnte eine langfristige Lösung für geflutete Untertagebergwerke darstellen. Durch die Schichtung verbleiben höher mineralisierte Grubenwässer mit meist schlechterer Qualität in tieferen Bereichen des Grubengebäudes, oberflächennahe Grubenwässer weisen in der Regel eine bessere Qualität auf. Dies kann eine Minimierung oder den Wegfall der Grubenwasseraufbereitung zur Folge haben. Natürlich vorkommende Schichtung in gefluteten Untertagebergwerken ist ausführlich in der Literatur beschrieben. Eine künstlich beeinflusste Einstellung der Schichtung durch Hermetisierung oder Überschichtung mit Wasser geringerer Dichte ist Gegenstand der hier vorgestellten Forschungsarbeit.

## Abstract

Mine water from flooded mines often is a cause for environmental and social problems. Various active and passive remediation or treatment technologies are used to mitigate damage, although this is often associated with high financial costs. Density stratification could be used as a natural in-situ-mitigation method for flooded underground mines. Due to the occurrence of stratification, higher mineralized mine water of poorer quality remains in the deeper parts of the mine pool, while mine water closer to the surface usually exhibits better quality. Artificial stratification can result in a minimization or omission of mine water treatment. Although the explanation of naturally occurring stratification in flooded underground mines can be found in already existing literature, this research work investigates developing artificial stratification such as hermetic sealing or overlaying water of lower density.

## **1 Einleitung**

Nach Beendigung des aktiven Bergbaus steht das austretende Grubenwasser in vielen Bergwerken für die nächsten Jahrzehnte unter Beobachtung, teils muss eine aktive oder passive Reinigung des Grubenwassers durchgeführt werden. Um den Aufwand für die nachgeschaltete Grubenwasserreinigung zu minimieren oder komplett darauf verzichten zu können, sind Behandlungsmethoden notwendig, welche das Grubenwasser noch vor dem Austritt an die Tagesoberfläche beeinflussen. Als mögliche In-situ-Maßnahme ist die Nutzung von natürlich auftretender oder künstlich beeinflusster Dichteschichtung zwischen Wasserkörpern im gefluteten Untertagebergwerken denkbar. Höher mineralisiertes Wasser, welches meist eine schlechtere Qualität aufweist, kann im Grubentiefsten zurückgehalten werden. Bekannt aus Ozeanen und Seen wird Schichtung in gefluteten Untertagebergwerken seit den 1960er Jahren untersucht. Erkennbar durch Unterschiede in Temperatur oder elektrischer Leitfähigkeit lassen sich Schichtgrenzen identifizieren (Stuart und Simpson 1961). Eine genaue Vorhersage über deren Aufbau, Stabilität und Zusammenbruch ist gegenwärtig jedoch nicht möglich, wodurch die Vorteile einer Barrierewirkung nicht bewusst eingesetzt werden können. Ziel der Studie ist ein genaueres Verständnis der Mechanismen, die zur Schichtung in gefluteten Bergwerken führen, die Entwicklung eines Prognosetools und die Nutzung der Schichtung als In-situ-Behandlung von Grubenwasser.

## **2 Untersuchungsmethoden und Stand des Wissens**

Schichtgrenzen lassen sich durch Messungen der Temperatur und elektrischen Leitfähigkeit erkennen (Wolkersdorfer 2008). Ändern sich diese Parameter sprunghaft über eine kurze Distanz, ist eine Schichtgrenze vorhanden. Diese Tiefenprofilmessungen können mit der Probenahme von Wässern ergänzt werden, um anhand der chemische Zusammensetzung die Wasserkörper eindeutig voneinander abzutrennen. Bei den meisten Untersuchungen findet dadurch eine Momentaufnahme der vorhandenen Schichtung statt; langfristige Beobachtungen durch wiederholte Messkampagnen sind hingegen unüblich. Ein möglicher Zusammenbruch und Wiederaufbau der Schichtung oder eine Verschiebung der Schichtgrenze wird nur selten dokumentiert (Mugova und Wolkersdorfer 2018). Neben Tiefenprofilmessungen sind Kamerabefahrungen im gefluteten Schacht eine weitere Möglichkeit beispielsweise durch Änderung der Sichtbarkeit Schichtgrenzen zu erkennen (Snyder 2012). Mit Hilfe von Versuchsanlagen erzeugten Rüterkamp (2001) und Eckart et al. (2010) eine künstlich eingestellte Schichtung im Labormaßstab. Zum Verständnis der strömungsmechanischen Prozesse werden numerische Modellierungen ebenfalls als Untersuchungsmethode herangezogen. Czolbe et al. publizierten 1992 erste Ergebnisse zur numerischen Modellierung von Schichtung mittels Finite Differenzen Methode, später folgte Modellierung mittels Computational Fluid Dynamics (Eckart et al. 2010). Durch die verschiedenen Untersuchungsmethoden ließ sich ableiten, dass Schichtung sehr oft in Bereichen von Anomalien in der Schachtwandung, zum Beispiel angeschlossenen Sohlen auftritt. Die voneinander

durch Dichteunterschiede getrennten Wasserkörper sind in sich weitgehend homogen, da sie aus einzelnen Konvektionszellen bestehen. Getrieben durch den geothermischen Gradienten strömt das erwärmte Wasser durch geringe Dichten an der Schachtwand nach oben, kühlt sich dabei ab und wird durch das Erreichen einer Anomalie umgelenkt. Das nun kühlere Wasser sinkt in der Schachtmitte nach unten, eine Durchmischung und somit Homogenisierung wird innerhalb der Konvektionszelle erreicht (Coldewey et al. 1999). Ob und wie eine existierende Schichtung über einen längeren Zeitraum stabil bleibt, ist nicht weitergehend erforscht. Verschiedene Einflussfaktoren können zum Zusammenbruch dieser führen, beispielsweise durch Erdbeben oder Pumpaktivitäten (Mugova & Wolkersdorfer 2018). Zudem ist das Auftreten von Konvektionskreisläufen, beschrieben von Bau und Torrance (1981) und übertragen auf geflutete Untertagebergwerke von Wolkersdorfer (1996) möglich, was die Ausbildung einer stabilen Schichtung verhindert.

### **3 Dichteschichtung als potentielle In-situ-Behandlung**

Neben den bekannten Grubenwasserreinigungsanlagen sollte in Zukunft über weitere Möglichkeiten nachgedacht werden, die Auswirkungen des austretenden Grubenwassers so gering wie möglich zu halten. Die Nutzung von natürlich auftretender oder künstlich erzeugter Schichtung und der mit ihr einhergehenden Barrierewirkung birgt große Chancen, da eine effektive Beeinflussung des austretenden Grubenwassers erreicht werden kann. Bis jetzt ist es jedoch nicht möglich, die natürliche Entstehung von Schichtung zu prognostizieren. Auch werden in der Literatur nur Ideen beschrieben, wie diese künstlich zu beeinflussen wäre. Eckart et al. (2010), Kories et al. (2004) sowie Luckner und Morgenstern (2006) nennen die Überschichtung mit Wasser geringerer Dichte, auch Süßwasser genannt, als Variante geschichtete Wasserkörper einzustellen. Voraussetzungen sind dabei, dass die hydrodynamische Dispersion so klein wie möglich gehalten wird (Luckner und Morgenstern 2006). Die Frage wie die Überschichtung beispielsweise mit Infiltrationselementen praktisch umgesetzt werden soll, woher die Wasserzufuhr kommt und ob kontinuierlich Wasser zugeführt werden muss bleibt offen. Uerpman (1980) untersuchte theoretisch und im analogen Modell, wie sich die geometrischen Verhältnisse in einem gefluteten Untertagebergwerk auf die Schichtung und den Schadstoffaustrag auswirken können. Er kam zum Schluss, dass bei geeigneter Geometrie der Schadstoffaustrag deutlich minimiert werden kann. Eine andere Möglichkeit ist die horizontale oder vertikale Hermetisierung einzelner Abschnitte der Grubenbaue (Wolkersdorfer 1996). Durch den Bau von Verdämmungen kann die Ausbildung von Konvektionskreisläufen unterbunden werden, die Einstellung einer Schichtung ist möglich. Diese Hermetisierung muss allerdings bereits vor der Flutung in der Phase des Rückbaus erfolgen, im Falle einer horizontalen Abdichtung sollten Druckausgleichrohre eingebaut werden, welche nach abgeschlossener Flutung zu schließen sind. Obwohl in Wolkersdorfer (1996) beschrieben, kam diese Variante bislang nie praktisch zum Einsatz. Durch die Hermetisierung können Konvektionskreisläufe verhindert werden, in welcher Tiefe sich anschließend die Schichtung einstellt ist bis jetzt nicht prognostizierbar.

## 4 Ausblick

Um Schichtung als In-situ-Behandlung nutzen zu können, ist ein Prognosetool zur Vorhersage wo und wann sich Schichtung in einem gefluteten Untertageberwerk einstellen wird notwendig. Anhand von vorhandenen Daten zwischen Geometrie des Bergwerkers, beispielsweise der Anordnung von Strecken und Schächten und dem Auftreten von Schichtung sind kausale Zusammenhänge zu finden. Diese dienen zur Entwicklung von Beurteilungskriterien, mit welchen wiederum die Möglichkeiten einer Überschichtung oder Hermetisierung geprüft werden kann. Ob sich die Beurteilungskriterien nur auf kleinere Systeme wie Einschachtbergwerke sensu Wolkersdorfer (2006) oder auch auf komplexe Systeme wie miteinander verbundene Grubenbaue übertragen lassen, ist Gegenstand der aktuellen Forschung.

### Literaturverzeichnis

- Bau, H.H.; Torrance, K.E. (1981): Transient and steady behavior of an open, symmetrically-heated, free convection loop. In: International Journal of Heat and Mass Transfer 24(4), S. 597-609.
- Coldewey, W.G.; Hewig, R.; Richter, R.; Rüterkamp, P.; Wedewart, M. (1999): Mittelfristige Entwicklung des Chemismus und der Dichteschichtungen von Grubenwässern in Bergwerken und ihre Auswirkungen auf nutzbares Grund- und Oberflächenwasser. Essen: Deutsche Montan Technologie GmbH.
- Czolbe, P.; Kretschmar, H.-J.; Klafki, M.; Heidenreich, H. (1992): Strömungszellen im gefluteten Salzschant. In: Neue Bergbautechnik Zeitschrift für Bergbau Geowissenschaften 22(6), S. 213-218.
- Eckart, M.; Rüterkamp, P.; Klinger, C.; Kories, H.; Gzyl, G. (2010): Qualitätsentwicklung der Grubenwässer bei der Flutung von Steinkohlen- und Erzbergwerken. In: Merkel, B. [u.a.] (Hrsg.): Grubenwässer - Herausforderungen und Lösungen: Proceedingband zu dem Fachkolloquium im Rahmen des 61. Berg- und Hüttenmännischen Tages der TU Bergakademie Freiberg am 10. und 11. Juni 2010, Freiberg. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, S. 123-132.
- Kories, H.; Rüterkamp, P.; Sippel, M. (2004): Field and numerical studies of water stratification in flooded shafts. In: Jarvis, A.P. [u.a.] (Hrsg.): International Mine Water Association Symposium 2004, Newcastle upon Tyne. University of Newcastle, S. 149-159.
- Luckner, L.; Morgenstern, A. (2006): Grundlagen von Schichtungsprozessen in gefluteten Untertagebergwerken. In: World of Mining - Surface & Underground 58(5), S. 311-315.
- Mugova, E.; Wolkersdorfer, C. (2018): A review of mine water stratification. In: Meier, G. [u.a.] (Hrsg.): 18. Altbergbau-Kolloquium, IMG PAN, Bergwerk Wieliczka. Nossen: Wagner Digitaldruck und Medien GmbH, S. 125-132.

- Rüterkamp, P. (2001): Bildung von Dichteschichtungen in Grubenwässern. In: Glückauf-Forschungshefte 62(2), S. 40-44.
- Snyder, D. (2012): Vertical gradients in geochemistry of floded mine shafts in Butte, Montana. M.S. Ann Arbor: Montana Tech of The University of Montana.
- Stuart, W.T.; Simpson, T.A. (1961): Variations of pH with depth in anthracite mine-water pools in Pennsylvania; Article 37. In: U. S. Geological Survey Professional Paper, S. B82-B84.
- Uerpmann, E.-P. (1980): Hydrogeologische Fragen bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle, Unveröff. Diss. TU Clausthal, Clausthal.
- Wolkersdorfer, C. (1996): Hydrogeochemische Verhältnisse im Flutungswasser eines Uranbergwerks – Die Lagerstätte Niederschlema/Alberoda. Diss. TU Clausthal, Clausthal.
- Wolkersdorfer, C. (2006): ICARD 2006, Proceedings 7th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD), St. Louis., S. 2490-2501 [CD-ROM].
- Wolkersdorfer, C. (2008): Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines – Fundamentals, Tracer Tests, Modelling, Water Treatment. Heidelberg: Springer.