

## Temporäre Entwicklung der Dichteschichtung in einem gefluteten Bergwerksschacht eines Gold-Kleinbergbaus in Biberwier/Tirol

Christian Wolkersdorfer<sup>1,2</sup>, Elke Mugova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental, Water and Earth Sciences, Tshwane University of Technology, Private Bag X680, Pretoria, 0001, Südafrika; <sup>2</sup>Weidach 16, 6632 Ehrwald/Tirol; christian@wolkersdorfer.info, ORCID: 0000-0003-2035-1863

<sup>3</sup>Technische Hochschule Georg Agricola (THGA), Forschungszentrum Nachbergbau, Herner Straße 45, 44787 Bochum, Deutschland, elke.mugova@thga.de, ORCID: 0000-0001-6019-9945

### Zusammenfassung

Zur Untersuchung von Dichteschichtung in gefluteten Untertagebergwerken wurde der 10 m tiefe Nikolaus-Bader-Schacht in Biberwier/Tirol ausgepumpt und der darauffolgende Flutungsverlauf beobachtet. Nach kurzer Zeit bildete sich eine Dichteschichtung aus, welche im Herbst zusammenbrach und sich im Frühjahr erneut ausbildete. Datenlogger für Druck, Temperatur und elektrische Leitfähigkeit in vier verschiedenen Teufen des gefluteten Schachtes erlauben eine Langzeitüberwachung des Wasserkörpers, woraus Rückschlüsse über zeitliche Faktoren zur Ausbildung und Zusammenbruch von Dichteschichtung gewonnen werden können.

### Abstract

To investigate density stratification in flooded underground mines, the 10 m deep Nikolaus-Bader shaft in Biberwier/Tyrol was pumped out and the subsequent flooding process was observed. After a short time, a density stratification formed, which collapsed in autumn and built up again in spring. By means of data loggers for pressure, temperature and electrical conductivity in four different depths of the flooded shaft, a long-term monitoring of the water body is possible, from which conclusions can be drawn about temporal factors for the formation and collapse of density stratification.

### Einleitung

In den 1920er bis 1940er Jahre suchte der Lermooser Nikolaus Bader im Moränenmaterial des Fernpassbergsturzes nach Gold und teufte im Rahmen dieses Vorhabens einen 10 m tiefen Schacht nahe der Loisachquellen bei Biberwier ab. Da es nie zu einem großmaßstäblichen Goldabbau kam, geriet der abgeworfene und geflutete Schacht in Vergessenheit und wurde erst 1999 durch Recherchen im Archiv der ehemaligen Berghauptmannschaft in Innsbruck durch Armin Hanneberg wiederentdeckt (Wolkersdorfer et al. 2007). Seit 2004 finden regelmäßige Untersuchungen der Wasserqualität, sowie Tiefenprofilmessungen im Schacht statt. Dabei zeigte sich, dass es in verschiedenen Teufen zur zeitlich abhängigen Ausbildung und Zusammenbruch von Dichteschichtung kommt, deren Ursachen nicht bekannt sind. Schichtung von Grubenwasser ist für weltweite Grubenflutungen von Interesse, da stabile Schichtung den Aufwand bei der Grubenwasserreinigung vermindern kann (Wolkersdorfer 2008; 2017). Hochmineralisiertes und folglich meist stärker kontaminiertes Grubenwasser verbleibt in der Regel in tieferen Bereichen des Bergwerkes und relativ gesehen weniger mineralisiertes Grubenwasser tritt oberflächennah aus (Mugova und Wolkersdorfer 2019). Da die Prozesse zur Entstehung, Langzeitstabilität und Zusammenbruch von Schichtung in einem mehrere hundert bis tausend Meter tiefen Bergwerk nur unter schwierigen Bedingungen zu erforschen sind, wurde 2019 der Nikolaus-Bader-Schacht als Untersuchungsschacht für eine Langzeitbeobachtung ausgewählt.

## Untersuchungen

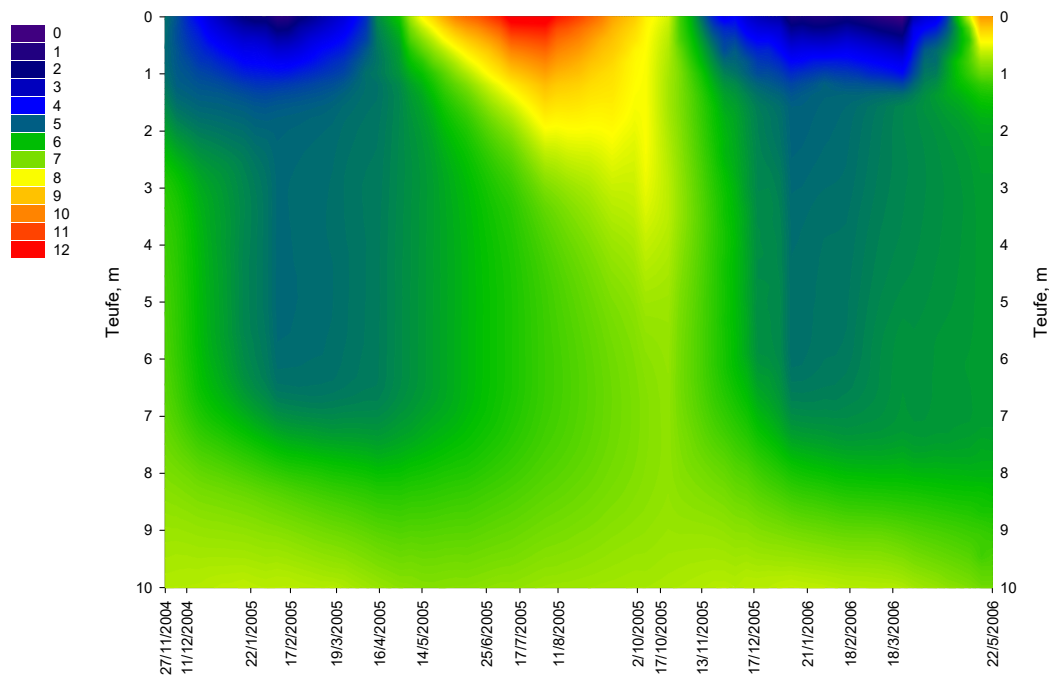
### **Beschreibung des Schachtes und vorangegangene Forschung**

Der nach dem Pharmazeuten, Bergmann und Geschäftsmann Nikolaus Bader benannte 2 × 2 m breite, 10 m tiefe und seit den 1930 Jahren geflutete Schacht befindet sich nahe der Loisachquellen bei Biberwier im Bezirk Reutte (Außerfern, Tirol) und wird durch anströmendes Grundwasser gespeist. Ein Wasseraustritt an der Tagesoberfläche ist nicht zu beobachten, sodass davon auszugehen ist, dass das Schachtwasser mit dem Grundwasser kommuniziert. Im Laufe des Versuchs zeigte sich, dass nur im Schachttiefsten Grundwasser einströmt und der alte Schachtausbau aus Holz hydraulisch weitgehend dicht ist. Im Bereich von Biberwier sind die mesozoischen Gesteine der Fernpassmulde von Material des Fernpassbergsturzes und Moränen (Till) bedeckt. Diese Moränen gehörten zu einem Gletscher, dessen Ursprung im Bereich der Schweitzer Alpen zu suchen ist, wodurch sich die Goldführung im Till erklärt (Eichhorn et al. 2017). Insgesamt liegen die Goldkonzentrationen jedoch unter der Bauwürdigkeitsgrenze, wie die Kommunikation von Nikolaus Bader mit den Behörden zeigt. Das Wasser aus dem Nikolaus-Bader-Schacht ist durch seine größere Verweil- und Kontaktzeit mit dem Geröll der Tomahügel und des Tills geringfügig höher mineralisiert als das der Loisach (Tabelle 1). Dies macht sich vor allem beim Calcium und beim Hydrogenkarbonat bemerkbar. Potenziell toxische Metalle sind im Wasser des Schachts nicht in erhöhter Konzentration enthalten; interessanterweise wies eine Wasserprobe aus dem Schachttiefsten Goldkonzentrationen über der Nachweisgrenze auf.

Teufelmessungen der elektrischen Leitfähigkeit und Temperatur, die hauptsächlich zwischen 2004 und 2006 in verschiedenen Teufen des Schachts durchgeführt wurden, zeigten eine Dichteschichtung, welche einer jahreszeitlichen Lageänderung unterliegt und teilweise ganz verschwindet (Abbildung 1). Im Mai 2019, direkt vor Beginn des Abpumpexperiments, konnte diese Dichteschichtung bestätigt werden.

**Tabelle 1:** Wasseranalysen aus dem Nikolaus-Bader-Schacht, der Loisach und der Trinkwasserfassung (2005 – 2020); EL: elektrische Leitfähigkeit; Redox: Redoxspannung korrigiert auf Standardwasserstoffelektrode

Parameter	Auslauf Trinkwasserversorgung Biberwier	Nikolaus-Bader- Schacht	Loisach ca. 300 m abstromig des Schachtes
pH, –	7,3 – 8,3	7,1 – 7,2	7,7 – 7,9
Redox, mV	62 – 436	64 – 383	62 – 426
EL, $\mu\text{S}/\text{cm}$	365 – 406	381 – 477	367 – 401
Temp, °C	7,5 – 8,7	5,7 – 9,2	7,6 – 9,1
Ca, mg/L	33 – 49	64 – 68	47
Mg, mg/L	23	16	24
Na, mg/L	0,6 – 1,3	0,4	1,3
K, mg/L	0,5	0,7	< 1
Cl, mg/L	4,7 – 7,4	1,1 – 3,9	7,4
HCO <sub>3</sub> , mg/L	174 – 210	240 – 255	220
SO <sub>4</sub> , mg/L	25 – 29	17 – 22	30
NO <sub>3</sub> , mg/L	1,2 – 1,4	1,0	1,2
U, $\mu\text{g}/\text{L}$	5,8 – 6,4	0,2 – 2,2	5,9



**Abbildung 1:** Temperatur-Teufen-Diagramm im Nikolaus-Bader-Schachte mit 18 teufenabhängigen Messungen zwischen November 2004 und Mai 2006.

### **Zweck des Experiments und Durchführung**

Um den Aufbau, Zusammenbruch und vor allem die Langzeitstabilität von Schichtung in gefluteten Bergwerksschächten zu verstehen, begann im Juni 2019 im Nikolaus-Bader-Schacht eine Langzeitbeobachtung des Wasserkörpers. Zunächst wurde mittels einer Tauchpumpe der Schacht in weniger als 3 Stunden bis auf wenige Zentimeter entwässert, wobei das abgepumpte Schachtwasser in die nahe gelegene Loisach eingeleitet wurde. Wie sich zeigte, wies die im Wasser konservierte historische Schachtverbauung einen sehr guten Zustand auf, was eine Sichtkontrolle und eine Befahrung mittels Kanalkamera ermöglichte. Seitlich strömte fast kein Wasser in den Schacht ein, sondern fast ausschließlich vom nicht verbauten Bereich im Schachttiefsten, der jedoch für die Schachtkamera nicht einsehbar war. Vor Beginn des Abpumpens wurden in vier verschiedenen Teufen (0,8 m, 2,5 m, 7 m und 8 m sowie für kurze Zeit auf 9,4 m) von Essen CTD-Diver Datenlogger eingebracht, deren Lage sich an den zuvor bestimmten Schichtgrenzen innerhalb des Wasserkörpers orientierten. In 15-Minuten-Intervallen werden die Messwerte elektrische Leitfähigkeit, Wassertemperatur und Druck aufgezeichnet und mittels Datenfernübertragung bereitgestellt. Zusätzlich werden die stündlichen Daten des ca. 5 km entfernten teilautomatischen Wettererfassungssystems (TAWES) in Ehrwald ausgewertet.

### **Ergebnisse und Diskussion**

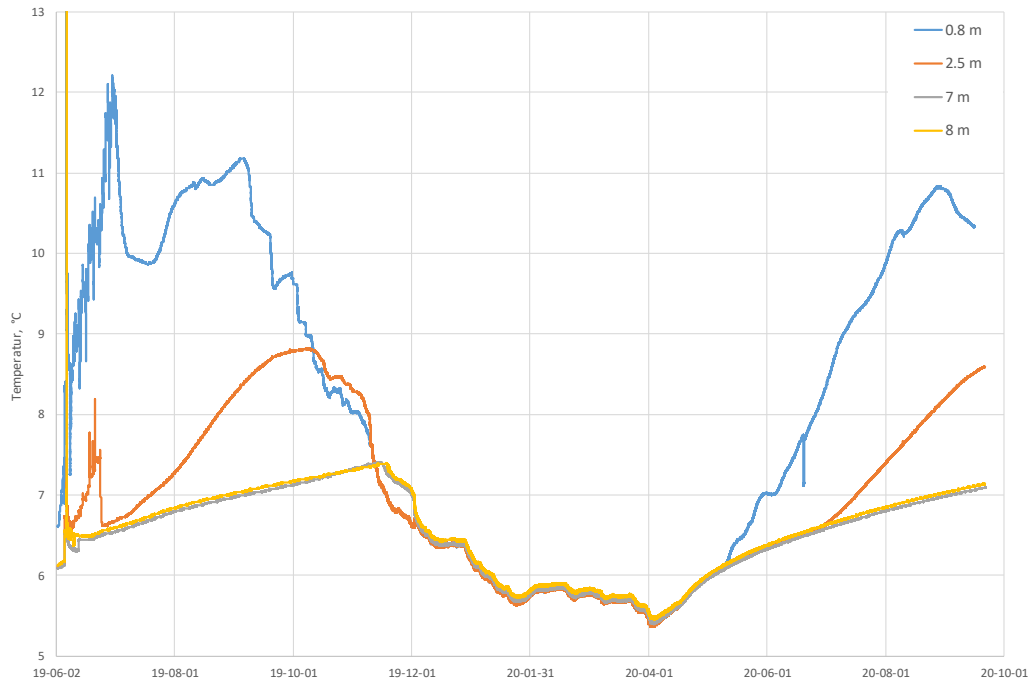
Nach Abstellen der Pumpen begann die sofortige Flutung des Schachtes in erster Linie durch Zuströme von Grundwasser im Schachttiefsten. Durch Extrapolation des Anstiegsvorganges ließ sich die Gesamtteufe des Schachts auf 9,6 bis 9,7 m schätzen. Vom ersten Datenlogger, der zunächst in 9,4 m Teufe installiert war, bis zum oberflächennahen Datenlogger in 0,8 m Teufe dauerte die natürliche Flutung ca. 25 Tage. Werden die Werte extrapoliert (10 m bis 0 m), ergibt sich eine Zeitspanne von 36 Tagen für die vollständige Flutung des Schachtes. Daraus können mittlere Anstiegsgeschwindigkeiten von 0,4 m/d (9,4 m bis 0,8 m) bzw.

0,3 m/d (10 m bis 0 m) errechnet werden, was mit den visuellen Beobachtungen am Flutungsbeginn übereinstimmt. Die Anstiegsgeschwindigkeiten variieren teufenabhängig, wobei größere Geschwindigkeiten bis 0,9 m/d in tieferen Bereichen auftreten, nahe der Tagesoberfläche aber bis auf weniger als 0,1 m/d zurückgeht. Eine mögliche Erklärung für diese Unterschiede ist im Flutungsprozess selbst und dem damit zuströmenden Wasser zu finden. Vermutlich besteht im Bereich zwischen 8,0 und 9,0 m ein verstärkter Wasserzufluss, womit das im Schacht ansteigende Wasser gespeist wird. Die Wassersäule im Schacht baut sich dadurch bis zu einer Teufe von ca. 2 m auf, jedoch wird ein weiteres schnelles Ansteigen des Wassers durch den Druck der Wassersäule verhindert. Im oberflächennahen Bereich strömt mit wesentlich geringeren Geschwindigkeiten Niederschlags- bzw. Infiltrationswasser seitlich in den Schacht, weshalb im oberen Schachtbereich die Anstiegsgeschwindigkeiten geringer sind. Anhand der berechneten Anstiegsgeschwindigkeiten wurden für den Zuflussbereich mittels  $k_f$ -Wert-Bestimmung für instationäre Pumptests  $k_f$ -Werte um  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s ermittelt, welche im Bereich von schwach durchlässigem Material liegen (Schluff bis schluffiger Sand). Dies bestätigt, dass der Bereich des zufließenden Grundwassers in Moränenmaterial liegt, was mit den historischen Angaben von Nikolaus Bader an die Bergbehörde und dem hydrogeologischen Gutachten von Schuch (1981) entspricht.

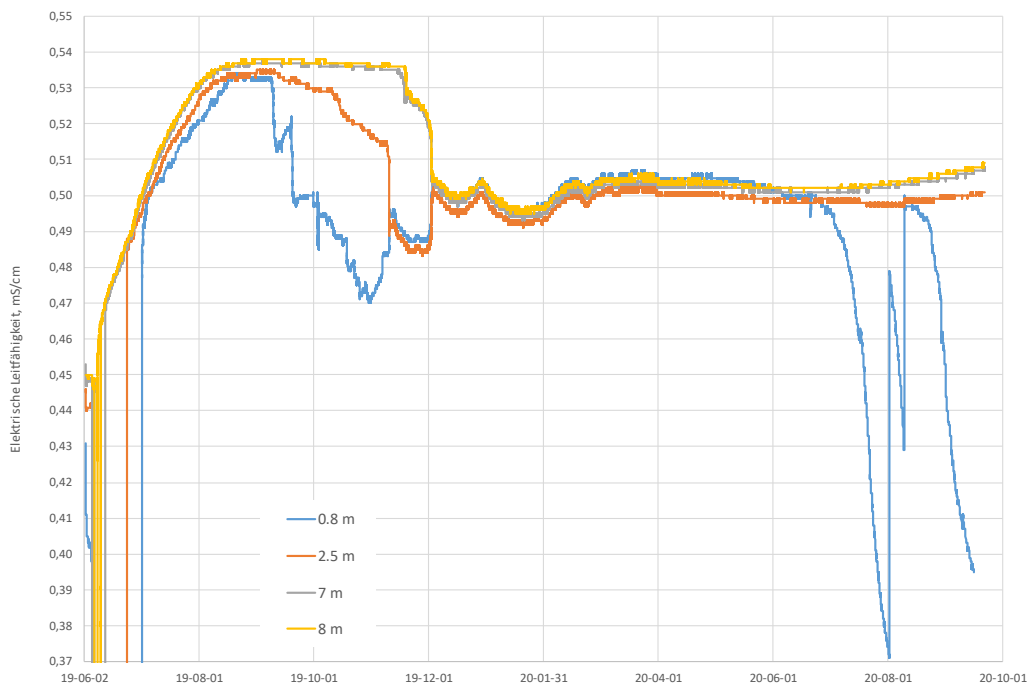
Ziel des Pumpversuch und der Flutung des Schachtes war zu überprüfen, ob sich die in früheren Untersuchungen angetroffenen Schichtgrenzen zwischen verschiedenen Wasserkörpern in 0,8 m, 2,5 m, 7,0 m und 8,0 m wieder ausbilden würden und ob diese stabil bleiben. Im zeitlichen Verlauf von Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit für die verschiedenen Teufen (Abbildung 2, Abbildung 3) ist vor allem bei 7,0 m und 8,0 m ein deutlich horizontaler Kurvenverlauf und eine Angleichung der beiden Kurven ca. 73 Tage nach Flutungsbeginn sichtbar. Für 16 Wochen ist die Schichtung stabil und weist im Bereich zwischen 7,0 und 8,0 m, sowie vermutlich darüber und darunter auf die Ausbildung eines homogenen Wasserkörpers hin. Deutliche Schwankungen der Temperatur und elektrischen Leitfähigkeit sind im oberflächennahem Wasserkörper (Datenlogger auf 0,8 m) erkennbar da der Kurvenverlauf bei 2,5 m, 7,0 m und 8,0 m gleichmäßiger ist. Am 12.10.2019 bricht die oberflächennahe Schichtung zusammen, ca. einen Monat später, ab dem 10.11.2019, existiert im Schacht keine Schichtung mehr, sondern nur noch ein homogener Wasserkörper mit gleicher Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit. Ab Mitte Mai 2020 ist im Temperaturverlauf, sowie weniger deutlich im zeitlichen Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit die erneute Ausbildung eines oberen, abgegrenzten Wasserkörpers erkennbar. Der mittlere Wasserkörper im Bereich des Datenloggers bei 2,5 m bildet sich Anfang Juli 2020 wieder aus; eine zweifache Schichtung im Schacht stellt sich ein. Folglich ließ sich die seit 2004 beobachtete Schichtung und deren Zusammenbruch bestätigen. Zudem konnte nachgewiesen werden, dass es zum Zusammenbruch aber auch wieder zur Neuausbildung von Schichtung innerhalb eines Jahres im Wasserkörper des Nikolaus-Bader-Schachtes kommt.

Nach Auswertung der Wetterdaten des TAWES am Standort Ehrwald scheint es einen Zusammenhang zwischen eintretendem Frost und dem Zusammenbruch der Schichtung zu geben. Anfang November 2019 brach die oberste Schichtung nach mehreren Stunden anhaltender Minusgraden ein, ein kompletter Zusammenbruch der Schichtung Anfang Dezember steht vermutlich ebenfalls in Verbindung mit anhalten Minusgraden und somit Frost. Eine mögliche Erklärung ist, dass durch niedrige Lufttemperaturen das infiltrierende und dem Schacht zuströmende Oberflächenwasser eine niedrige Temperatur aufweist und die

Dichteunterschiede im Schacht so gering sind, dass eine stabile Schichtung nicht aufrechterhalten werden kann. Um genauere Aussagen über Wasserwegsamkeiten im Anstehenden zu treffen, sollen geophysikalische Messungen im Umfeld des Schachtes durchgeführt werden.



**Abbildung 2:** Zeitlicher Verlauf der Temperatur im Nikolaus-Bader-Schacht in 0,8 m, 2,5 m, 7,0 m und 8,0 m (Ausschlag am 20.6.2020 ist auf einen Umbau des Loggers zurückzuführen)



**Abbildung 3:** Zeitlicher Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit im Nikolaus-Bader-Schacht in 0,8 m, 2,5 m, 7,0 m und 8,0 m Teufe.

## Schlussfolgerung

Aus den Langzeituntersuchungen am Nikolaus-Bader-Schacht sollen der Zusammenbruch und die Ausbildung von Dichteschichtungen näher untersucht werden, damit diese als in-situ Maßnahme für zukünftige Bergwerke, im Rückbau befindliche Bergwerke oder bereits geflutete Bergwerke verwendet werden kann. Nach dem Abpumpen des 10 m tiefe Nikolaus-Bader-Schachts bei Biberwier war dieser innerhalb eines Monats vollständig geflutet. Zwei Monate danach war wieder eine Dichteschichtung vorhanden. Vermutlich sind die niedrigen Temperaturen des zum Schacht zuströmenden Wassers nach einsetzendem Frost ursächlich für den Zusammenbruch der Schichtung. Mit Beginn der Frühlings- und Sommermonate bildet sich diese wieder aus. Wie die ersten Ergebnisse der Langzeitbeobachtung am Nikolaus-Bader-Schacht zeigen, lassen sich die Erkenntnisse auf tiefere Bergwerke übertragen, die im oberflächennahen Bereich ebenfalls von zuströmenden Oberflächenwasser beeinflusst sind und wo es ebenfalls zur Ausbildung und zum Zusammenbruch von Dichteschichtung kommt.

## Danksagung

Wir danken unseren Forschungseinrichtungen, vor allem dem Forum Bergbau und Wasser, für deren finanzielle Unterstützung. Außerdem gilt großer Dank an Armin Hanneberg, Jana Göbel, Werner Luttinger, Sabine Luttinger, Ulrike Wolkersdorfer, Erich Müller, Andreas Wolkersdorfer, Karoline Wolkersdorfer, Franziska Wolkersdorfer, Jochen Wolkersdorfer, Katrin Wolkersdorfer, Christian Eichinger, Marlen Scheibe, Christiane Neumann, Ellimaria Huusari, Petra Müller, Ana-Sophie Hensler, Daniela Riepl, Andreas Simmerl, Daniel Schreil, Daniel Bischof, Hendrik Klar, Christine Böhmer, Florian Heimann, Fabian Henkel, Constanze Putz und Felice Vogdt, welche über die Jahre zum Erkenntnisgewinn am Nikolaus-Bader-Schachtes beigetragen haben. Den lokalen Behörden und den Bürgermeistern von Biberwier sei für die langjährige ideelle Unterstützung und die zügige Genehmigung des Experiments in einem Trinkwasserschutzgebiet gedankt.

## Literatur

- EICHHORN, R., LEHRBERGER, G., LOTH, G., LOTH, R., PLASS, D., PÜRNER, T. & ROHRMÜLLER, J. (2017): Auf den Spuren des bayerischen Goldes – 20 Goldene Geotope. – 172 p., München (Bayerisches Landesamt für Umwelt).
- MUGOVA, E. & WOLKERSDORFER, C. (2019): Stratification in Flooded Underground Mines – State of Knowledge and Further Research Ideas. Paper presented at the Mine Water – Technological and Ecological Challenges (IMWA 2019), Perm, Russia. – p. 40–44; Perm, Russia (Perm State University).
- SCHUCH, M. F. (1981): Bericht über die Ergebnisse der Hydrogeologischen Untersuchungen im Bereiche des Weißen-, Mitter- u. Finstersees. – 14 p., 1 Abb., 8 Beil.; Innsbruck (Michael F. Schuch).
- WOLKERSDORFER, C. (2008): Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines – Fundamentals, Tracer Tests, Modelling, Water Treatment. – 465 p., 126 Abb., 34 Tab.; Heidelberg (Springer).
- WOLKERSDORFER, C. (2017): Mine Water Hydrodynamics, Stratification and Geochemistry for Mine Closure – The Metsämonttu Zn-Cu-Pb-Au-Ag-Mine, Finland. Paper presented at the IMWA 2017 – Mine Water & Circular Economy, Lappeenranta. – p. 132-139, 3 Abb., 1 Tab.; (Lappeenranta University of Technology).
- WOLKERSDORFER, C., GÖBEL, J., HASCHE-BERGER, A. & HANNEBERG, A. (2007): Führer zum Montan-Wanderweg Silberleithe. – 79 p., 128 Abb.; Biberwier (Bergwerksverein Silberleithe Tirol).