

Geothermisches Potenzial von Grubenwässern und Herausforderungen der Anlagentechnik

Geotermický potenciál důlních vod a technologické výzvy

Konferenzband zur 2. Fachkonferenz des Projektes GeoMAP

Freiberg 26. November 2019



Herausgeber: Lukas Oppelt, Sebastian Pose, Kristina Kaplin, Thomas Grab, Tobias Fieback



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.



technische
THERMO
DYNAMIK



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg V A / 2014 – 2020



Inhaltsverzeichnis

Rejstřík

GeoMAP	4
Projektpartner Partneři projektu	6
Webseiten Webové stránky	7
Chemisches und thermisches Potential von Bergbauwasser Chemický a termický potenciál důlních vod <i>Prof. Dr. habil. B. Merkel</i>	8
Preventing calcite precipitation in deep geothermal energy plants <i>Msc.-Ing. A. Arab et al.</i>	25
Erdwärmesonden, Grundwasserwärme-pumpen und Grubenwasser – geo-thermische Nutzungsmöglichkeiten in Sachsen und deren Besonderheiten Geotermální sondy, tepelná čerpadla podzemní vody a důlní vody - geotermické možnosti využití v Sasku a jejich specifika <i>Dipl.-Geoökol. K. Hofmann</i>	33
GeoMAP-Projektvorstellung: Modellierungs-, Visualisierungs- und Prognosewerkzeuge zur Darstellung von Bergbaufolgen und Nachnutzungspotenzialen Představení projektu GeoMAP: Modelovací, vizualizační a prognostické nástroje pro zobrazování důsledků těžby a potenciálů nového využití <i>M.Sc. P. Ernst et al.</i>	46

Wärmeübertragerversuchsstand zur In-Situ-Untersuchung von potentiellen Geothermie-standorten	
Mobilní zkušební tepelný výměník pro výzkumy potenciálních lokalit pro využití geotermální energie in-situ	
<i>M.Sc. S. Pose et al.</i>	58
Methoden der Erkundungsarbeiten auf rekultivierten Flächen nach dem Bergbau	
Metody průzkumných prací na rekultivovaných územích po hornické činnosti	
<i>doc. Ing. M. Klempa, Ph.D. et al.</i>	83
Grubenwassergeothermieranlagen in Freiberg und Ehrenfriedersdorf	
Zařízení pro geotermální využití důlních vod ve Freiberg a Ehrenfriedersdorfu	
<i>Dipl.-Wi.-Ing L. Oppelt et al.</i>	101
Chemismus der Ablagerungsbildung an Wärmetauschern bei der Grubenwassernutzung	
Chemismus vytváření usazenin na tepelných výměnících při využívání důlních vod	
<i>Dipl.-Ing. (FH) M. Grimmer et al.</i>	115
Möglichkeiten der Nutzung des auf die Oberfläche gehobenen Grubenwassers im Ostrau-Karwiner Bergbaurevier (OKD)	
Možnosti využití důlních vod čerpaných na povrch v OKR	
<i>doc. Ing. Jindřich Šancer, Ph.D.</i>	131

GeoMAP

Die Durchführung des Projektes GeoMAP wird durch das Kooperationsprogramm Freistaat Sachsen – Tschechische Republik 2014 – 2020 im Rahmen der europäischen territorialen Zusammenarbeit aus dem Europäischen Fonds für Regionalentwicklung gefördert. An der Umsetzung des Projekt GeoMAP arbeiten das Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, die TU Bergakademie Freiberg und die TU Ostrava gemeinsam. Die TU Bergakademie Freiberg ist zur Bearbeitung mit dem Lehrstuhl für Technische Thermodynamik und dem Lehrstuhl für Gebirgs- und Felsmechanik vertreten.

Das Projekt GeoMAP wird im Zeitraum 01/2019 bis 12/2020 durchgeführt und dient dem Erfahrungsaustausch über geowissenschaftliche Methoden und Modellierungen als die wesentliche Grundlage für weitumfassende Betrachtungen in Bergbau- und Bergbaufolgegebieten.

Die Stilllegung und Flutung vieler Tief- und Tagebauanlagen stellt alle Beteiligten vor große Herausforderungen. Das Heben und Senken des Erdbodens sowie Grund- und Oberflächenwasserverschmutzung sind oft die Folge und nicht zu

Realizace projektu GeoMAP probíhá za finanční podpory Programu spolupráce na podporu přeshraniční spolupráce mezi Českou republikou a Svobodným státem Sasko 2014 – 2020 v rámci Evropské územní spolupráce a financována je z dotačních prostředků Evropského fondu pro regionální rozvoj. V rámci realizace projektu GeoMAP spolupracují Saský zemský úřad pro životní prostředí, zemědělství a geologii, Technická univerzita - Báňská akademie ve Freibergu a Technická univerzita v Ostravě. Technická univerzita - Báňská akademie ve Freibergu je zastoupena katedrou technické termodynamiky a katedrou mechaniky hornin.

Projekt GeoMAP je realizován v období 01/2019 až 12/2020 a slouží k výměně informací o geovědních metodách a modelování jako zásadním podkladu pro komplexní řešení v těžebních oblastech a v oblastech, ve kterých byla těžba zastavena.

Zastavení těžby a zatopení čtyř hlubinných a povrchových dolů klade na všechny zapojené instituce velké požadavky. Častým důsledkem, který nelze podceňovat, jsou pohyby terénu a znečištění povrchových a podzemních vod. Za účelem spojení kompetencí bude projektem česko-saské



unterschätzen. Zur Verknüpfung der Kompetenzen wird durch das sächsisch-tschechische Kooperationsprojekt GeoMAP die Untersuchung des Grund- und Grubenwasseranstiegs, sowie die Möglichkeit der Grubenwassernutzung untersucht. Im Rahmen dieses Projekts werden die Auswirkungen in den Bergwerksgebieten im sächsischen Revier Lugau/Oelsnitz sowie im tschechischen Most untersucht.

Zu den wichtigsten Aktivitäten des Projektes gehören:

- Durchführung von 4 Projektinternen Workshops zum Erfahrungs- und Wissensaustausch
- Durchführung von 4 öffentlichen Fachkonferenzen für alle interessierten Personen und Organisationen
- Erstellung von 3 Ausstellungs- und Demonstrationsobjekten
- Netzwerkarbeit zur langfristigen Bewältigung des Grubenwasseranstiegs in Altbergbaugebieten

Ein wichtiger Teil dieses Projekts ist die Zusammenarbeit der einzelnen Projektpartner und der Aufbau eines Netzwerkes um die Herausforderungen in den Bergbaufolgelandschaften langfristig erfolgreich zu gestalten.

spolupráce GeoMAP sledován nárůst hladin podzemní a důlních vod a možnosti využití důlních vod. V rámci tohoto projektu budou vlivy těchto procesů sledovány v těžebních oblastech saského revíru Lugau/Oelsnitz a v českém Mostě.

Mezi hlavní aktivity projektu patří:

- Realizace 4 interních workshopů pro výměnu informací a znalostí,
- Realizace 4 veřejných odborných konferencí pro všechny zájemce a organizace,
- Zpracování 3 výstavních a demonstračních objektů,
- Síťová práce pro dlouhodobé řešení nárůstu hladin podzemních vod v oblastech stařin.

Důležitou součástí tohoto projektu je spolupráce jednotlivých partnerů projektu a vytvoření sítě pro úspěšné řešení výzev v oblastech, ve kterých byla zastavena těžba.

Projektpartner

Partneři projektu

**Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie (LfULG)**

**Zemský úřad pro životní prostředí,
zemědělství a geologii**

LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



TU Bergakademie Freiberg

**Technická univerzita - Báňská
akademie Freiberg**

Lehrstuhl für technische Thermodynamik

Katedrou technické termodynamiky

Lehrstuhl für Gebirgs- und Felsmechanik

Katedra mechaniky hornin



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.



technische
THERMO
DYNAMIK



Technische Universität Ostrava

Technická univerzita v Ostravě

VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



- 6 -



technische
THERMO
DYNAMIK

Webseiten

Webové stránky

TU Bergakademie Freiberg
Technická univerzita -
Báňská akademie Freiberg



DE:
<https://geothermie.iwtt.tu-freiberg.de/projektbeschreibung.html>

CZ:
https://geothermie.iwtt.tu-freiberg.de/geomap-projektbeschreibung_cz.html

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft
und Geologie (LfULG)
Zemský úřad pro životní prostředí,
zemědělství a geologii



DE:
<https://www.geomap.sachsen.de/>

CZ:
<https://www.geomap.sachsen.de/cz/index.html>

Chemisches und thermisches Potential von Bergbauwasser

Chemický a termický potenciál důlních vod

Prof. Dr. habil. Broder Merkel

TU Bergakademie Freiberg – merkel@geo.tu-freiberg.de

1. Grundlagen

Bergbauwasser ist oberirdisches Wasser oder Grundwasser, das durch Bergbau in seiner Fließbewegung, seiner Chemie und/oder seiner Temperatur beeinflusst worden ist. Diese Beeinflussung kann sehr gering sein, sodass eine Unterscheidung von natürlichem Wasser kaum möglich ist. Andererseits kann aber die Beeinflussung auch massiv ausfallen und die Eigenschaften des Bergbauwassers hinsichtlich Fluidodynamik, Wasserchemie und Korrosionseigenschaften grundlegend ändern. Dies sind drei Punkte, die bei einer Nutzung von Bergbauwässern zu beachten sind.

Der Begriff „Potential“ im Titel dieses Beitrages versteht sich einerseits im Hinblick auf das wirtschaftliche Potential der Nachnutzung dieser Wässer nach einer aktiven Bergbauphase. Dieses wirtschaftliche Potential kann sich nur auf die nutzbare Wärmekapazität des Wassers beziehen oder aber zusätzlich auf ausgewählte Wasserinhaltsstoffe, die dem Bergbauwasser entzogen

1. Výchozí situace

Důlní vody jsou povrchovou nebo podzemní vodou, jejíž tok, chemické složení a/nebo teplota byla ovlivněna důlní činností. Toto ovlivnění může být velmi nízké, v důsledku čeho téměř není možné rozlišit důlní a přírodní vody. Míra ovlivnění však může být i masivní a zásadně změnit vlastnosti důlních vod z hlediska dynamiky proudění, chemického složení a korozivních vlastností. To jsou tři body, ke kterým je třeba v případě využití důlních vod přihlédnout.

Pojem „potenciál“ v názvu tohoto příspěvku odkazuje na ekonomický potenciál využití těchto vod po ukončení aktivní fáze důlní činnosti. Tento ekonomický potenciál se může týkat pouze tepelné kapacity vody, nebo ale navíc i vybraných látek, obsažených ve vodě, které lze vodě odebrat nebo využívání těchto vod pro jiné účely (pitná voda, užitková voda, zavlažování atd.). Jak odebírání tepla vodě, ale především získávání určitých látek, ve vodě obsažených [1], nebo jiná forma

werden können oder seine Nutzung für andere Zwecke (Trinkwasser, Brauchwasser, Bewässerung etc.). Sowohl der Entzug von Wärme aber vor allem die Gewinnung bestimmter Inhaltsstoffe [1] oder die sonstige Nutzung erfolgt vor allem unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten.

Andererseits kann in bestimmten Fällen auch die Verhinderung einer Kontamination der Umwelt durch Wärme und im Wasser enthaltenen Inhaltsstoff die Motivation für die Durchführung einer Maßnahme sein. Ebenso ist eine Kombination von unterschiedlichen Beweggründen denkbar. Zusätzlich ist die Frage des Korrosionspotentials von Bergbauwässern zu sehen, denn dieses kann dazu führen, dass Werkstoffe (insbesondere Metalle und Beton) durch das Bergbauwasser angegriffen werden. Umgekehrt kann es auch zu unerwünschten Ausfällungen aus Bergbauwasser zum Beispiel an Messgeräten, Rohrleitungen, Pumpen oder Wärmetauschern kommen. So gesehen kann der Begriff Potential auch in dem Sinne verstanden werden, welche potentiellen Schäden durch Bergbauwässer entstehen können.

Der Begriff Thermodynamik wird im folgenden ausschließlich im Sinne der chemischen Thermodynamik verstanden, also der mathematischen Beschreibung chemischer

využití, je realizováno především z ekonomických hledisek.

Motivací pro realizaci některého opatření však může v určitých případech být i zabránění kontaminaci životního prostředí teplem a látkami, obsaženými ve vodě. Stejně tak je ale možná i kombinace různých důvodů. Kromě toho je ale třeba přihlídnout ke korozivnímu potenciálu důlních vod, důsledkem kterého totiž může být agresivita důlní vody vůči materiálům (především kovy a beton). Opačně ale může docházet k nežádoucímu srážení důlních vod například na měřicích prvcích, v potrubí, čerpadlech nebo tepelných výměnících. Z tohoto pohledu lze pojem „potenciál“ chápat rovněž ve smyslu toho, jaké potenciální škody mohou důlní vody způsobit.

Pojem „termodynamika“ bude následně používán pouze ve smyslu chemické termodynamiky, tedy matematického popisu chemické rovnováhy jako specifického stavu chemické kinetiky.

Gleichgewichte als spezieller Zustand der chemischen Kinetik.

2. Hydraulische Veränderungen

Durch den Abbau von Bodenschätzen (und Abraum) durch Bergbau im Tagebau entstehen Defizite, die nach dem Wiederaufstieg zu Tagebaurestseen werden und einen nachhaltigen Einfluss auf das Grundwasser haben. Der Grundwasserspiegel, der vor dem Tagebau eine quasi kontinuierliche Neigung in Fließrichtung zeigte, weist nach dem Tagebau einen stufenartigen Verlauf auf, weil im Bereich der künstlichen Seen der Wasserspiegel kein Gefälle hat. Dieses hat zum Teil erhebliche Konsequenzen auf den Abstand des Grundwassers zur Geländeoberfläche.

Beim tiefen Bergbau wird weniger Abraum aus einem Bergwerk transportiert; dennoch entstehen hier Schächte und horizontale Auffahrungen (Strecken) sowie Bereiche der Auserzungen, die teilweise mit Versatz gefüllt wurden. Diese bergmännischen Tätigkeiten führen ebenso zu einer signifikanten Veränderung der Grundwasserströmung nach der Flutung eines Bergwerkes (Abb.1). Das hat wiederum Konsequenzen auf Hydraulik, Chemismus des Wassers und Wärmeaustrag. Durch die signifikante Erhöhung der Wegsamkeiten gibt es

2. Hydraulické změny

Těžbou surovin (a skrývky) v povrchových lomech vznikají deficit, z nichž se po opětovném nárůstu stávají jezera, a mají stálý vliv na podzemní vodu. Hladina podzemní vody, která před otevřením povrchového dolu vykazovala průběžný sklon ve směru proudění, vykazuje po důlní činnosti stupňovitý průběh, protože v oblasti umělých jezer nemá vodní hladina žádný spád. To vede ke zčásti významným důsledkům na vzdálenost hladiny podzemní vody od povrchu terénu.

V případě hlubinné těžby je z dolu odváženo méně skrývky, i přesto zde však vznikají šachty a horizontální ražby (chodby) a oblasti, z nichž byla ruda vytěžena a které byly zčásti vyplněny základkou. I tyto důlní aktivity mají za následek signifikantní změnu proudění podzemní vody po zaplavení dolu (obr. 1). To má vliv na hydrauliku, chemické složení a tepelný výkon. V důsledku signifikantního zvýšení možnosti proudění existuje podobně jako v oblasti povrchových dolů změna sklonu povrchu podzemní vody a změněná výměna tepla s horninou v důsledku zvýšeného průtoku vody upřednostňovanými cestami proudění (obr. 1). Díky tomu jsou staré zatopené

ähnlich wie im Bereich von Tagebauten Veränderungen der Neigung der Grundwasseroberfläche und einen veränderten Wärmeaustausch mit dem Gestein durch einen erhöhten Wasserdurchfluss auf bevorzugten Fließbahnen (Abb. 1). Das führt dazu, dass alte geflutete tiefe Bergbaugebiete aufgrund der hohen Durchströmungsraten potentielle Gebiete für geothermische Wärmenutzung sind. Andererseits kühlt sich der Untergrund aber auch vergleichsweise schneller ab, wenn nur die durch den Bergbau entstandenen Hohlräume durchströmt werden. Dadurch kann die Nutzungszeit entsprechend verkürzt sein. Eine Erkundung und Modellierung gefluteter Bergwerke im Hinblick auf die Durchströmung und die Abkühlung des Gesteins in Abhängigkeit von den durchströmten Strecken des Netzwerkes (Grundwasserleiter mit doppelter Porosität) und der entzogenen Wärmemenge ist daher notwendig. Bei der numerischen Modellierung solcher Systeme muss berücksichtigt werden, dass die Strömung aufgrund unterschiedlicher Temperaturen und Salzgehalte des Bergbauwassers dichtegetrieben sein kann und daher ein geeigneter mathematische Ansatz verwendet werden muss.

oblasti dolů z důvodů vysoké míry průtočnosti potenciálními oblastmi pro geotermické využití. Na druhou stranu se ale podloží poměrně rychleji ochladí, pokud jsou voda protéká pouze prostory, které vznikly v důsledku důlní činnosti. Doba, po kterou je možno tyto prostory takto využívat, se tím může odpovídajícím způsobem zkrátit. Z těchto důvodů je nutný průzkum a modelování zatopených důlních děl s ohledem na proudění vody a ochlazování hornin v závislosti na protékaných chodbách (kolektor s dvojitou porózitou) a odebraném teple. V případě numerického modelování těchto systémů je nutno zohlednit skutečnost, že proudění může být poháněno hustotou v důsledku rozdílných teplot důlních vod a obsahu v nich rozpuštěných solí a že je proto tedy nutno použít jiný matematický postup.

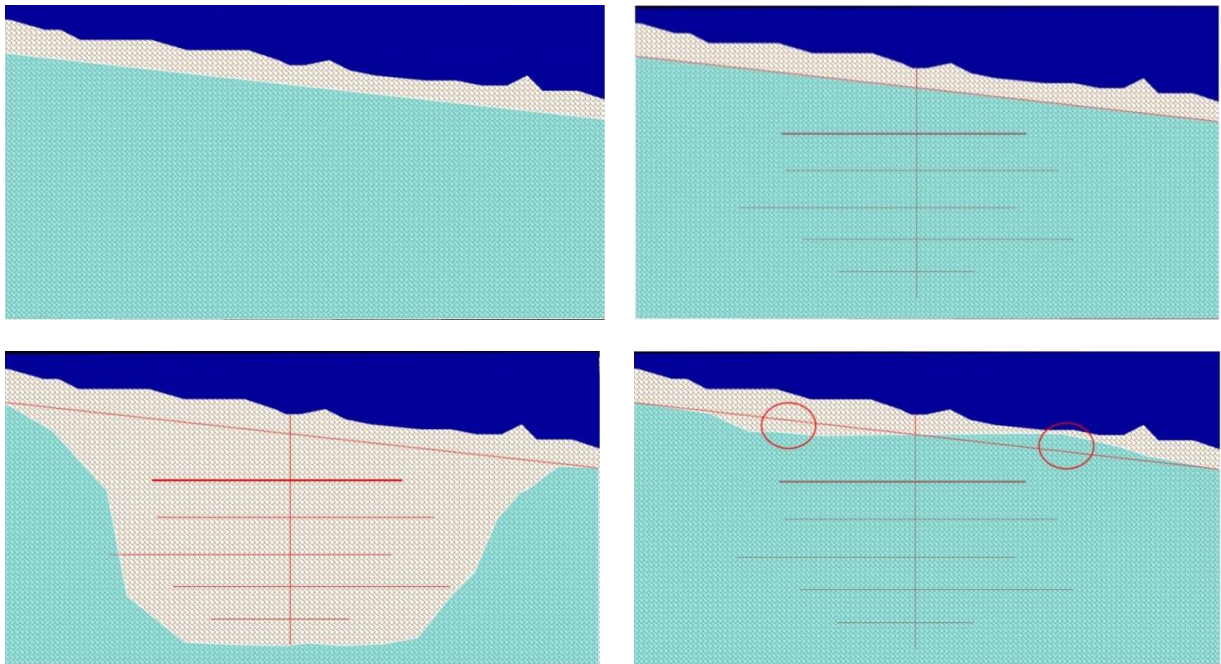


Abb. 1 Veränderungen im tiefen Bergbau. Geringes Gefälle im Bereich der gefluteten Grube durch hohe Fließgeschwindigkeiten und Fließen auf bevorzugten Wegen (oben links: Zustand vor Bergbau; unten rechts Zustand nach Flutung des Bergbaubetriebes). Eine Folge kann ein schnelles Abkühlen des Gesteins um die bevorzugten Fließbahnen sein. Der Aspekt dichtegetriebener Strömung ist in dieser Abbildung ebenso wenig wie doppelte Porosität berücksichtigt.

Obr. 1 Změny v hlubinné těžbě. Nízký spád v oblasti zatopeného dolu v důsledku vysoké rychlosti proudění a proudění v upřednostňovaných průtokových cestách (vlevo nahoře: stav před důlní činností; dole vpravo stav po zatopení dolu). Důsledkem může být rychlé ochlazení horniny a upřednostňované průtokové cesty. Aspekt proudění, poháněného hustotou, je na tomto obrázku zohledněn stejně málo, jako dvojí porozita.

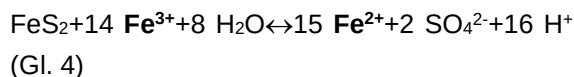
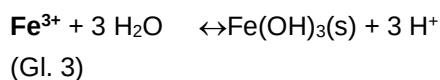
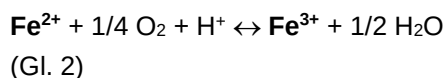
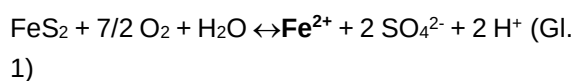
3. Chemische Charakterisierung des Bergbauwassers

Die bekannteste und folgenreichste chemische Veränderung des Grundwassers weltweit in Bergbaubetrieben ist mit der Oxidation sulfidischen Mineralen (z. B. Pyrit) verbunden. Diese wird ausgelöst durch die Absenkung des Grundwassers und der damit verbundenen Zufuhr von atmosphärischer Luft in Bereiche, die

3. Chemické vlastnosti důlních vod

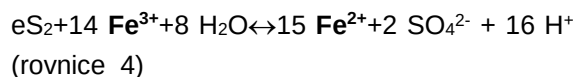
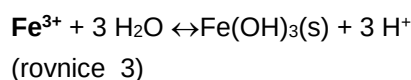
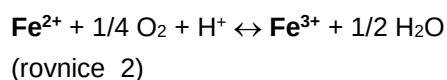
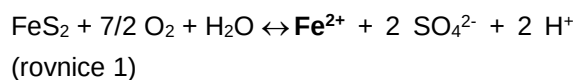
Celosvětově nejznámější a nejzávažnější chemické změny podzemní vody v hornických oblastech jsou spojeny s oxidací sulfidických minerálů (například pyritu). Tato oxidace je vyvolána poklesem hladiny podzemní vody. V důsledku toho se do oblastí, které byly před zahájením důlní činnosti zaplaveny podzemní vodou nebo u nichž byl vyloučen aktivní

vor dem Bergbau durch Grundwasser bedeckt waren oder zumindest von einem aktiven atmosphärischen Kontakt ausgeschlossen waren. Der in der Atmosphäre mit 21 Vol% enthaltene Sauerstoff triggert die Sulfid Oxidation (Gl. 1), die sich dann vereinfacht über drei weitere Reaktion (Gl.2 bis 4) fortsetzt.



Aus den Gl. 2 bis 4 ist unschwer zu erkennen, dass die weitere Oxidation von Sulfid durch Eisen in der Oxidationsstufe drei (Fe^{III}) erfolgt. Dies sind Reaktionen, die wie auch die Oxidation in Gl. 1 durch Mikroorganismen mehr oder weniger beschleunigt werden. Die direkte Folge der 4 Reaktionen sind niedrige pH Werte (auch negative pH Werte sind möglich [2]) und erhöhte Sulfat-Konzentrationen des Bergbauwassers. Eine weitere - oft visuell erkennbare Folge- sind rote Eisenhydroxid-Ausfällungen, die der geringen Wasserlöslichkeit von $\text{Fe}(\text{OH})_3$ geschuldet sind. Nicht direkt sichtbar ist, dass saure Wässer sehr gut weitere Minerale lösen können. Die Folge sind

atmosphärischer Kontakt, dostane vzduch. 21% kyslíku, obsaženého v atmosféře, vyvolá oxidaci sulfidů (rovnice 1), která pak zjednodušeně pokračuje třemi dalšími reakcemi (rovnice 2 až 4)



Z rovnic 2 až 4 lze snadno odvodit, že další oxidace sulfidu probíhá díky železu ve třetím stupni oxidace (Fe^{III}). Jedná se reakce, které stejně jako oxidace v rovnici 1 jsou více či méně urychlovány mikroorganismy. Příčinným důsledkem těchto čtyř reakcí jsou nízké hodnoty pH (možné jsou i negativní hodnoty pH [2] a zvýšené koncentrace síranů v důlní vodách. Dalším, často vizuálně patrným důsledkem, jsou červené sraženiny hydroxidů železa, které jsou způsobeny nízkou rozpustností $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ve vodě. Co již není přímo patrné je skutečnost, že kyselé vody mohou velmi dobře obsahovat další minerály. Důsledkem jsou často zvýšené koncentrace kovů (například Mn, Pb, Cd, Ni, Zn, Cu, Al). Zvýšený obsah arzénu je většinou způsoben oxidací arzenopyritu (FeAsS).

somit oft erhöhte Metall-Konzentrationen (z.B. Mn, Pb, Cd, Ni, Zn, Cu, Al). Erhöhte Arsengehalte sind meist der Oxidation von Arsenopyrit (FeAsS) geschuldet.

Eine wichtige Konsequenz aus den niedrigen pH-Werten von Bergbauwässern sowie deren oft besondere Zusammensetzung ist der Fakt, dass die klassisch definierte Alkalinität (Säureneutralisations-Kapazität der Kohlensäure) von Wasser über die Titration mit einer Säure auf pH 4,3 zu falschen Ergebnissen führt. Vielmehr ergibt sich das Neutralization Potential NP für Bergbauwässer aus Gl. 5 (ergänzt nach [3]):

$$NP = 2 (\text{CO}_3^{2-}) + \text{HCO}_3^- + \text{OH}^- - \text{H}^+ - \text{HSO}_4^- - 2\text{Mn}^{2+} - 2\text{Fe}^{2+} - 2\text{Cu}^{2+} - 3\text{Al}^{3+} - \text{HUS}^1$$

(Gl. 5)

(alle Konzentrationen in mmol/L)

Als Konsequenz aus Gl. 5 kann die HCO_3^- -Konzentration in typischen Bergbauwässern nicht mittels Titration der Alkalinität bestimmt werden. Die beste und fast einzige Alternative ist die Bestimmung des TIC (Total Inorganic Carbon) mithilfe eines TIC/DOC Analysators. Dabei wird eine Wasserprobe zunächst auf einen pH-Wert < 2 angesäuert und der gesamte anorganische Kohlenstoff in gasförmiges $\text{CO}_{2(g)}$ umgewandelt. Das CO_2 wird anschließend mittels eines

Důležitým důsledkem nízkých hodnot pH důlních vod a jejich často specifického složení je skutečnost, že klasicky definovaná alkalita (kapacita kyseliny uhličité k neutralizaci kyselin) vody nad titrací s kyselinou na pH 4,3 vede k chybným výsledkům. Neutralizační potenciál důlních vod vyplývá spíše z rovnice 5 (doplněno podle [3]):

$$NP = 2 (\text{CO}_3^{2-}) + \text{HCO}_3^- + \text{OH}^- - \text{H}^+ - \text{HSO}_4^- - 2\text{Mn}^{2+} - 2\text{Fe}^{2+} - 2\text{Cu}^{2+} - 3\text{Al}^{3+} - \text{HUS}^1$$

(rovnice 5)

(všechny koncentrace v mmol/L).

Důsledkem rovnice 5 je skutečnost, že koncentraci HCO_3^- v typických důlních vodách nelze určit pomocí titrace alkality. Nejlepší a téměř jedinou alternativou je určení TIC (Total Inorganic Carbon) za pomoci analyzátoru TIC/DOC. Přitom je hodnota pH vzorku vody nejprve nastavena na hodnotu < 2 a veškerý anorganický uhlík přeměněn na plynný $\text{CO}_{2(g)}$. CO_2 je následně pomocí inertního plynu ze vzorku vytěsněn a změřen v detektoru NDIR² jako TIC (C v mg/L). Po provedeném měření je odplyněný vzorek vody buď spálen, nebo promíchán se silným oxidačním činidlem. Tím dojde k přeměně obsaženého uhlíku rovněž na $\text{CO}_{2(g)}$ a jak bylo shora popsáno je v rámci druhého měření určen DOC. Z TIC a

¹ HUS steht für Huminstoffe = HUS představuje huminové látky

Inertgases aus der Probe ausgetrieben und in einem NDIR² Detektor als TIC (C in mg/L) gemessen. Ist diese Messung erfolgt, wird die entgaste Wasserprobe entweder verbrannt oder mit einem starken Oxidationsmittel versetzt und somit der enthaltene organische Kohlenstoff ebenfalls in CO_{2(g)} umgewandelt und wie oben beschreiben in einer zweiten Messung der DOC bestimmt. Aus dem TIC und dem pH-Wert werden dann über das thermodynamische Gleichgewicht die CO₃²⁻ + HCO₃⁻ -Konzentrationen berechnet (Gl.5). Die anderen Wasserinhaltsstoffe in Gl. 5 müssen natürlich ebenfalls analytisch bestimmt werden.

Bergbauwässer müssen aber nicht zwingend sauer sein. Dies kann daran liegen, dass in dem betreffenden Gebiet entweder keine Sulfide als Minerale vorliegen oder aber es sich um tiefe Grundwässer handelt, die noch nicht mit atmosphärischem Sauerstoff in Berührung gekommen sind. Grundwässer und Bergbauwässer, die aus tiefen Grundwasserleitern stammen, sind an niedrigen (negativen)

z hodnoty pH jsou pak pomocí termodynamické rovnováhy vypočteny koncentrace CO₃²⁻ + HCO₃⁻ (rovnice 5). Ostatní ve vodě obsažené látky v rovnici 5 musejí být samozřejmě určeny analyticky.

Důlní vody ale také nemusejí být nutně kyselé. To může být způsobeno tím, že v dotčené oblasti se žádné sulfidy jako minerály nevyskytují, nebo se jedná o hlubokou podzemní vodu, která se ještě nedostala do kontaktu s atmosférickým kyslíkem. Podzemní vody a důlní vody, které pocházejí z hlubokých zvodní, lze rozeznat díky nízkým (negativním) hodnotám ORP³ a nízké koncentraci kyslíku. U těchto vod existuje v případě jejich termického využití riziko, že se voda dostane do kontaktu s kyslíkem a v důsledku toho pak dojde k velmi rychlému vysrážení železa a manganu ve formě (hydro)oxidů železa a manganu. K těmto problémům dochází rovněž tehdy, pokud jsou důlní vody oxidované pouze částečně (kinetický efekt) nebo pokud se jedná o smíšené vody. Přesná znalost chemického složení vody jednotlivých přítoků a zvodní v celém systému z prostorových a časových hledisek je bezpodmínečně nutná k tomu, aby bylo možno zamezit různým překvapením při tepelném využívání důlních vod.

² Nicht-dispersiver Infra-Rot Detektor (meist mit zwei Wellenlängen, wodurch eine eindeutige Erkennung von CO₂ neben anderen Infra-Rot aktiven Gasen möglich ist = Nedisperzivní infračervený detektor (většinou se dvěma vlnovými délkami, to umožňuje jednoznačnou identifikaci CO₂ kromě jiných infračerveně aktivních plynů).

ORP³-Werten und geringen Sauerstoff-Konzentrationen erkennbar. Bei solchen Wässern besteht bei einer thermischen Nutzung die Gefahr, dass das Wasser im Zuge der Nutzung mit Sauerstoff in Kontakt kommt und es dann sehr schnell zu einer Ausfällung von Eisen und Mangan in Form von Eisen- und Mangan(hydro)oxyden kommt. Zu solchen Problemen kommt es auch, wenn Bergbauwässer nur teilweise oxidiert sind (kinetischer Effekt) oder es sich um Mischwässer handelt. Eine genaue Kenntnis der Wasserchemie einzelner Zuflüsse und der Grundwasserleiter im gesamten System unter räumlichen und zeitlichen Gesichtspunkten ist somit unabdingbar, um Überraschungen im Betrieb einer Wärmenutzung von Bergbauwasser zu vermeiden.

4. Korrosion und Scalings

Korrosion von Werkstoffen im Kontakt mit Wasser ist ein Thema in Bezug auf Bauwerke und Maschinen, das im Zusammenhang mit der Nutzung von Bergbauwasser zu berücksichtigen ist. Dabei sind einerseits Metalle und

4. Koroze a scaling

Koroze materiálu v kontaktu s vodou je téma, které se týká stavebních objektů a strojů a které je v souvislosti s využíváním důlních vod nutno zohlednit. Zohlednit je třeba na jednu

³ ORP steht für Oxidation Reduction Potential und wird im Feld mit einer Elektrode ähnlich wie der pH-Elektrode gemessen. Dabei wird Platin normalerweise als Indikatorelektrode genutzt und Ag/AgCl als Referenzelektrode. Dieser Wert muss dann auf den eH-Wert bei 25°C umgerechnet werden (Potenzial bezogen auf SHE (Standard Hydrogen Elektrode)), um Werte verschiedener Redox-Elektroden und Wässer unterschiedlicher Temperaturen miteinander vergleichen zu können. Leider wird manchmal das Umrechnen vergessen oder es werden die Begriffe verwechselt.=

ORP značí oxidačně redukční potenciál a je měřen v poli elektrodou, podobně jako elektroda pH. Přitom je jako indikátorová elektroda běžně používána platina a Ag/AgCl jako referenční elektroda. Aby bylo možno vzájemně porovnávat hodnoty různých redukčních elektrod a vody o různých teplotách, je nutno tuto hodnotu poté nutno přepočítat na hodnotu eH při 25°C (potenciál vztažen na SHE (Standard Hydrogen Elektrode)), Bohužel se někdy na tento přepočet zapomíná nebo dochází k záměně pojmů.

andererseits Zement und Beton zu berücksichtigen. Ein sehr wichtiger Aspekt sind auch die Aspekte von zusätzlichen Parametern, die dazu führen, dass man in Abhängigkeit von den Werkstoffen zwischen Flächenkorrosion, Lochkorrosion und Spannungs-Schwingungsrissskorrosion unterscheiden muss.

Auch Kunststoffe sind keineswegs inert gegen Korrosion; so ist z. B. Acrylglas anfällig gegenüber Spannungsrissskorrosion, GfK-Laminat bezüglich Osmose [4] und PVC versprödet insbesondere unter UV-Strahlung. Nahezu alle Kunststoffe unterliegen zudem mikrobieller Korrosion. Eine eingehende Betrachtung der Korrosion und Alterung aller Kunststoffe würde den Umfang dieser Abhandlung sprengen.

Die Korrosion von Metallen ist extrem vom Metall und der Metalllegierung abhängig (Eisen, Stahl, Kupfer, Aluminium etc.). Für fast alle Metalle und Metalllegierungen gilt aber, dass die folgenden Parameter des Wassers im Kontakt mit dem Material einen Einfluss haben: pH, Temperatur, Gasgehalte (O_2 , CO_2 , N_2 , H_2 , NH_3 , SO_2 , H_2S und intermediäre Phasen zwischen SO_2 und H_2S), im Wasser gelöste Anionen (Cl , SO_4 , NO_3 , NO_2 , HCO_3) und auch Si sowie einige Spurenmetalle, organische Komponenten incl.

strany kovy a na druhou stranu cement a beton. Velmi důležitým aspektem jsou i hlediska dodatečných parametrů, které vedou k tomu, že je v závislosti na materiálu nutno rozlišovat mezi plošnou korozi, důlkovou korozi, vločkovou korozi, případně vytvářením trhlin v materiálech v důsledku kmitů.

Ani umělé hmoty nejsou v žádném případě vůči korozi rezistentní. Například akrylátové sklo je náchylné na vločkovou korozi, GfK laminát ve vztahu k osmóze [4] a PVC zkréhne především pod UV-zářením. Kromě toho podléhají téměř všechny umělé hmoty mikrobiální korozi. Komplexní popis koroze a stárnutí všech umělých hmot by přesáhl rozsah tohoto příspěvku.

Koroze materiálů závisí extrémně na kovech a jejich slitinách (železo, ocel, měď, hliník atd.). Téměř pro všechny kovy a jejich slitiny však platí, že vliv mají následující parametry vody v kontaktu s materiálem: pH, teplota, obsah plynů (O_2 , CO_2 , N_2 , H_2 , NH_3 , SO_2 , H_2S a intermediální fáze mezi SO_2 a H_2S), ve vodě rozpuštěné anionty (Cl , SO_4 , NO_3 , NO_2 , HCO_3) a rovněž Si a některé stopové kovy, organické komponenty včetně detergentů a mikroorganismů (především bakterií a řas). Obecně platí, že vyšší hodnoty (například teploty) a vyšší koncentrace korozi podporují více. Nicméně existují i

Detergentien und Mikroorganismen (vor allem Bakterien und Algen). Generell gilt, dass mit höheren Werten (z.B. der Temperatur) und höheren Konzentrationen die Korrosion stärker gefördert wird; aber es gibt auch Abweichungen davon. Beim pH-Wert steigt das Korrosionsrisiko meist mit kleineren Werten, aber dies ist nur der pH-Skala geschuldet. Wichtig ist auch, dass bei der Bewertung nicht nur einzelne Parameter und deren Konzentration singulär betrachtet werden; es muss vielmehr die Kombination von verschiedenen Parametern berücksichtigt werden (z. B. pH, Biofilme und die Konzentrationen von H_2S und Cl , sowie Spannungen im Werkstoff bzw. Inhomogenität im Werkstoff), da sich die jeweiligen Effekte nicht-linear beeinflussen können. Eine rein thermodynamische Betrachtung ist in vielen Fällen nicht sinnvoll. Dies erschwert die Evaluierung, weil für kinetische gesteuerte Prozesse oft keine ausreichenden Daten (Reaktionsraten) für kinetische Modelle zur Verfügung stehen und somit Versuche dann unabdingbar sind.

Normaler Beton enthält Zement ($3 \text{ CaO} \cdot 2 \text{ SiO}_2 \cdot 3 \text{ H}_2\text{O}$) als Bindemittel und Gesteinspartikel einer bestimmten Kornzusammensetzung. Vielfach ist Beton auch ein Verbundwerkstoff durch Kombination mit einer zugfesten

odchylky. V případě hodnoty pH stoupá riziko koroze většinou spolu s nižšími hodnotami, to je však zapříčiněno pouze stupnicí pH. Důležité je při hodnocení nesledovat samostatně pouze jednotlivé parametry a jejich koncentrace, spíše je nutno zohlednit kombinaci různých parametrů (například pH, biofilm a koncentrace H_2S a Cl , napětí v materiálu, případně nehomogenity v materiálu), protože příslušné efekty se mohou ovlivňovat nelineárně. Čistě termodynamický pohled v mnoha případech nemá smysl. To ztěžuje vyhodnocení, protože pro kineticky řízené procesy často nejsou k dispozici dostatečná data (rychlost reakce) pro kinetické modely a zkoušky se tak stávají nezbytnými.

Normální beton obsahuje cement ($3 \text{ CaO} \cdot 2 \text{ SiO}_2 \cdot 3 \text{ H}_2\text{O}$) jako pojivo a částice látek pro určitou zrnitost. Beton je často kompozitním materiálem díky kombinaci s pevným armováním (například z oceli nebo také z umělohmotných, textilních či skleněných vláken). V případě koroze betonu a cementu, způsobené důlní vodou, je nutno sledovat jednak korozi betonu jako takového, ale na druhou stranu i korozi armování. Beton má sklony k vytváření jemných vlásenkových trhlin, které se v důsledku „uvolňujícího“ a „rozvolňujícího“ působení mohou časem rozšiřovat a

Bewehrung (z. B. aus Stahl oder auch Kunststoff-, Textil oder Glasfasern). Bei der Korrosion von Beton und Zement durch Bergbauwasser muss somit einerseits die Korrosion des Betons an sich aber andererseits auch die der Bewehrung betrachtet werden. Beton neigt zur Bildung von feinen Haarrissen, die sich durch „lösenden“ und „treibenden“ Angriff (Terminologie der Bauindustrie) mit der Zeit erweitern können und den Beton und die Bewehrung sukzessive schädigen können.

Für einen „lösenden“ Angriff sind vor allem Säuren verantwortlich während für den „treibenden“ Angriff neben der sprengenden Wirkung von gefrorenem Wasser (Frost) vor allem die Bildung von Gips bzw. Ettringit eine Rolle spielt. Für die Bildung von Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) und Ettringit ($3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{CaSO}_4 \cdot 32 \text{H}_2\text{O}$) [5] sind die Konzentrationen von Ca, SO_4 und Al im Wasser die entscheidenden Konzentrationen. Insbesondere der SO_4 -Gehalt ist in der DIN EN 206-1/DIN 1045-2 das entscheidende Kriterium mit Expositionsgrenzwerten von 600 bzw. 1500 mg/L und erfordert die Verwendung speziellen Betonarten mit hoher Dichtigkeit. Bei SO_4 -Werten $> 1500 \text{ mg/L}$ wird eine Mischung von Zement und Flugasche verwendet. Ein typisches Bergbauwasser als Folge der Pyrit Verwitterung hat somit aufgrund

postupně poškodit beton i armaturu.

Příčinou jsou především kyseliny, případně kromě trhacího působení zmrzlé vody (mráz) především vytváření sádry, případně etringitu. Rozhodující koncentrace pro vytváření sádry ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) a etringitu ($3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{CaSO}_4 \cdot 32 \text{H}_2\text{O}$) [5] jsou koncentrace Ca, SO_4 a Al ve vodě. Především obsah SO_4 je v normě DIN EN 206-1/DIN 1045-2 rozhodujícím kritériem s limitními hodnotami expozice 600, případně 1500 mg/L a vyžaduje použití specifických druhů betonu s vysokou hustotou. V případě hodnot $\text{SO}_4 > 1500 \text{ mg/L}$ se používá směs cementu a popílků. Typické důlní vody mají v důsledku zvětvávání pyritu z důvodů kyselé hodnoty pH a vysokého obsahu SO_4 jak potenciál uvolňující, tak rozvolňující. Důlní vody jako takové mají sice pouze málokdy dostatečně vysokou koncentraci k tomu, aby umožnily vytváření sádry, nicméně koncentrace Ca se může v důsledku uvolňování betonu na kontaktní ploše s betonem a především ve vlásenkových trhlinách, velmi rychle zvýšit, dosáhnout termodynamické rovnováhy sádry a rozvinout rozvolňující působení. Koroze betonu ve spojení s podzemní vodou představuje velmi komplexní téma, které hraje významnou roli při řešení otázek, které souvisejí s toxickými odpady, včetně odpadů

des sauren pH-Wertes und der hohen SO_4 -Gehalte sowohl eine „lösendes“ als auch „treibendes“ Potential haben. Das Bergbauwasser selbst hat zwar in den wenigsten Fällen ausreichend hohe Ca-Konzentration, um eine Gipsbildung zu ermöglichen. Die Ca-Konzentration kann sich aber durch den „lösenden“ Angriff des Betons in der Kontaktfläche zum Beton und insbesondere in Haarrissen sehr schnell erhöhen und das thermodynamische Gips-Gleichgewicht erreichen und seine sprengende Wirkung entfalten. Beton-Korrosion in Verbindung mit Grundwasser ist ein sehr komplexes Thema, das in der Langzeitverwahrung von toxischen Rückständen incl. radioaktiver Abfälle [6] eine große Rolle spielt und auch die Bildung von Biofilmen beeinflusst wird [7]. In diesen Bereichen gesammelte Erfahrungen können auch für geothermische Anwendung von Bergbauwässern genutzt werden.

Im Bereich der geothermischen Nutzung von Bergbauwässern stellt die Bildung von mineralischen Ausfällungen ein weiteres großes Thema dar, denn der kontinuierliche Betrieb kann dadurch erheblich gestört werden. Solche als Scales bezeichneten Ausfällungen bilden sich häufig auf Grenzflächen (z. B. metallischen Oberflächen) in Form von aufwachsenden dünnen Schichten. Als

radioaktiven [6] a je ovlivňováno i vytvářením biofilmů [7]. Zkušenosti, získané rovněž v těchto oblastech, mohou být využity i pro geotermické využívání důlních vod.

V oblasti geotermického využití důlních vod představuje vytváření minerálních sraženin další velké téma, protože jimi může být řádný provoz zařízení významně narušen. Tyto sraženiny, označované jako scales, se často vytvářejí na plochách rozhraní (například metalické povrchy) ve formě narůstajících tenkých vrstviček. V důsledku výskytu těchto sraženin je nutno provoz na dočasnou dobu přerušit. Tyto sraženiny je pak nutno odstranit mechanickými nebo chemickými zásahy, případně je nutné určité díly zařízení (čerpadla, filtry, tepelné výměníky) vyměnit za nové. S tím jsou spojené náklady a prostoje.

Sraženiny mohou vznikat tehdy, pokud jsou důlní vody celkově nebo na jednom určitém místě v důsledku okrajových podmínek (tlak, teplota, obsah plynů) ve vztahu k určité minerální fázi termodynamicky přesycené. Při znalosti kompletního chemického složení vody (koncentrace látek včetně plynů) lze z těchto dat vypočítat termodynamicky za využití vhodné termodynamické datové sady index nasycení pro téměř každý minerál [8]. Index nasycení > 0 signalizuje přesycení konkrétního

Folge dieser Ausfällungen muss der Betrieb zeitweise unterbrochen werden und die Ausfällungen z.B. durch mechanische oder chemische Behandlungen entfernt werden oder bestimmte Anlagenteile (Pumpen, Filter, Wärmetauscher) auch erneuert werden. Dies ist mit Kosten und Ausfallzeiten verbunden.

Zu Ausfällungen kann es kommen, wenn das Bergbauwasser insgesamt oder an einer bestimmten Stelle durch Veränderungen der Randbedingungen (Druck, Temperatur, Gasgehalt) bezüglich einer bestimmten Mineralphase thermodynamisch übersättigt ist. Bei Kenntnis der kompletten Wasserchemie (Konzentration aller Inhaltsstoffe incl. der Gaskonzentrationen) kann aus diesen Daten der Sättigungsindex (SI) für nahezu jedes Mineral thermodynamisch unter Nutzung eines geeigneten thermodynamischen Datensatzes berechnet werden [8]. Ein $SI > 0$ signalisiert eine Übersättigung bezüglich des jeweiligen Minerals; aber ob es zu einer Ausfällung kommt, ist damit nicht gesagt. Einerseits gibt es Minerale, die bei den gegebenen Temperatur- und Druckbedingungen nicht ausfallen und andererseits kann die Ausfällungsreaktion extrem langsam sein, sodass es für den Betrieb einer geothermischen Wärmenutzungsanlage unbedeutend ist. Es ist somit für jedes potentiell

Mineral. Ale jestli dojde k jeho vysrážení tím není řečeno. Na jednu stranu existují minerály, které se za daných teplot a tlaků nevysrážejí a na druhou stranu může být vysrážení extrémně pomalé, což je pak pro provoz zařízení pro geotermické využití nepodstatné. Proto je důležité znát kinetiku vysrážení pro každý potenciálně přesycený minerál na základě časových řad, tak, jako to je důležité i pro rozpouštění minerálů ve vodě o určitém složení, pokud index nasycení < 0 , čímž je dána tendence k rozpouštění minerálu a tento minerál se v celém systému také vyskytuje. Typickými sraženinami v závislosti na chemickém složení vody a okrajových podmínkách jsou hydroxidy, oxidy, sulfáty, sulfidy, karbonáty, SiO_2 , silikáty a jílové minerály. Jílové minerály a hydroxidy ale zpravidla sraženiny nevytvářejí, ale vyskytují se ve vodě jako velmi jemné částice nebo vločky a mohou způsobit zanesení filtrů, případně poškození čerpadel. Pro vyhodnocení se zpravidla využívá XRD (rentgenová difraktometrie), XRF (rentgenová fluorescence) a REM (rastrový elektronový mikroskop).

Alternativou k mechanickému a chemickému odstranění sraženin je možnost průběžných opatření, která vzniku sraženin zabrání. Možné a celosvětově používané jsou různé metody: změna hodnoty pH například

übersättigte Mineral wichtig, die Kinetik der Ausfällung an Hand von Zeitraten zu kennen, so wie es auch für die Lösung von Mineralen durch ein Wasser einer bestimmten Zusammensetzung auch von Bedeutung ist, falls der SI <0 ist und somit die Tendenz zur Lösung des Minerals gegeben ist und dieses Mineral im Gesamtsystem auch vorhanden ist. Typische Ausfällungen sind in Abhängigkeit von der Wasserchemie und den Randbedingungen Hydroxide, Oxide, Sulfate, Sulfide, Carbonate, SiO_2 , Silikate und Tonminerale. Tonminerale und Hydroxide bilden in der Regel aber keine Scales sondern befinden sich als feinste Partikel oder Flocken im Wasser und können zum Zusetzen von Filtern bzw. der Beschädigung von Pumpen führen. Zur Untersuchung kommen üblicherweise XRD (Röntgendiffraktometrie), XRF (Röntgenfluoreszenz) und REM (Rasterelektronen-Mikroskop) zum Einsatz.

Als Alternative zur mechanischen und chemischen Entfernung von Scales gibt es auch die Möglichkeit durch kontinuierliche Maßnahmen, die Entstehung von Scales zu verhindern. Verschiedene Methoden sind denkbar und weltweit im Einsatz: Veränderung des pH-Wertes z.B. durch kontinuierliche Zugabe einer Säure (z.B. CO_2), Zugabe von Ausfällungsinhibitoren [9] oder durch Optimierung des Temperatur-

prübežným přidáváním kyseliny (například CO_2), přidávání inhibitorů [9] nebo optimalizace managementu teploty. Možné je využití ultrazvuku, kterým lze ovlivnit kinetiku srážení [10].

managements. Denkbar ist auch die Anwendung von Ultraschall, um Einfluss auf die Ausfällungskinetik zu nehmen [10].

5. Fazit

Die Nutzung von Bergbauwasser für geothermische Anwendungen ist im Vergleich zur Nutzung von Grund- und Thermalwasser vergleichsweise neu. Es sind aber weltweit zurzeit Aktivitäten und Forschungsprojekt in dieser Richtung festzustellen. Dies hat natürlich auch damit zu tun, dass es weltweit im zunehmenden Maße Bergbaugebiete gibt, die aufgegeben und geflutet wurden. Im Vergleich zu anderen und insbesondere tiefen Geothermie-Projekten sind die Temperaturen vergleichsweise niedrig ($< 50^{\circ}\text{C}$) und diese Wässer sind daher nicht für die Verstromung geeignet. Eine besondere Herausforderung stellt häufig die Wasserchemie dar. Sie ist einerseits von Gebiet zu Gebiet sehr unterschiedlich und kann auch innerhalb eines Bergbaugebietes stark variieren. Dies kann sich auch in Temperatur- und Dichteschichtungen ausdrücken und somit eine besondere Herausforderung darstellen. Wie in jedem Geothermie Projekt stellt sich auch bei der Nutzung von Bergbauwasser die Frage der Nachhaltigkeit. Geothermie wird zwar grundsätzlich als alternative und „erneuerbare“ Energie bezeichnet.

5. Závěr

Využívání důlních vod pro geotermické účely je v porovnání s využíváním podzemní a termální vody relativně nové. Celosvětově však v tomto směru v současné době probíhá řada aktivit a výzkumných projektů. To samozřejmě souvisí i s tím, že v celosvětovém měřítku existuje stále více hornických oblastí, ve kterých je utlumována těžba a které jsou zatápěny. Ve srovnání s ostatními projekty, především pak projekty hlubinné geotermie, jsou teploty relativně nízké ($< 50^{\circ}\text{C}$), tyto vody tak nejsou vhodné pro výrobu elektrické energie. Specifickou výzvou je pak často chemické složení vody. To je v různých územích velmi rozdílné, silně proměnlivé však může být i v rámci jedné hornické oblasti. To se může projevat ve vytváření vrstev vody podle teploty a hustoty. Tak jako v každém geotermickém projektu naskytá se i ve využití důlních vod otázka udržitelnosti. Geotermie je sice zásadně označována jako alternativní a „obnovitelný“ zdroj energií. To, do jaké míry je ale dána udržitelnost ve vlastním slova smyslu, závisí na mnoha faktorech konkrétního projektu [11]. Pouze pečlivé a svědomité vyhodnocení, plánování a vědecká

Inwieweit die Nachhaltigkeit aber im eigentlichen Sinne des Wortes gegeben ist, hängt von vielen Faktoren in einem Projekt ab [11]. Nur eine sorgfältige und gewissenhafte Prüfung, Planung und wissenschaftliche Begleitung kann ein Garant für eine nachhaltige energetische und sonstige Nutzung der Ressource sein.

podpora mohou být garantem udržitelného energetického a jiného využití tohoto zdroje.

Literatur/Literatura

- [1] J. López, M. Reig, O. Gibert und J. Cortina, „Recovery of sulphuric acid and added value metals (Zn, Cu and rare earths) from acidic mine waters using nanofiltration membranes,“ Separation and Purification Technology, Bd. 212, pp. 180-190, 2019.
- [2] D. Nordstrom, C. Alpers, C. Ptacek und D. Blowes, „Negative pH and extremely acidic mine waters from Iron Mountain, California,“ Environmental Science and Technology, Bd. 34, Nr. 2, pp. 254-258, 2000.
- [3] Werner Stumm; James Morgan, Aquatic chemistry, 3rd Hrsg., Wiley, 1970.
- [4] J. Wang, H. Gangarao, R. Liang und W. Liu, „Durability and prediction models of fiber-reinforced polymer composites under various environmental conditions: A critical review,“ Journal of Reinforced Plastics and Composites, Bd. 35, Nr. 3, pp. 179-211, 2016.
- [5] J. Göske, H. Pöllmann und R. Wenda, „Ettringit- und Thaumasitreiben in Betonwerkstoffen: Analytische Betrachtung und Ursachenermittlung mittels Röntgendiffraktometrie und Rasterelektronenmikroskopie,“ Beton- und Stahlbetonbau, Bd. 102, Nr. 5, pp. 321-329, 1 5 2007.
- [6] G. Littlejohn, D. Bruce, C. Brawner, O. Olivier, A. Swart und M. Wells, „Recommendations for site investigation, design, construction, testing, monitoring and maintenance of permanent intruded concrete plugs,“ Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Bd. 106, Nr. 5, pp. 367-371, 2006.
- [7] J. Márquez, M. Sanchez-Silva und J. Husserl, „Review of reinforced concrete biodeterioration mechanisms,“ in Proceedings of the 8th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, FraMCoS 2013, 2013.
- [8] B. Merkel, B. Planer-Friedrich und D. Nordstrom, Groundwater geochemistry (Second Edition): A practical guide to modeling of natural and contaminated aquatic systems, 2008.
- [9] Q. Han, X. Peng und Y. Yang, Influence of emulsion on the corrosion and scaling on pipelines of cooling system deep coal mine: A experiment study, Bd. 902, 2014, pp. 105-110.
- [10] M. Andhika und S. Regenspurg, Characterization of silica precipitation kinetics under high temperature geothermal field conditions using ultrasonic techniques, 2013, p. .
- [11] L. Rybach und M. Mongillo, „Geothermal sustainability-A review with identified research needs,“ in Transactions - Geothermal Resources Council, 2006.

Preventing calcite precipitation in deep geothermal energy plants

Msc.-Ing. Alireza Arab

TU Bergakademie Freiberg –araba@geo.tu-freiberg.de

Prof. Dr. habil. Broder Merkel

TU Bergakademie Freiberg – merkel@geo.tu-freiberg.de

Abstract

Scaling (i.e. precipitation of carbonates) poses a great challenge in geothermal energy production. These scales may form on the submersible pump, riser and well head, but also on the above ground equipment such as valves, pipes and the heat exchanger. If left untreated, the scales can block wells, block pipelines, and destroy the pump and heat exchanger. Therefore, preventing precipitation and preserving and improving geothermal pathways during long term operation is a key task. Current methods of scale removal such as mechanical removal or acid dissolution are time-consuming and require the plant to be shut down which leads to high production costs and other complications. Two strategies to avoid calcite scaling can be the injection of carbon dioxide or an inhibitor at a certain depth in the production well. These two strategies were investigated during two research projects. As part of the BMUB funded research project, LERWTG (**L**angfristige **V**erbesserung und **E**rhaltung von **R**eservoir-**W**egsamkeiten in der **T**iefen **G**eothermie), kinetic batch experiments were performed to examine the interactions between carbonate rock (from the Malm strata in Kirchweidach, Germany) with water and CO₂ under reservoir conditions. Additionally, casing material and borehole cementation which come into contact with CO₂ saturated water were tested under the same conditions. Also, in a pilot plant, cooled geothermal CO₂ enriched water passed through rock filled columns which were sequentially heated up to reservoir temperature. Adding carbon dioxide will shift the calcite carbon dioxide equilibrium and keep the saturation index of calcite below zero during ascending of geothermal water and prevent precipitation. The investigation of NC47-1B (Niederrhein Chemie) as an inhibitor in geothermal plants in the Bavarian Molasse basin is the major aim of another ongoing BMWi funded joint research project EvA-M (**E**insatz von **A**usfällungsinhibitoren im **M**olassebecken). As part of this project, thermodynamic and kinetic modeling of the processes in a geothermal plant utilizing NC47-1B as inhibitor is done. This includes kinetic modeling of calcite precipitation, complexation of Ca and/or slowing calcite precipitation by NC47-1B as well as microbial degradation of the inhibitor over time. The simulation was done by means of PHREEQC. Inhibitors can

be used to either form chelate complexes with polyvalent metal ions, in particular with calcium, or inhibit the formation of crystals or do both. The use of the inhibitor as a means of precipitation prevention will lower production costs due to minimizing plant downtimes and breakdowns as well as damages to system components such as pumps, valves and measuring instruments.

Keywords: reactive transport modeling, carbonate reservoir, scale formation, inhibitor, carbon dioxide

1. Introduction

When groundwater, which is in equilibrium with calcite and carbon dioxide, is pumped from 2 to 4 km depth to the surface, the pressure decreases and the water becomes supersaturated with respect to calcite (Eq. 1). Depending on the flow rate and casing diameter, a certain amount of calcite will precipitate according to the kinetics of the calcite precipitation which can be up to two orders of magnitude slower than calcite dissolution (Dreybrodt et al. (1991)). This can lead to precipitation of scales on the well pipe walls leading to clogging of wells, reducing injectivity, and damaging the pumping system. Besides, experience from existing plants in the region show that in addition to precipitation on pipe walls and heat exchanger surfaces, a suspension of carbonate crystals is formed. These crystals can precipitate inside the fractures and disturb the continuous production as well as causing technical damage. A small reduction in porosity due to precipitation can cause significant permeability reduction (Bacci et al. 2011). If there is not sufficient permeability or the permeability is reduced due to precipitation, heat cannot be exploited from the geothermal reservoir (Tester et al. 2007).



One method of countering calcite precipitation could be adding of CO_2 to the geothermal water to increase the CO_2 partial pressure and under-saturate the water with respect to calcite. Carbon dioxide addition will boost the negative saturation index (SI) which may also dissolve calcite in the aquifer in the near field of the injection well on the other side. This innovative idea of adding CO_2 to geothermal water was investigated in the BMUB funded research project, LERWTG (Langfristige Verbesserung und Erhaltung von Reservoir-Wegsamkeiten in der Tiefen Geothermie) (Arab et al. (2017)).

Scale inhibitors that are used in geothermal energy production can be inorganic or organic substances. Organics have the advantage to decompose over time. In the

ideal case, decomposition starts after reinjection of the geothermal water into the aquifer and ends up as inorganic compounds after a short time. However, the formation of biofilms in particular in the geothermal plant (constructing materials) and the aquifer has to be considered as well. In the ongoing BMWi (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy) funded joint research project, EvA-M (**E**insatz **v**on **A**usfällungsinhibitoren im **M**olassebecken), thermodynamic and kinetic modeling of the processes in a geothermal plant utilizing NC47-1B as inhibitor is done which includes kinetic modeling of calcite precipitation, complexation of calcium and/or slowing calcite precipitation by NC47-1B (Niederrhein Chemie) as well as microbial degradation of the inhibitor over time.

2. Methodology

2.1 LERWTG

2.1.1 Sample material description

The sample materials used in the batch experiments consisted of rock cuttings from the injection well (GT1) and production well (GT2a), analog representative rocks and a drill core, steel well casing, and well concrete. In the bypass system (pilot plant), analog samples were used because the amount of drilling material would have been insufficient for filling the columns. The representative rock materials were taken from Ziegenfelder (Frankendolomite, Malm Delta), a quarry located in the same geological formation as the geothermal wells in Kirchweidach. XRD data based on qualitative and semi-quantitative analysis with the Rietveld method was performed on all the rock samples to obtain mineral compositions. The steel casing sample was analyzed by EDX.

2.1.2 Batch experiments

Two different types of autoclaves (shown in figures 1 and 2) at a pressure of 40Mpa (400 bar) and a temperature of 105 °C were used to perform both batch kinetic and endpoint experiments. The kinetic experiments were done using GT1 and GT2 rock samples to investigate the effect of CO₂ on the reservoir rock and obtain the change of concentrations over time. The endpoint experiments were done to also determine the effect of CO₂ and water on the sample material (analog rock, drill core, steel casing and well concrete) after a predefined period, which was assumed to be sufficient to reach quasi equilibrium. Upon completion of all the experiments, the sampled solutions

were tested for their chemical composition by means of ICP-MS and IC. The amount of CO₂ dissolved in the water was also measured in some experiments.

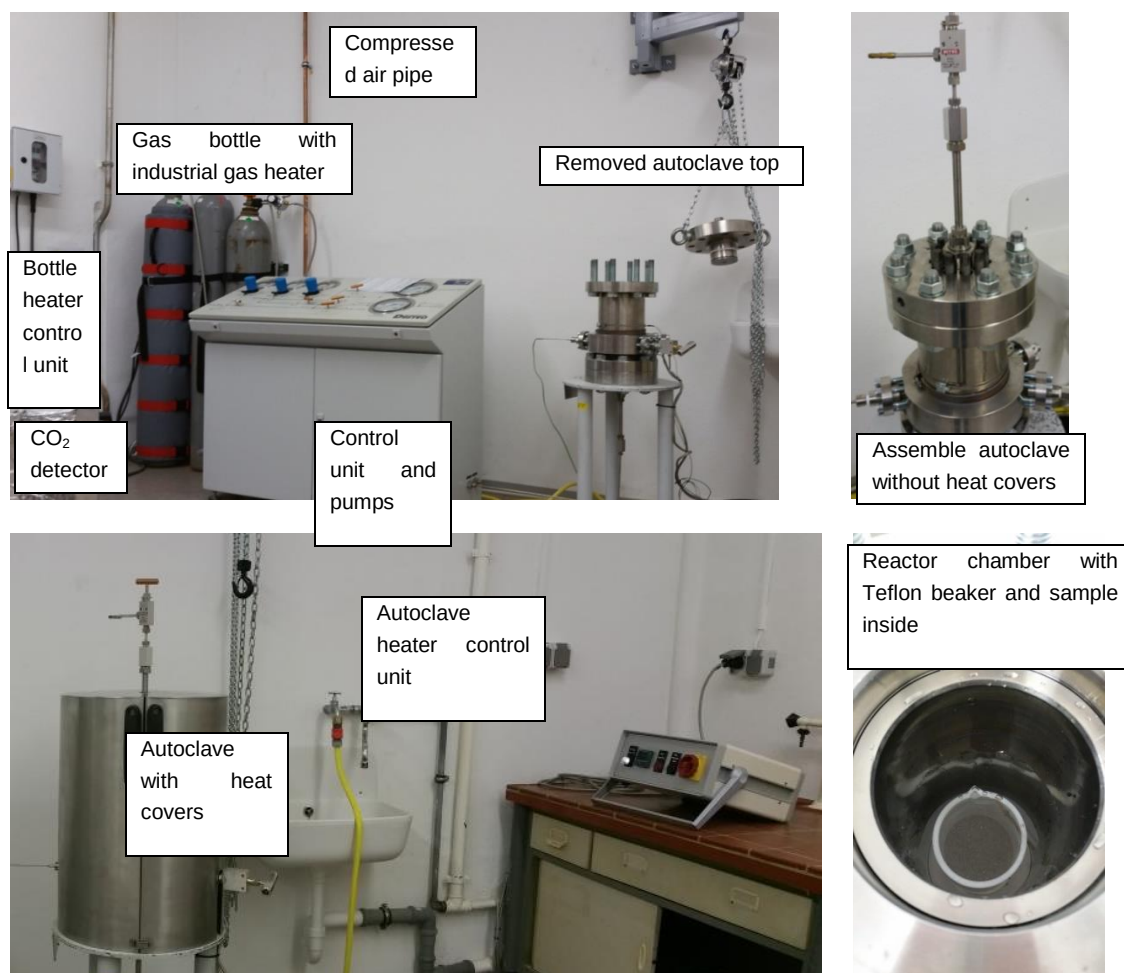


Fig. 1 Autoclave at TU Bergakademie Freiberg which was used for batch experiments.

2.1.3 Bypass system

During the operation of the bypass system, thermal water was diverted from the pipeline of the geothermal plant and enriched with CO₂ before entering five cylinders (reaction columns) that were filled with analogue A2 rock samples. The water gradually heated up while going through the reaction columns and the test path. The actual scheme of the plant and bypass system are shown in Figure 3a while figure 3b shows one of the reaction columns before completion and the details of each of the columns are given in table 2. The bypass system was technically tested and optimized during a period of 3 months, and the actual experimental ran for 6 months.

The water flow in the plant was approximately 10 ml/s and the CO₂ inflow was adjusted to approximately 1.5 NI/min⁴. This amount of CO₂ corresponds to a gas content of 2500 Nml/l water and as a result, a pH value of 4.8 to 5.5 is achieved. The pore volume in the total system is 403 liters. Therefore, the thermal water had a residence time of 11.2 h in the reaction columns. The pressure in the bypass system was set to a range of 5 to 6 bar.



Fig. 2 (a) Bypass system in Kirschweidach and (b) Reaction columns while being set up

2.2 EvA-M

The log_k values were determined from laboratory experiments with different inhibitor concentrations at different temperatures by measuring electrical conductivity, pH, free Ca²⁺ ions by means of nano-membrane separation, and LC-OCD. LC-OCD is a liquid chromatography method that includes, in addition to UV/Vis (UV), fluorescence (FL) and conductivity (LF), a carbon-selective detector and in part also an OND (organic nitrogen detector). This type of liquid chromatography is based on size-exclusion chromatography (SEC) and ultimately provides a distribution of molecular masses over time. The combination of the detectors enables a distinction between Natural Organic Matter (NOM) and Specific Organic Matter (SOM).

A 1D reactive transport model using PHREEQC and a modified Plummer-Wigley-Parkhurst (PWP) equation (Plummer et al. (1978)) was built. A modification to the PWP

⁴ Normal liter per minute is unit of volumetric flow rate of gas corrected to “normalized” conditions of temperature and pressure.

equation is necessary because the situation in a geothermal power plant is not easily comparable to an aquifer. For example, at the beginning of commissioning, there is carbonate precipitation in the production well, in the heat exchanger, or the injection well. Therefore, there are no crystallization seeds available at which crystal growth can begin. Thus, an empirical factor (F) based on the work of Dreybrot et al. (1996) was implemented into the model which becomes effective only in the case of supersaturation. This made it possible to simulate the extraction of groundwater with a realistic precipitation of calcite scales in the production well and in the heat exchanger.

3. Results

3.1 LERWTG

Laboratory experiments showed that rock material underwent a preferred dissolution of major rock forming minerals caused by increased $p\text{CO}_2$. Casing material showed a weight loss of 1.7 % during the test period of 28 days and no indications of passivation on the casing surface were found. As for the concrete samples, results demonstrated that there is a weight gain of 5-10 wt. %, which is associated with carbonation of the cement.

During the 6 months' operational period, redox potential, EC, pH, flow and temperature in the inlet and outlet of the columns were monitored. Water was sampled continuously and analyzed for main cations, DOC, and acid / base capacity. The pilot plant system which was used in this research allowed for flexible simulations of boundary conditions and tracking of the corresponding reactions during the reinjection of geothermal thermal water back into the aquifer.

3.2 Eva-M

The results of the 1D model extracting groundwater with a realistic precipitation of calcite scales in the production well and in the heat exchanger are shown in Fig 3. The effects of the ratio of surface to water (P1) and F on the model outcome are depicted in different scenarios (a-d). The green curve indicates the SI of calcite while the red curve shows calcite precipitation. As the hot water moves up to the surface, the pressure decreases and $\text{SI}_{\text{calcite}}$ increases which indicates calcite precipitation. In the heat exchanger, the water is cooled to 60 ° C and this changes the $\text{SI}_{\text{calcite}}$ from supersaturation to undersaturation. For the final calibration, the estimation of carbonate precipitation in the production well and in the heat exchanger should be used.

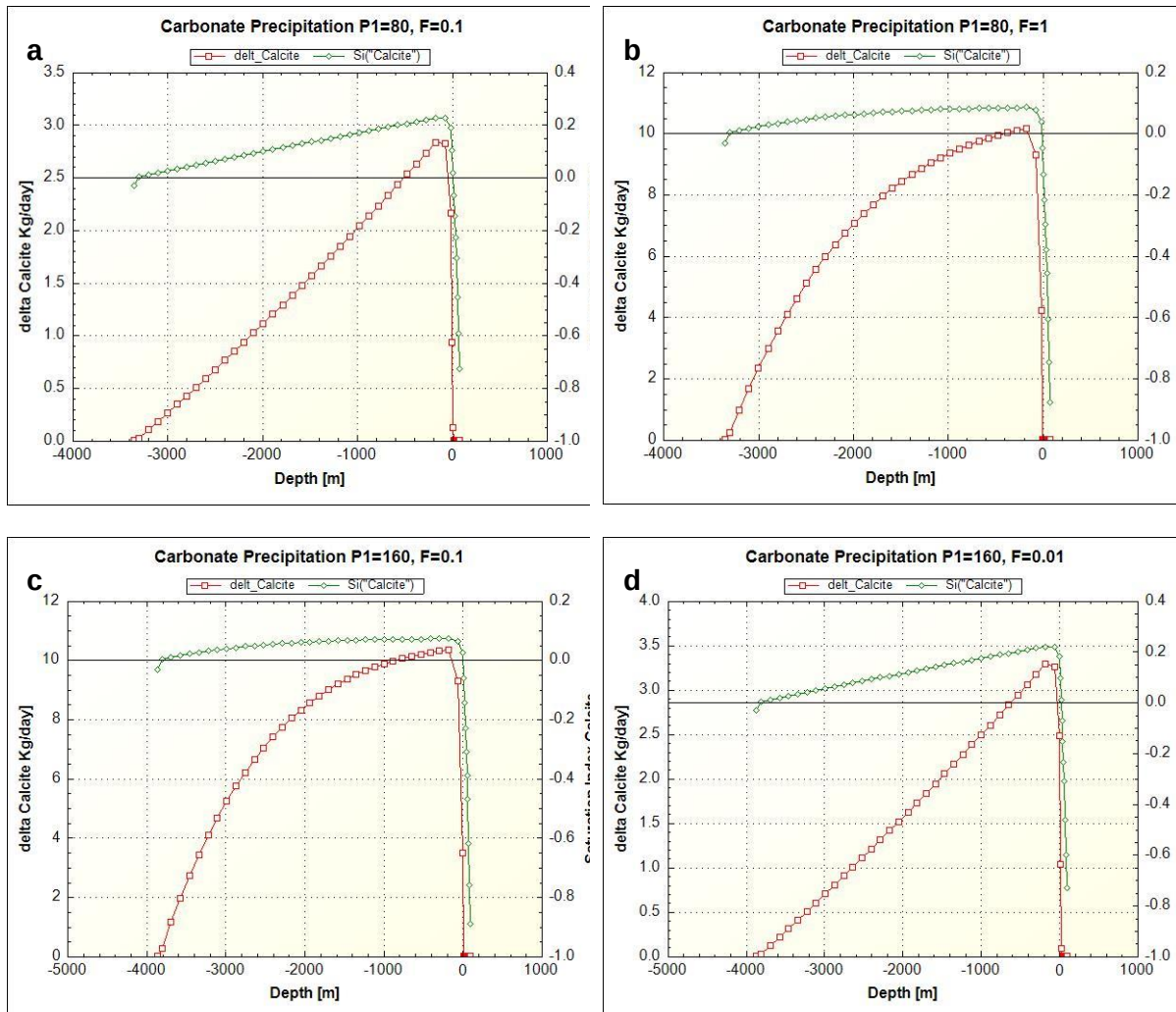


Fig. 3 Results of modeling with different parameters ($P1$ and F). $P1$ is the ratio of surface to water and F is the scaling factor. The effects of the $P1$ ratio and F on the outcome of the model are depicted in different scenarios (a-d).

4. Conclusions

Overall results showed that by adding CO_2 , precipitation of carbonate minerals and the formation of scales which deteriorate the transmissivity of reservoir pathways can be prevented due to under-saturation with respect to carbonates. Furthermore, this suggested approach could eventually become a safer and resource-conserving alternative to current techniques especially due to the fact that above ground energy production is not interrupted while CO_2 is being added. This and the positive CO_2 storage as by-effect (Carbon Capture, Utilization and Storage) can be important factors for policymakers.

Carbonate precipitation can be described by a reactive mass transfer model that takes into account both thermodynamic and kinetically controlled chemical reactions. It is also possible to integrate the influence of biodegradable inhibitors into the model. Thus, by such a reactive mass transport model, the optimal inhibitor concentrations can be determined when the thermodynamic and kinetic constants of the inhibitor are known. All results available to date suggest that the biodegradable polycarboxylates inhibitor is effective as a complexing agent as well as by means of sorption on calcite crystals. Reliable numerical models can be built using data from batch and bypass experiments to determine optimal inhibitor concentrations and predict outcomes.

References

- Arab, A., Eichinger, F., Kaulisky, A., Mair, C., Merkel, B. (2017): Langfristige Verbesserung und Erhaltung von Reservoirwegsamkeiten in der Tiefen Geothermie (LERWTG). Abschlussbericht LERWTG, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany: p 51.
- Bacci, G., Korre, A., Durucan, S. (2011): An experimental and numerical investigation into the impact of dissolution/precipitation mechanisms on CO₂ injectivity in the wellbore and far field regions, *International Journal of Greenhouse Gas Control* 5, 579-588.
- Dreybrodt, W., Eisenlohl, L., Madary, B., Ringer, S. (1996): Precipitation kinetics of calcite in the system CO₂-H₂O-CaCO₃: The conversion to CO₂ by the slow process $H^+ + HCO_3^- \rightarrow CO_2 + H_2O$ as a rate limiting step *Geochim. Cosmochim. Acta* 60, 3375-3381
- Plummer L. N., Wigley T. L. M., Parkhurst D. L. (1978): The kinetics of calcite dissolution in CO₂-water systems at 5 to 60 °C and 0.0 to 1.0 atm. CO₂, *Amer. J. Sci.*, 278, 537-573.
- Tester, Jefferson W.; Anderson, Brian J.; Batchelor, Anthony S.; Blackwell, David D.; DiPippo, Ronald; Drake, Elisabeth M. et al. (2007): Impact of enhanced geothermal systems on US energy supply in the twenty-first century. In *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences* 365 (1853), pp. 1057–1094. DOI: 10.1098/rsta.2006.1964.

Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpen und Grubenwasser – geothermische Nutzungsmöglichkeiten in Sachsen und deren Besonderheiten

Geothermální sondy, tepelná čerpadla podzemní vody a důlní vody - geotermické možnosti využití v Sasku a jejich specifika

Dipl.-Geoökol. Karina Hofmann

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie – karina.hofmann@smul.sachsen.de

1. Geothermie in Sachsen

Geothermie ist eine erneuerbare Energiequelle, deren Nutzung vor dem Hintergrund der Energiewende viel zum Klimaschutz beitragen kann. Die oberflächennahe Geothermie beschreibt die Nutzung der in der Erde in Form von Wärme gespeicherten Energie bis in Tiefen von maximal 400 m [2]. Im Gegensatz zur Nutzung tiefer Geothermie bis in Tiefen von 5 km, die auch zur Stromerzeugung dient, wird die oberflächennahe Geothermie zu Heiz- und Kühlzwecken erschlossen.

Oberflächennahe Geothermie wird im gesamten Freistaat hauptsächlich über Bohrungen mit eingebrachten Erdwärmesonden bis in Tiefen von 200 m bereits genutzt und dient der Klimatisierung von Gebäuden. Weitere Nutzungen erfolgen durch

1. Goethermie v Sasku

Geothermie je obnovitelným zdrojem energií, jehož využití může na pozadí transformace energetiky významně přispět k ochraně klimatu.

Mělká geothermie popisuje využití energie, uložené v zemi ve formě tepla, až do hloubky maximálně 400 m [2]. Oproti využití hlubinné geothermie do hloubek 5 km, která rovněž slouží k výrobě energie, je mělká geothermie využívána pro účely vytápění a chlazení.

Mělká geothermie je v celém Svobodném státě Sasko již využívána a to především prostřednictvím vrtů, do nichž jsou spuštěny geotermické sondy do hloubek 200 m a slouží ke klimatizaci budov. Další formy využití pracují pomocí tepelného čerpadla na podzemní vodu, geotermálních

Grundwasserwärmepumpen, Erdwärmekollektoren und andere Formen wie beispielsweise Phasenwechselsonden oder Energiepfähle. Die Hauptnutzungsformen sind in Abb. 1 schematisch dargestellt.

kolektorů a další forem, jako jsou například výměníky s fázovou změnou nebo energetické piloty. Hlavní formy využití jsou schematicky zobrazeny na obr. 1.

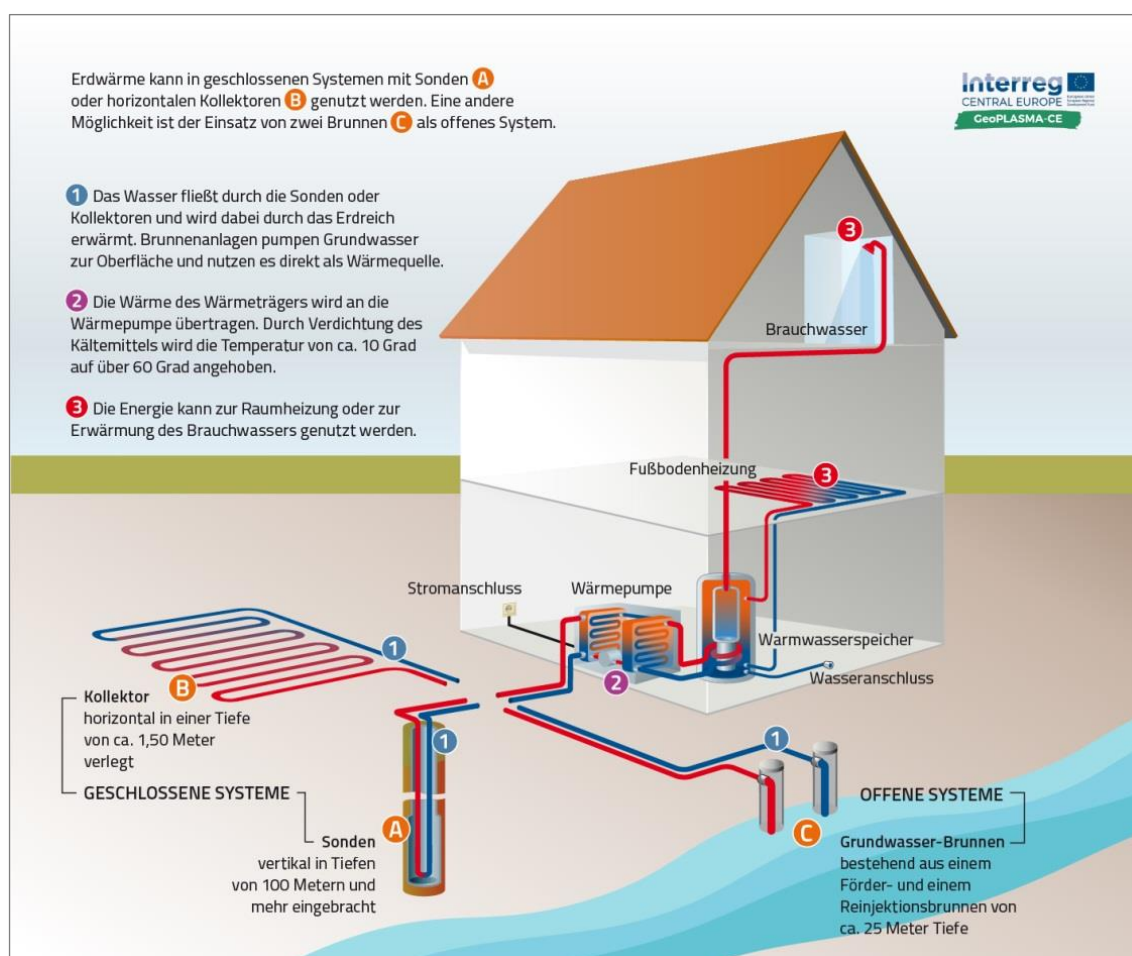


Abb. 1 Überblick der Hauptnutzungsformen oberflächennaher Geothermie (GeoPLASMA-CE)

Obr. 1 Přehled hlavních forem využití mělké geotermie (GeoPLASMA-CE)

Erdwärme kann in geschlossenen Systemen mit Sonden oder horizontalen Kollektoren genutzt werden. Eine andere Möglichkeit ist der Einsatz von zwei Brunnen als offenes System.

Geotermální teplo lze využívat v uzavřených systémech se sondami A, nebo horizontálními kolektory B. Další možností je možnost využití vrtů C jako otevřeného systému.

Das Wasser fließt durch Sonden oder Kollektoren und wird dabei durch das Erdreich erwärmt. Brunnenanlagen pumpen Grundwasser zur Oberfläche und nutzen es direkt als Wärmequelle.	Voda protéká sondou nebo kolektorem a přitom je ohřívána okolní horninou. Vrtý čerpají podzemní vodu na povrch a využívají jí jako přímý zdroj tepla.
Die Wärme des Wärmeträgers wird an die Wärmepumpe übertragen. Durch Verdichtung des Kältemittels wird die Temperatur von ca. 10 Grad auf über 60 Grad angehoben.	Teplo je z tepelného výměníku přenášeno na tepelné čerpadlo. Stlačením chladiva dojde ke zvýšení teploty z cca 10 stupňů na více než 60 stupňů
Die Energie kann zur Raumheizung oder zur Erwärmung des Brauchwassers genutzt werden.	Energie může být pro vytápění místností nebo přípravu teplé užitkové vody využívána přímo.
Kollektor horizontal in einer Tiefe von ca. 1,50 Meter verlegt	Kolektor položen vodorovně v hloubce přibližně 1,50 metrů
Geschlossene Systeme	Uzavřené systémy
Sonden vertikal in Tiefen von 100 Metern und mehr eingebracht	Sondy se vkládají svisle v hloubkách 100 metrů a více
Offene Systeme	Otevřené systémy
Grundwasser-Brunnen bestehend aus einem Förder- und einem Reinjektionsbrunnen von ca. 25 Meter Tiefe	Studna podzemní vody sestávající z produkční studny a injektážní studny hluboké asi 25 metrů
Stromanschluss	Elektrické připojení
Wärmepumpe	Tepelné čerpadlo
Wasseranschluss	vodovodů
Warmwasserspeicher	Nádrž na horkou vodu
Fußbodenheizung	Podlahové vytápění
Brauchwasser	Procesní voda

Die häufigsten Nutzungsformen der **oberflächennahen Geothermie** in Sachsen sind zu etwa 90% Erdwärmesonden, gefolgt von Erdkollektor- und Brunnenanlagen (Abb.).

Nejčastější formou **mělké geotermie** v Sasku jsou ze zhruba 90% geotermální sondy, následované geotermálními kolektory a vrtly (Obr.2).

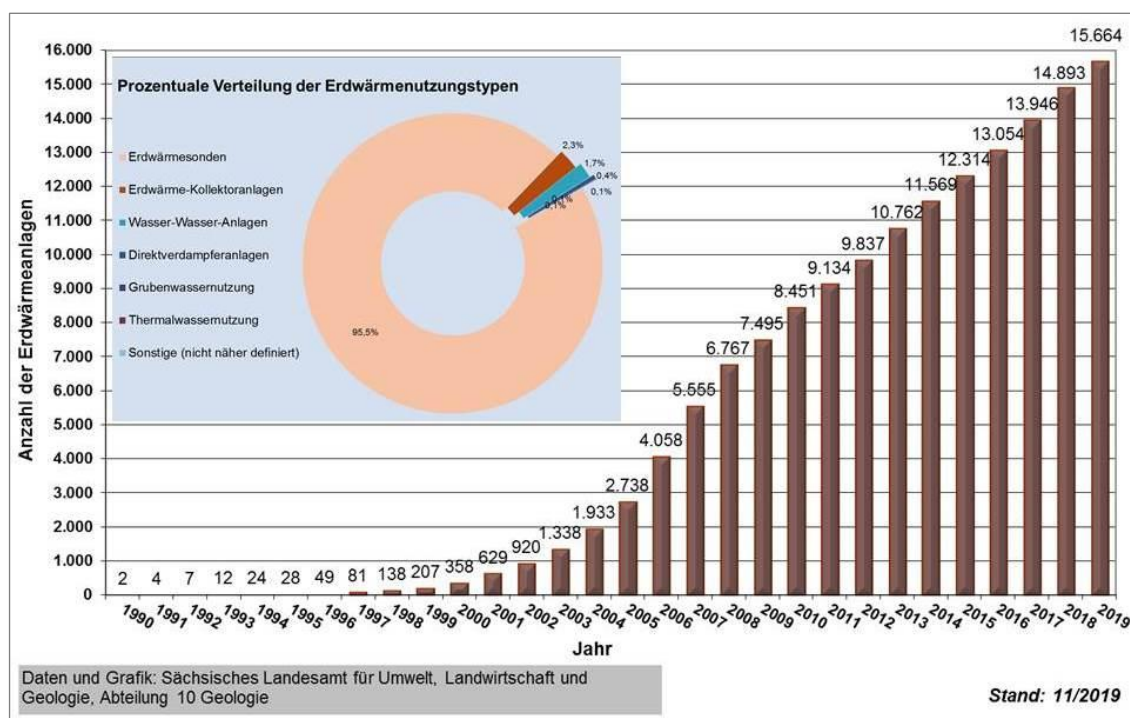


Abb. 2 Kummulative Anzahl an Erdwärmeeinrichtungen in Sachsen.

Obr. 2 Kumulativní počet geotermálních zařízení v Sasku

Anzahl der Erdwärmeeinrichtung	Počet zařízení pro využití geotermální energie
Prozentuale Verteilung der Erdwärmeeinrichtungstypen	Procentuální rozdělení typů využívání geotermální energie
Erdwärmesonden	Geotermální sondy
Erdwärme-Kollektoranlagen	Geotermální kolektory
Wasser-Wasser-Anlagen	Zařízení voda-voda
Direktverdampfanlagen	Zařízení s přímým výparníkem
Grubenwassernutzung	Využití důlních vod
Thermalwassernutzung	Využití termálních vod
Sonstige (nicht näher definiert)	Ostatní (není blíže definován)
Jahr	Rok

Mit Stand 11/2019 sind in Sachsen 15.664 Erdwärmeeinrichtungen mit einer Gesamtleistung von rund 180 Megawatt (thermisch) in Betrieb. Die Zuwachsraten betrugen in den letzten Jahren ca. 850 bis 900 Neuanlagen pro

K listopadu roku 2019 bylo v Sasku v provozu 15.664 geotermálních zařízení s zhruba 180 megawatty (termicky). Nárůst činil v uplynulých letech cca 850 až 900 nových zařízení

Jahr. Entsprechend der Einwohnerdichte ist eine Konzentration der installierten Anlagen in den Ballungszentren zu verzeichnen (siehe Karte).

Aufgrund des früheren intensiven Bergbaus existiert in Sachsen ein großes Potenzial an Grubenwassergeothermie. In einer vom LfULG 2001 beauftragten, durch die Firma HGC durchgeführten Grubenwasserstudie erfolgte eine Datenrecherche von 48 vorhandenen Grubenbauen / Revieren zu natürlichen, technischen und bergrechtlichen Kriterien und darauf basierendem Ranking (HGC, 2001). Derzeit sind in Sachsen einige wenige Grubenwassergeothermieranlagen errichtet.

za rok. Podle hustoty osídlení je možno zaznamenat koncentraci instalovaných zařízení v aglomeracích (viz mapa).

Geotermální využití důlních vod představuje díky dříve intenzivnímu hornictví představuje v Sasku velký potenciál. Ve studii, zpracované firmou HGC, kterou zadal Saský zemský úřad pro životní prostředí, zemědělství a geologii v roce 2001, byla provedena rešerše dat ze 48 existujících důlních děl / revírů ohledně přírodních, technických a hornoprávních kritérií, na základě kterých byl vytvořen ranking (HGC, 2001). V současné době existuje v Sasku několik málo zařízení pro geotermální využití důlních vod.

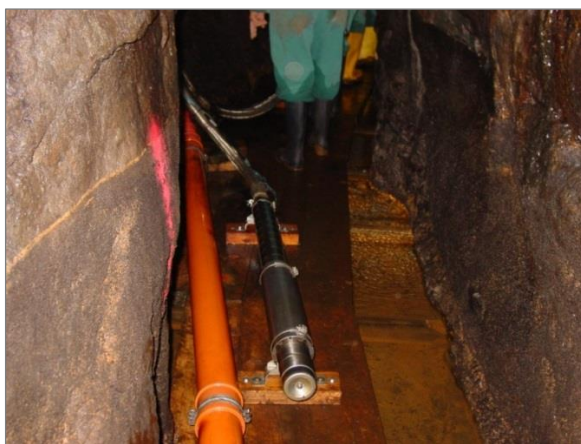


Abb. 3 Grubenwasseranlage Schloss Freudenstein (Foto: K. Hofmann, LfULG)

Obr. 3 Zařízení pro geotermální využití důlních vod na zámku Freudenstein (foto: K. Hofmann, Saský zemský úřad pro životní prostředí, zemědělství a geologii)

2. Nutzungsmöglichkeiten und Besonderheiten geothermischer Anlagen

Oberflächennahe Geothermie lässt sich zum Heizen und Kühlen mit einem Erdwärmesystem nutzen und steht wetterunabhängig stabil zur Verfügung. Die Möglichkeit der unterirdischen Wärmepeicherung zur Nutzung von Überschusswärme in der nächsten Heizperiode in Gebieten mit wenig Grundwasserfluss ist ebenfalls ein großer Vorteil. Oberflächennahe Geothermie kann sowohl in privaten als auch gewerblichen Gebäuden eingesetzt werden und eignet sich zudem für die thermische Vernetzung ganzer Gebiete.

Für die **Anzeige und Erlaubnis von Erdwärmeanlagen** ist ein wasserrechtliches Anzeige- oder Erlaubnisverfahren erforderlich und die Bohrung ist nach Lagerstättengesetz (sowie bei Bohrungen > 100 m auch nach Bergrecht) anzuzeigen [1]. Ebenfalls muss bei Bohrtiefen > 100 m im Bereich potentieller Wirtsgesteine jeweils das Einvernehmen beim Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE) eingeholt werden. In Sachsen existiert hierfür das elektronische Verfahren ELBA.Sax mit dem der Antragsteller mit einer elektronischen Anzeige alle

2. Možnosti využití a specifika geotermálních zařízení

Mělkou geotermii lze využít pro vytápění a chlazení pomocí zemského tepla, které je stabilně k dispozici nezávisle na počasí. Velkou výhodou představuje možnost uložení přebytkového tepla pro jeho využití během následující topné sezony v podzemí s nízkým průtokem podzemní vody. Mělká geotermie může být využívána jak v soukromých, tak i v komerčních budovách a je kromě toho vhodná pro termické propojení celých oblastí.

Pro **ohlášení a povolení geotermálních zařízení** je nutno provést vodoprávní ohlašovací a schvalovací řízení a vrt je třeba ohlásit v souladu se zákonem o ložiscích (a v případě vrtů > 100 m také podle horního práva) [1]. Stejně tak v případě hloubky vrtů > 100 m v oblasti potenciálních hostitelských hornin je nutno získat souhlas Spolkového úřadu pro bezpečnost technické likvidace jaderného odpadu (Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE)). V Sasku je pro tyto účely zavedeno elektronické řízení ELBA.Sax, prostřednictvím kterého mohou žadatelé pomocí elektronického ohlášení vyřešit veškeré právní problémy, celé řízení může být

Rechtsbereiche bedienen und das Verfahren durch die zuständigen Behörden vollelektronisch abgewickelt werden kann (www.bohranzeige.sachsen.de).

Generell ist es wichtig, eine Erdwärmeanlage anhand der zu erwartenden (hydro-)geologischen Gegebenheiten und der Energiebilanz des Gebäudes fachgerecht zu planen. Weiterhin ist die Kenntnis eventuell vorhandener Restriktionsflächen (z.B. Wasserschutzgebiete) nötig.

Bei **Erdwärmesondenanlagen** wird ein sogenanntes einstufiges Antragsverfahren durchgeführt. Bei Anlagen mit einer Gebäudeheizlast ≥ 30 kW wird zusätzlich eine Erstbohrung mit Temperaturprofilmessung und Thermal-Response-Test mit anschließender Anlagendimensionierung mittels Fachsoftware gefordert. In grundwasserbeeinflussten sowie in dichtbesiedelten Gebieten kann auch eine thermohydraulische Modellierung gefordert werden.

Eine Besonderheit bei **Grundwasserwärmepumpen** im Antragsverfahren ist, dass dieses in der Regel zweistufig erfolgt. Das heißt, es muss zunächst eine Brunnenbohrung angezeigt werden, an dem die erforderlichen Tests durchgeführt

příslušnými orgány prováděno zcela elektronicky (www.bohranzeige.sachsen.de).

Obecně je důležité, naplánovat geotermální zařízení odborně podle očekávaných (hydro-)geologických podmínek a energetické bilance budovy. Dále je nutná znalost případných restrikcí v území (například zóny ochrany zdroje pitné vody).

V případě **geotermálních sond** je prováděno jednostupňové řízení. V případě topného zatížení budov je navíc požadováno provedení primárního vrtu s měřením teploty profilu a test teplotní odezvy s následným nadimenzováním zařízení pomocí odborného softwaru. V oblastech, ovlivněných podzemní vodou a v hustě osídlených oblastech může být požadován termohydraulický model.

Specifikem schvalovacího řízení **tepelných čerpadel na podzemní vodu** je, že je zpravidla dvoustupňové. To znamená, že je nejprve třeba ohlásit vyhloubení vrtu, na kterém bude možno provádět potřebné testy. Mezi tyto zkoušky patří například čerpací zkouška a analýza chemického složení podzemní vody. V případě, že tyto parametry splňují kvalitativní a

werden können. Hierzu zählen u.a. ein Pumpversuch und eine chemische Grundwasseranalyse. Wenn diese Parameter für den Betrieb die Anforderungen qualitativ und quantitativ erfüllen, wird in einem zweiten Verfahrensschritt die Gesamtanlage mit den geplanten Brunnenbohrungen angezeigt.

Bei **Grubenwasseranlagen** wird die zuständige Genehmigungsbehörde immer im Einzelfall über die notwendigen Schritte entscheiden, sodass hier kein standardisiertes Verfahren in Sachsen vorliegt. Die Wärmeengewinnung aus Grubenwasser ist grundsätzlich auch eine physikalische Benutzung bzw. Mitbenutzung eines Gewässers. Gewässerbenutzungen bedürfen einer wasserrechtlichen Erlaubnis, ohne deren Vorlage die Arbeiten nicht begonnen werden dürfen. Ist ein Betriebsplan erforderlich, werden im bergrechtlichen Zulassungsverfahren auch alle anderen betroffenen Behörden von der Bergbehörde beteiligt. Stellt eine der im Betriebsplan beschriebenen Tätigkeiten (z. B. Bohrungen, Wasserentnahme, Temperaturänderung des Wassers, Pumpversuche) einen Benutzungstatbestand im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes dar,

quantitativen požadavky na provoz, je ve druhém kroku provedeno ohlášení celkového zařízení s plánovanými vrtvy.

V případě **zařízení, využívajícího důlní vody**, rozhoduje příslušný schvalovací orgán o krocích, které jsou v daném konkrétním případě nutné, čili v tomto případě v Sasku neexistuje standardizované řízení. Získávání tepla z důlní vody představuje současně rovněž fyzikální využití, případně spoluvyužití vody. Využívání vod podléhá vodoprávnímu povolení, bez jehož předložení nelze práce zahájit. Je-li vyžadován provozní řád, pak se řízení k vydání hornoprávního povolení zúčastní rovněž všechny ostatní dotčené orgány. V případě, kdy některá z činností, popsaných v provozním řádu (například vrtvy, odběr vody, změna teploty vody, čerpací zkoušky) představuje skutkovou podstatu ve smyslu zákona o vodním režimu (Wasserhaushaltsgesetz), pak báňský úřad rozhoduje po dohodě s vodoprávním orgánem rovněž o potřebném vodoprávním povolení.

Zvláštní výzvou geotermálního využití důlních vod je především zastižení avizované šachty během vrtacích prací. Dále se v závislosti na typu zařízení vyskytly problémy s chemickým složením podzemní vody ve smyslu

entscheidet die Bergbehörde auch über die dafür erforderliche wasserrechtliche Erlaubnis im Einvernehmen mit der Wasserbehörde.

Als besondere Herausforderung bei der Grubenwassergeothermie ist vor allem das Antreffen des anvisierten Schachtes beim Bohrvorgang zu erwähnen. Weiterhin sind je nach Anlagentyp Probleme mit der Grubenwasserchemie im Sinne der Verockerung bzw. des Zusetzens der Wärmetauscher aufgetreten. Hier besteht noch Forschungsbedarf, um diese individuelle Nutzungsform der Geothermie noch effizienter und langlebiger zu betreiben.

3. Strategien zur verstärkten Nutzung von Geothermie und deren Qualitätssicherung

Im durch Interreg Central Europe geförderten **EU-Projekt GeoPLASMA-CE** wurden von Juni 2017 bis September 2019 mit insgesamt 11 Partnern aus 6 Ländern harmonisierte Methoden zur Darstellung des Potenzials oberflächennaher Geothermie sowie Strategien erarbeitet (<https://portal.geoplasma-ce.eu>). Neben den Projektergebnissen der Pilotgebiete, welche interaktiv im Webportal verfügbar sind, wurden auch Handbücher für eine erfolgreiche

zaokrování, případně zanášení tepelných výměníků. Zde existuje ještě potřeba dalšího výzkumu k tomu, aby bylo možno tuto individuální formu využití geotermální energie provozovat efektivnější a dlouhodobě.

3. Strategie pro intenzivnější využívání geotermální energie a zajištění kvality

V rámci projektu **GeoPLASMA-CE**, podpořeného Evropskou unií v rámci programu INTERREG Central Europe, byly od června 2017 do září 2019 ve spolupráci 11 partnerů z celkem 6 zemí zpracovány strategie a harmonizované metody pro popis potenciálu mělké geotermie (<https://portal.geoplasma-ce.eu>). Kromě výsledků projektu za pilotní území, které jsou na internetovém portálu dostupné v interaktivní formě, byly zpracovány rovněž příručky pro úspěšnou implementaci mělké geotermie a katalog kritérií úspěšnosti a standardy kvality. Ve výsledku bylo

Implementierung oberflächennaher Erdwärme und ein Katalog für Erfolgskriterien und Qualitätsstandards erstellt. Im Ergebnis dessen wurde verdeutlicht, dass die Hauptvoraussetzungen für ein integriertes Managementkonzept die Kenntnis des geothermischen Potenzials, ein unterstützender rechtlicher Rahmen, angemessene Qualitätsstandards, Informationen zu bestehenden Anlagen und gut ausgebildetes Personal sind [3]. Diese Voraussetzungen müssen im gesamten Lebenszyklus einer Erdwärmeanlage erfüllt sein (s. Abb. 4).

podtrženo, že hlavními předpoklady pro integrovaný koncept managementu je znalost geotermického potenciálu, podpůrný právní rámec, přiměřené standardy kvality, informace o stávajících zařízeních a dobře kvalifikovaný personál [3]. Tyto předpoklady musejí být splněny během celého životního cyklu geotermálního zařízení (viz Abb.).



Abb. 4 Hauptschwerpunkte im Lebenszyklus einer Erdwärmeanlage [3].

Obr. 4 Hlavní priority během životního cyklu geotermálního zařízení [3].

Planung	Plánování
Genehmigung	Povolení
Installation	Instalace
Betrieb	Provoz
Monitoring	Monitoring
Informationssystem	Infočmační systém

Ein ideales integriertes Managementkonzept berücksichtigt alle Installationen und deren Einfluss auf den Untergrund und verwendet Informationen aus vorhandenen Erdwärmeanlagen in der Planungsphase.

Qualitätsstandards müssen die Sicherheit, Nachhaltigkeit und Effizienz einer Anlage während ihrer gesamten Lebensphase gewährleisten. Daher müssen moderne Verfahren und Spezifikationen alle Aspekte wie Planung, Materialauswahl und zugelassene Techniken oder Methoden abdecken. Obligatorische Qualitätskontrollmaßnahmen wie Berichterstattung und Überwachung von Anlagen müssen definiert und deren Einhaltung durchgesetzt werden.

4. Fazit

Die Nutzungsmöglichkeiten oberflächennaher Geothermie in Sachsen sind aufgrund der vorhandenen geologischen Verhältnisse als gut einzuschätzen,

Ideální integrovaný koncept managementu zohledňuje veškeré instalace a jejich vliv na podloží a využívá informace z dostupných geotermálních zařízení, která se nacházejí ve fázi plánování.

Standardy kvality musejí zajistit bezpečnost, udržitelnost a efektivitu zařízení během celého životního cyklu zařízení. Moderní postupy a specifikace tak musejí pokrývat veškeré aspekty, jako je plánování, volba materiálu a schválené techniky či metody. Závazná opatření v oblasti kontroly kvality, jako je reporting a monitoring zařízení, musejí být definována a jejich dodržování je třeba prosadit.

4. Závěr

Možnosti využití mělké geotermie v Sasku je možno z důvodů zdejších geologických podmínek hodnotit jako dobré, mnohostranně již etablované. Z hlediska rozsahu využití existuje ještě

vielseitig und bereits etabliert. Beim Nutzungsumfang bestehen noch erhebliche Ausbauchancen, insbesondere bei Neubau- aber auch bei Sanierungsvorhaben.

Der frühere intensive Bergbau im Erzgebirge sowie in den Steinkohlerevieren Zwickau, Lugau-Oelsnitz und Freital hinterließ ein großes Potenzial für Grubenwassergeothermie.

Bergmännische Verwahrungsarbeiten in der Umgebung gefluteter Grubenabschnitte sollten weiterhin Möglichkeiten einer thermischen Nutzung des Grubengebäudes mit in Betracht ziehen.

Erdwärmeeinrichtungen müssen innerhalb des gesetzlichen Rahmens und unter Berücksichtigung aller geltenden Qualitätsstandards nach dem Stand der Technik ausgelegt werden. Ein verantwortungsbewusstes Management ermöglicht eine nachhaltige und effiziente Nutzung.

Die oberflächennahe Geothermie kann als Schlüsseltechnologie in städtischen und ländlichen Gebieten angesehen werden, die nicht mit Fernwärme oder Gas versorgt werden können. Der geringe Flächenverbrauch, minimale Emissionen, die Möglichkeit zum kombinierten Heizen und Kühlen, sowie

významná šance pro další rozvoj, především v rámci novostaveb nebo i sanací.

Intenzivní hornická činnosti v Krušných horách a v černouhelných revírech Cvikov (Zwickau), Lugau-Oelsnitz a Freital v minulosti zanechala velký potenciál pro geotermální využití důlních vod. Zajišťování důlních děl v okolí zatopených úseků dolů má i nadále zohledňovat možnosti termického využití důlních objektů.

Geotermální zařízení proto musejí být v rámci legislativního rámce a s přihlédnutím ke všem platným standardům kvality projektována v souladu s dosaženým stavem techniky. Zodpovědný management umožňuje efektivní a udržitelné využití.

Mělká geotermie může být v městských a venkovských oblastech, které nelze zásobovat centrálním vytápěním nebo plynem, považována za klíčovou technologii. Nízká spotřeba plochy, minimální emise, možnost kombinovaného vytápění a chlazení a kompatibilita s ostatními obnovitelnými zdroji poskytují geotermii výrazné přednosti oproti ostatním technologiím v oblasti vytápění a chlazení.

Souhrnně lze konstatovat, že geotermie může významným způsobem zvýšit

die Kompatibilität mit anderen erneuerbaren Energien geben der Geothermie einen deutlichen Vorteil gegenüber anderen Heiz- und Kühltechnologien.

efektivitu v oblasti vytápění a chlazení budov a přispět tak k ekologické politice. Nutné zdroje leží přímo pod našima nohama, stačí je jen využít.

Zusammenfassen ist festzustellen, dass Geothermie die Effizienz im Wärmesektor (Heizung und Kühlung) von Gebäuden erheblich steigern kann und einen Beitrag zur Umweltpolitik leistet. Die benötigten Ressourcen liegen direkt unter unseren Füßen. Wir müssen sie nur nutzen.

Literatur/Literatura

- [1] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), 08/2014: Erdwärmesonden Informationsbroschüre zur Nutzung oberflächennaher Geothermie. Dresden
- [2] VDI 4640 Blatt 2 (2019): Thermische Nutzung des Untergrundes Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. - VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt, Fachbereich Energietechnik, Düsseldorf
- [3] GeoPLASMA, 09/2019: Handbuch für eine erfolgreiche Implementierung oberflächennaher Erdwärme (<https://www.interreg-central.eu/Content.Node/GeoPLASMA-CE.html>)

Symbol- und Abbildungsverzeichnis

Seznam symbolů a zkratek

ELBA.Sax	Elektronische Bohranzeige Sachsen - Elektronické ohlášení vrtu v Sasku
kW	Kilowatt - Kilowatti
BfE	Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit - Federální úřad pro bezpečnost nakládání s jaderným odpadem
GeoPLASMA -CE	Shallow G eothermal Energy P Lanning, A ssessment and M apping Strategies in C entral E urope

GeoMAP-Projektvorstellung: Modellierungs-, Visualisierungs- und Prognosewerkzeuge zur Darstellung von Bergbaufolgen und Nachnutzungspotenzialen

Představení projektu GeoMAP: Modelovací, vizualizační a prognostické nástroje pro zobrazování důsledků těžby a potenciálů nového využití

Priscilla Ernst

*Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Freiber, Abteilung 10 Geologie,
Referat 105 – priscilla.ernst@smul.sachsen.de*

Sylvi Hädecke

*Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Freiber, Abteilung 10 Geologie,
Referat 105 – sylvi.haedecke@smul.sachsen.de*

Maria Ussath

*Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Freiber, Abteilung 10 Geologie,
Referat 105 – maria.ussath@smul.sachsen.de*

Projektantrag im Rahmen des
Kooperationsprogrammes Freistaat
Sachsen - Tschechischer Republik
2014-2020
(Prioritätsachse 4 - 11b) Verbesserung
der institutionellen Kapazitäten von
öffentlichen Behörden und
Interessenträgern und der effizienten
öffentlichen Verwaltung durch

Žádost o poskytnutí dotace v rámci
Programu spolupráce Česká republika –
Svobodný stát Sasko 2014-2020
(Prioritní osa 4 – 11b) Posilování
institucionální kapacity orgánů veřejné
správy a zúčastněných subjektů a
účinné veřejné správy

Förderung der Zusammenarbeit in
Rechts- und Verwaltungsfragen und der
Zusammenarbeit zwischen Bürgern und
Institutionen

Das Projekt GeoMAP dient dem Erfahrungsaustausch über geowissenschaftliche Methoden und Modellierungen als die wesentliche Grundlage für weitumfassende Betrachtungen in Bergbau- und Bergbaufolgegebieten. Ohne qualifizierte Datenerfassung und -auswertung sind keine verlässlichen Aussagen und damit auch Prognosen wie z.B. zur Grubenflutung und zum Grundwasseranstieg, zu Hebungen und Setzungen der Erdoberfläche, zu Böschungsrutschungen, zu diversen Stofftransportvorgängen aber auch zur Nutzung von Grubenwässern möglich.

Sowohl in Sachsen als auch in Tschechien konnten diesbezüglich in den letzten Jahrzehnten umfangreiche Erfahrungen mit diversen methodenabhängigen Erfassungs-, Modellierungs- und Visualisierungsprogrammen gesammelt werden. Es wurde stets deutlich, dass nur durch repräsentative Datensätze und deren hochqualifizierte Auswertung verlässliche Prognosen möglich sind. Es wurde auch deutlich, dass die Aussagegenauigkeit diverser Methoden und Modellierungsprogramme von

Projekt GeoMAP slouží k výměně informací o geovědních metodách a modelování jako zásadním podkladu pro komplexní řešení v těžebních oblastech a v oblastech, ve kterých byla těžba zastavena. Bez kvalifikovaného sběru dat a vyhodnocování není možno formulovat spolehlivé závěry a tím ani prognózy například k zatápění dolů a nárůstu hladiny podzemní vody, ke zdvihům a poklesům terénu, svahovým sesuvům a různým procesům transportu látek, ale i využívání důlních vod.

Jak v Česku, tak i v Sasku byly v uplynulých desetiletích v těchto oblastech získány rozsáhlé zkušenosti s různými programy na sběr dat, modelování či vizualizaci. Pokaždé se jasně ukázalo, že spolehlivé prognózy lze formulovat pouze na základě reprezentativních datových sad a jejich vysoce kvalifikovaném vyhodnocení. Rovněž tak bylo jasné, že výpovědní přesnost nejrůznějších metod a programů pro modelování závisí na celé řadě okrajových a místních podmínek, které se mohou v závislosti na dané lokalitě lišit.

zahlreichen Rand- und Vorortbedingungen abhängen, die standortbezogen variieren können.

Im Projekt sollen die Erfahrungen der Projektpartner zur Erfassung, Modellierung und Visualisierung geowissenschaftlicher Daten in verschiedenen Bergbau-Modellregionen gegenseitig dargestellt und diskutiert werden. Ziel der Partner ist es, durch neue Impulse die Ermittlung und Auswertung von Datensätzen und damit auch die Prognose der diversen Bergbaufolgeerscheinungen zu verbessern.

Projektstruktur:

- Lead Partner: LfULG, A10, Referat 105 Hydrogeologie (Projektkoordination)
- **Weitere Projektpartner sind:**
PP 1a: TU Bergakademie Freiberg – Institut für Geotechnik
Lehrstuhl Gebirgs- und Felsmechanik/Felsbau
Gustav-Zeuner-Straße 1, 09599 Freiberg
Amtierender Institutsdirektor /
Lehrstuhlinhaber: Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Konietzky

V rámci projektu mají být vzájemně představeny a diskutovány zkušenosti partnerů projektu z oblasti sběru, modelování a vizualizace geovědních dat v různých modelových hornických regionech. Cílem partnerů projektu je, zlepšit prostřednictvím nových impulsů získávání a vyhodnocování datových sad a tím i prognózy různých jevů v oblastech, ve kterých byla ukončena důlní činnost.

Struktura projektu:

- Hlavní příjemce: Saský zemský úřad pro životní prostředí, zemědělství a geologii, A10, referát 105, hydrogeologie (koordinace projektu)
- **Dalšími partnery projektu jsou:**
PP 1a: Technická univerzita - Báňská akademie ve Freibergu, Geotechnický ústav/Katedra mechaniky hornin
Gustav-Zeuner-Straße 1, 09599 Freiberg
Ředitel ústavu / vedoucí katedry:
Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Konietzky

PP 1b: TU Bergakademie
Freiberg – Institut für Wärmetechnik
und Thermodynamik

Lehrstuhl für Technische
Thermodynamik

Gustav-Zeuner-Str. 7, 09599
Freiberg

Lehrstuhlinhaber: Prof. Dr.-Ing.
Tobias Fieback

PP 3: Technická univerzita
Ostrava – Hornicko-geologická
fakulta

(TU Ostrava - Fakultät für Bergbau
und Geologie, Außenstelle Most)

Hauptsitz: 17.listopadu 15/2172,
Ostrava-Poruba, 708 33

PP 1b: Technická univerzita -
Báňská akademie ve Freibergu,
Ústav tepelné techniky a
termodynamiky

Katedra technické termodynamiky

Gustav-Zeuner-Str. 7, 09599
Freiberg

Vedoucí katedry: Prof. Dr.Ing. Tobias
M. Fieback

PP 3: Technická univerzita
Ostrava – Hornicko-geologická
fakulta

Pobočka Most

Hlavní sídlo: 17.listopadu 15/2172,
Ostrava-Poruba, 708 33

Modellregionen:

- Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz: Diese Modellregion wird durch den Leadpartner LfULG (LP) und den Projektpartner TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, (PP1a) bearbeitet.
- Braunkohlenrevier Most in Nordböhmen: Diese Modellregion wird durch den Projektpartner TU Ostrava (PP2) bearbeitet.
- Bergbaureviere im Erzgebirge mit vorhandenem Grubenwasser: Diese übergreifende Modellregion wird durch den Projektpartner TU

Modelové regiony:

- černouhelný revír Lugau/Oelsnitz: tento modelový region je řešen hlavním příjemcem projektu, kterým je Saský zemský úřad pro životní prostředí, zemědělství a geologii (LfULG), a partnerem projektu, Geotechnickým ústavem Technické univerzity - Báňské akademie ve Freibergu.
- Hnědouhelný revír Most v Severních Čechách: tento modelový region je řešen partnerem projektu Technickou univerzitou v Ostravě (PP2).

Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, (PP1b) bearbeitet.

- Darüber hinaus sind die gewonnenen Erkenntnisse jedoch auch in anderen Bergbaugebieten anwendbar.

- Hornické revíry v Krušných horách s výskytem důlních vod: tento přesahující modelový region je řešen partnerem projektu, Ústavem termodynamiky Technické univerzity
- Báňské akademie ve Freibergu (PP11b).
- Získané poznatky jsou však aplikovatelné i v jiných hornických regionech.

Vier Arbeitspakete:

Die geplanten **Partnerworkshops** (AP 1) dienen dem direkten Erfahrungsaustausch zwischen den Institutionen der Projektpartner, wobei jeder Partner am Beispiel seines Modellgebietes für ein spezielles Schwerpunktthema verantwortlich ist. In öffentlichen **Fachkonferenzen** (AP 2) sollen auch Erkenntnisse aus anderen Bergbaulandschaften Deutschlands und Tschechiens integriert werden. Zur weiteren Veranschaulichung und im Sinne der Nachhaltigkeit des Projektes erarbeitet jeder Projektpartner weiterhin ein **Anschaungsobjekt** (AP 3), welches wesentliche Problemstellungen seiner Modellregion erläutert und visualisiert. Diese Objekte sollen nach Ablauf des Projektes an zentralen Standorten ausgestellt und als Information für die Öffentlichkeit genutzt

Čtyři pracovní celky:

Plánované **workshopy partnerů** (pracovní celek 1) slouží k přímé výměně zkušeností mezi institucemi partnerů projektu, přičemž každý partner zodpovídá na příkladu svého modelového území za speciální hlavní téma. V rámci veřejných **odborných konferencí** (pracovní celek 2) mají být integrovány poznatky z ostatních hornických revírů v Česku a Německu. Pro další znázornění a ve smyslu udržitelnosti projektu vytvoří kromě toho každý partner projektu **prezentační objekt** (pracovní celek 3), pomocí kterého vysvětlí a vizualizuje podstatné problémy svého modelového regionu. Tyto objekty mají být po ukončení projektu vystaveny na centrálních místech a sloužit k informování veřejnosti. **Síťovací práce** (pracovní celek 4) slouží k pokračování spolupráce.

werden. Die **Netzwerkarbeit** (AP 4) dient der Fortführung der Zusammenarbeit.

1. Durchführung von Partner-internen Workshops (W) mit Exkursionen bezogen auf die Modellregionen

- W1 + W5 (PP2): Methoden zur Erfassung / Bewertung / 3D-Darstellung von geologischen Daten zu Tagebauflutung und Böschungsrutschungen in Tagebaugebieten (Braunkohlenrevier Most)
- W2 (LP): Möglichkeiten der Simulation von Grund- und Grubenwasseranstieg: Erfassung, 3D-Modellierung und -Visualisierung von geologischen Daten im Untertagebergbau (Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz)
- W3 (PP1a): Möglichkeiten der Simulation gebirgsmechanischer Prozesse wie Hebungen/Senkungen als Folgen der Grubenflutung im Untertagebergbau (Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz)
- W4 (PP1b): Grubenwasser als regenerative Energiequelle in der gesamten Bergbauregion Erzgebirge/Krušnohoří (Exkursion ins Bergwerk Reiche Zeche in Freiberg)

1. Realizace interních partnerských workshopů (W) s exkurzemi, které se vztahují k modelovým regionům

- W1 + W5 (PP2): Metody sběru / vyhodnocování / trojrozměrné prezentace geologických dat k zatápění povrchových dolů a sesuvům svahů v oblastech povrchové těžby (hnědouhelný revír Most).
- W2 (LP): Možnosti počítačové simulace nárůstu hladin podzemních a důlních vod: sběr, trojrozměrné modelování a vizualizace geologických dat v hlubinné těžbě (černouhelný revír Lugau/Oelsnitz).
- W3 (PP1a): Možnosti simulací mechanických procesů hornin, jako jsou zdvihy / poklesy terénu jako důsledek zatápění hlubinných dolů (černouhelný revír Lugau/Oelsnitz).
- W4 (PP1b): Důlní vody jako obnovitelný zdroj energií v celém hornickém regionu Krušnohoří / Erzgebirge (exkurze do dolu Reiche Zeche ve Freibergu).

2. Durchführung von öffentlichen Fachkonferenzen (K)

- K1 (PP1a): Anwendung innovativer computergestützter Methoden zur 3D-Untergrunddarstellung sowie Simulations- und Prognosemodellierung diverser Bergbaufolgen in Bergbaulandschaften
- K2 (PP 2): Methoden der Untersuchung, Bewertung und Umweltüberwachung bei der Sanierung und Rekultivierung in der Braunkohlentagebausanierung
- K3 (PP1b): Geothermisches Potenzial von Grubenwässern und Herausforderungen der Anlagentechnik
- K4 (LP, Abschlussveranstaltung): Dynamik und Prozessmodellierung der Grubenflutung in Bergbaufolgelandschaften Sachsens und Nordböhmens

3. Visualisierung durch Anschauungsobjekte

- LP+PP1a: 3D-Untergrundmodell einschließlich Überwachungsmessstelle zum Grubenwasseranstieg im Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz (Standort: Ausstellungsobjekt im Bergbaumuseum Oelsnitz)
- PP2: Feldlaboratorium zur Messung / Überwachung von Grund-/Grubenwasser, Rutschungen und

2. Realizace veřejných odborných konferencí (K)

- K1 (PP1a): Aplikace inovativních, počítačem podporovaných metod pro trojrozměrné zobrazování podloží a simulace a modelování prognóz různých důsledků důlní činnosti v hornických krajinách.
- KS (PP 2): Metody průzkumu, vyhodnocení a monitoringu sanace a rekultivace při sanaci hnědouhelných lomů.
- K3 (PP1b): Geotermální potenciál důlních vod a výzvy technického řešení zařízení.
- K4 (LP, závěrečná konference): Dynamika a modelování procesů zatápění dolů v krajinách po důlní činnosti v Severních Čechách a v Sasku.

3. Vizualizace a ukázkové objekty

- LP+PP1a: 3D model podloží včetně monitorovacího měrného profilu pro sledování nárůstu hladiny důlní vody v černouhelném revíru Lugau/Oelsnitz (umístění: Ukázkový objekt v Hornickém muzeu v Oelsnitz).
- PP3: Terénní laboratoř pro měření / sledování podzemních / důlních vod, sesuvů a rekultivací v hnědouhelném revíru Most (umístění: výsypka Most)

Rekultivierung im Braunkohlenrevier
Most (Standort: Kippe Most)

- PP1b: Aufbau eines miniaturisierten
Versuchsstandes einer
Wärmepumpe für Grubenwässer
(Standort: variabel, z.B. in
Besucherbergwerken oder in
Universitäten, öffentlichen
Einrichtungen)

4. Netzwerkbildung

Im Rahmen von quartalsweisen
Arbeitsberatungen soll das bereits in
mehreren deutsch-tschechischen
Projekten wie VODAMIN, VODAMIN II
und VitaMin entstandene Netzwerk
verstetigt werden. Ziel ist es, weitere
zukünftige Projekte zum Thema zu
initiierten (z.B. über ERASMUS der
Hochschuleinrichtungen).

GeoMAP im ehemaligen sächsischen Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz

Das derzeit in Flutung befindliche
Steinkohlenbergbaurevier
Lugau/Oelsnitz im Erzgebirgskreis
Sachsen ist bereits seit einigen Jahren
Betrachtungsfeld umfangreicher
geologischer, hydrogeologischer und
bergmännischer Untersuchungen. In
Bezug auf den stetig steigenden
Grubenwasserpegel von Lugau/
Oelsnitz besteht ein dringender
Handlungsbedarf. Aus diesem Grund
befasst sich der vorliegende Beitrag mit

- PP1b: Vybudování miniaturního
zkušebního zařízení tepelného
čerpadla pro důlní vody (umístění:
variabilní, například
v návštěvnických štolách nebo na
univerzitách, ve veřejných
institucích).

4. Vytváření sítí

V rámci čtvrtletních pracovních setkání
mají být upevněny sítě, vzniklé v rámci
několika česko-německých projektů,
jako jsou VODAMIN, VODAMIN II a
VitaMin. Cílem je inicializace dalších
perspektivních projektů k tomuto tématu
(například prostřednictvím programu
ERASMUS vysokoškolských institucí).

GeoMAP v bývalém saském černouhelném revíru Lugau/ Oelsnitz

Černouhelný revír Lugau/Oelsnitz v
okrese Erzgebirgskreis v Sasku, který je
v současné době zatápěn, je již několik
let oblastí, ve které probíhá řada
komplexních geologických,
hydrogeologických a hornických
výzkumů. Ve vztahu na neustálý nárůst
hladiny důlních vod zde existuje
naléhavá potřeba řešení řady otázek. Z
tohoto důvodu se tento příspěvek
zabývá specifickými montáň-
hydrogeologickými podmínkami tohoto
revíru a dosavadním úsilím o vytvoření

den besonderen montanhydro-geologischen Umständen im Bergbaurevier und den bisherigen Bestrebungen, eine Aussage zur Flutungsprognose zu erarbeiten. Weiterhin wird ein Einblick in den aktuellen Arbeitsstand im EU-Projekt GeoMAP mit dem Schwerpunkt auf den Herausforderungen bei der dreidimensionalen Modellierung und Visualisierung von Bergbaufolgen gewährt.

GeoMAP knüpft an vorherige Untersuchungen an. Im Zuge dieses Projektes soll das bereits bestehende 3D-Modell des bergbaubeeinflussten Bereiches der Region aktualisiert und präzisiert werden. Dabei sollen auch neue Daten mit einfließen, wie z.B. geophysikalische Messwerte, die im Rahmen des EU-Projektes Vita-Min durch die Stadt Oelsnitz/Erzgebirge beauftragt und gewonnen worden sind. Zudem wird eine umfangreiche Recherche in den sächsischen Archivbeständen zur Vervollständigung der Datenlage erfolgen (z.B. alte bergmännische Grubenrisse). Diese Arbeiten sind wesentliche Grundlage zur Verfeinerung des Modells und zur Darstellung der äußerst komplexen Bedingungen im Untergrund. Die fortschreitend vertiefende Arbeit im Untersuchungsgebiet Lugau/Oelsnitz

prognózy zatápění revíru. Dále bude v příspěvku poskytnut náhled do aktuálního stavu řešení projektu GeoMAP, podpořeného z EU, se zaměřením na výzvy v oblasti trojrozměrného modelování a vizualizace důsledků těžební činnosti.

Projekt GeoMAP navazuje na předcházející výzkumy. V rámci tohoto projektu má být provedena aktualizace a upřesnění stávajícího trojrozměrného modelu té části regionu, která byla ovlivněna důlní činností. Přitom mají být zohledněna rovněž nová data, jako například naměřené geofyzikální hodnoty, jejichž získání bylo zadáno a realizováno městem Oelsnitz/Erzgebirge v rámci projektu Vita-Min, podpořeného EU. Kromě toho bude provedena rozsáhlá rešerše v saských archivních fondech za účelem doplnění dat (například staré důlní mapy). Tyto práce představují podstatný základ pro upřesnění modelu a popis velmi komplexních podmínek v podloží. Pokračující detailní práce v řešeném území Lugau/Oelsnitz a odborná komunikace a výměna s ostatními montánními regiony jsou předpokladem pro lepší prognózu a řešení důsledků těžební činnosti. To platí především z hlediska budoucího zamezení rizikům a z pohledu

und der Fachaustausch mit anderen Bergbauregionen sind Voraussetzungen dafür, dass Bergbaufolgen besser kalkuliert und behandelt werden können. Dies gilt besonders unter dem Aspekt der zukünftigen Gefahrenabwehr und einer nachhaltigen Nutzung von Bergbaufolgelandschaften.

Das vergleichsweise kleine Revier ist durch große Abbauteufen, komplexe tektonische Störungen und zahlreiche hydraulisch wirksame Einheiten und Strukturen geprägt. Diese Voraussetzungen beeinträchtigten seinerzeit die bergmännischen Arbeiten und haben bis heute Einfluss auf die Überwachung und Prognostizierung der Bergbaufolgeerscheinungen. Bereits vor Einstellung der Abbauarbeiten im Jahr 1971 kam es zu Deformationen an der Tagesoberfläche, ausgelöst durch die Bergbautätigkeit. Diese machten sich an der Oberfläche vor allem durch Erdrisse und bis zu 17 m tiefe flächenhafte Absenkungen, sowie die Entstehung von Poldern bemerkbar [Felix et al 2007]. Die dominierenden Senkungserscheinungen klangen nach 1971 nur langsam ab. Im Folgenden kam es durch die Einstellung der Wasserhaltung und den Anstieg des Wasserspiegels im Grubengebäude zu anhaltenden leichten Hebungen der

udržitelného využívání oblastí, ve kterých byla ukončena hornická činnost.

Relativně malý revír je charakterizován velkými hloubkami těžby, komplexními tektonickými poruchami a četnými hydraulicky působícími jednotkami a strukturami. Tyto předpoklady svého času komplikovaly důlní činnost a mají dodnes vliv na monitoring a prognózu jevů, které jsou důsledky těžební činnosti. Již před zastavením těžby v roce 1971 došlo k deformacím povrchu terénu, které byly vyvolány hornickou činností. Tyto deformace se na povrchu projevovaly především trhlinami a až 17 m hlubokými poklesovými kotlinami a vznikem poldrů [Felix et al 2007]. Dominující poklesové jevy odezněly po roce 1971 jen velmi pozvolna. Následně došlo v důsledku zastavení čerpání vody a nárůstem hladiny vody v důlních objektech k přetrvávajícím lehkým zdvihům povrchu terénu, jak vyplynulo z měření nivelizace. Zatápění revíru není dodnes ukončeno. To znamená, že hladina vody v jednotkách, ze kterých byla předtím voda odčerpávána, v nichž lze předpokládat výskyt zhruba 47 Mio. m³ zbytkového vyrubaného prostoru, dosud stále stoupá [Felix et al 2010].

V rámci tehdejšího zajištění důlních děl, realizovaného do roku 1974, nebyla předpokládána žádná zařízení pro monitoring nárůstu hladiny důlních vod.

Tagesoberfläche, wie
Reviernivellements ergaben. Die
Flutung des Bergbaugebietes ist bis
heute nicht abgeschlossen. Dies
bedeutet, dass der Wasserpegel in den
vormals von der Wasserhaltung
betroffenen Einheiten, in denen nun ca.
47 Mio. m³ Resthohlraum zu vermuten

sind, immer noch steigt [Felix et al
2010].

Im Rahmen der damaligen Verwahrung
der Grubenbaue bis 1974 wurden keine
Einrichtungen für ein Monitoring des
Grubenwasserwiederanstieges
vorgesehen. Der Flutungsverlauf konnte
somit lange Zeit weder überwacht noch
beeinflusst werden. Aus diesem Grund
errichtete der Freistaat Sachsen 2003
nach umfangreichen
Voruntersuchungen die erste
Grubenwassermessstelle zur
Beobachtung der Flutung. In den
folgenden Jahren trugen EU-geförderte
Projekte wie VODAMIN, Vita-Min und
aktuell GeoMAP dazu bei, den
Wissensstand im Bereich der
Bergbaufolgen im Lugau/Oelsnitzer
Revier auszubauen und gleichzeitig
einen Wissensaustausch mit anderen
von Bergbau betroffenen Regionen in
Deutschland und dem Nachbarland
Tschechien zu generieren.

Průběh zatápění tak nebylo možno po
dlouhou dobu ani monitorovat, ani
ovlivnit. V roce 2003 tak Svobodný stát
Sasko zřídil po rozsáhlých přípravných
průzkumech za účelem sledování
zatápění první profil pro měření důlních
vod. Během následujících let přispěly
projekty, podpořené EU, jako
VODAMIN, Vita-Min a aktuálně
GeoMAP, k rozvoji stavu znalostí v
oblasti důsledků hornické činnosti v
revíru Lugau/Oelsnitzer a současně k
zahájení výměny poznatků s ostatními
regiony v Německu a sousedním
Česku, které byly rovněž postiženy důlní
činností.

Fachliche Ziele des Projektes für das LfULG sind zusammenfassend (HL-Vermerk):

- Kenntniszugewinn zur Geologie, Hydrogeologie und Tektonik im Steinkohlerevier Lugau/Oelsnitz
- Räumliche Abgrenzung des vom Grund-/Grubenwasserwiederanstieg betroffenen Gebietes um Lugau/Oelsnitz
- Datenzugewinn für eine Qualifizierung des 3D-Strukturmodells zur Modellierung und Visualisierung des Untergrundes (Geologie, Hydrogeologie, Tektonik, Grubengebäude) als Voraussetzung für eine gesicherte Prognose des Grund-/Grubenwasserwiederanstiegs im Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz sowie die Ausweisung von Gefährdungszonen

Odborné cíle projektu pro Saský zemský úřad pro životní prostředí, zemědělství a geologii lze shrnout následovně:

- získání dalších poznatků o geologii, hydrogeologii a tektonice v černouhelném revíru Lugau/Oelsnitz,
- územní vymezení oblasti, dotčené nárůstem hladiny podzemní / důlní vody v okolí Lugau/Oelsnitz,
- získání dalších dat pro kvalifikaci trojrozměrného strukturního modelu pro modelování a vizualizaci podloží (geologie, hydrogeologie, tektonika, důlní objekty) jako předpokladu pro zajištěnou prognózu nárůstu podzemní / důlní body v černouhelném revíru Lugau/Oelsnitz a vymezení ohrožených oblastí.

Literatur/Literatura

- [Felix et. al 2007] Felix, M., Berger, H.-J.; Schubert, H.; Görne, S. u. a. (2007): Bergbaufolgen im ehemaligen Steinkohlerevier Lugau/Oelsnitz unter besonderer Berücksichtigung des Grubenwasseranstiegs. - Unveröff., Sächs. Landesamt für Umwelt und Geologie; Freiberg.
- [Felix & Berger 2010] Felix, M., Berger, H.-J. (2010): Steinkohlebergbau und Bergbaufolgen im Steinkohlerevier Lugau/Oelsnitz. – Beitrag in Geoprofil Bd. 13, Sächs. Landesamt für Umwelt und Geologie; Freiberg

Wärmeübertragerversuchsstand zur In-Situ-Untersuchung von potentiellen Geothermie-standorten

Mobilní zkušební tepelný výměník pro výzkumy potenciálních lokalit pro využití geotermální energie in-situ

M.Sc. Sebastian Pose

TU Bergakademie Freiberg – Sebastian.Pose@ttd.tu-freiberg.de

Dr.-Ing. Thomas Grab

TU Bergakademie Freiberg – Thomas.Grab@ttd.tu-freiberg.de

Dipl.-Ing. (FH) Marlies Grimmer

TU Bergakademie Freiberg – Marlies.Grimmer@mabb.tu-freiberg.de

M.Sc. Lisa-Marie Wilde

TU Bergakademie Freiberg – Lisa-Marie.Wilde@ttd.tu-freiberg.de

Prof. Dr.-Ing. Tobias Fieback

TU Bergakademie Freiberg – tobias.Fieback@ttd.tu-freiberg.de

Keywords: Grubenwasser, Geothermie, Wärmeübertrager, Ablagerungen, Fouling, Erdwärmenutzung, Plattenwärmeübertrager

Klíčová slova: Důlní vody, geotermie, tepelný výměník, usazeniny, fouling, využití geotermální energie, deskový tepelný výměník

1. Einleitung

Mit der Einstellung des Bergbaus kommt es häufig zu einem Wiederanstieg des Grundwassers. Dieser Prozess birgt eine Reihe von Problemen, welche von der Verunreinigung des Grundwassers bis hin zu Hebungen und Senkungen der

1. Úvod

Po útlumu důlní činnosti dochází často k nárůstu hladiny podzemní vody. Tento proces v sobě skrývá řadu problémů, které mohou sahát od znečištění podzemní vody až po zdvihy a poklesy povrchu terénu. Oproti těmto rizikům nabízí podzemní zásobník vody také

Oberfläche reichen können. Entgegen diesen Gefahren bietet der unterirdische Wasserspeicher aber auch ein hohes thermisches Potential, welches regenerativ und ressourcenschonend zur Heizung und Kühlung unterschiedlicher Gebäuden und Anlagen genutzt werden kann.

Aufgrund des bereits im Jahre 1969 eingestellten Silberbergbau im Revier Freiberg ist die Flutung der Bergwerksanlagen bereits abgeschlossen. Somit steht in einer Tiefe von 228 m ein Volumenstrom von ca. 350 m³/h mit durchschnittlich 18 bis 20 °C im Schacht Reiche Zeche zur Verfügung. Im Freiburger Revier sind bereits 3 Grubenwasser-geothermieranlagen realisiert und unterliegen einer regelmäßigen Wartung und Überwachung. In Ehrenfriedersdorf kommen noch einmal 2 Anlagen dazu.

Die Wartung ist notwendig, da es aufgrund der Grubenwasserchemie zur Bildung von Ablagerungen und Verunreinigungen auf den Anlagenteilen kommt. Problematisch sind diese vor allem in den Wärmeübertragern, da durch die Ablagerungen ein Leistungsabfall und somit eine sinkende Wirtschaftlichkeit zu verzeichnen ist. Im Rahmen des EU-Projekts Vodamin II werden Untersuchungen zur Wasserchemie

vysoký geotermální potenciál, který lze využít regenerativně a ekologicky pro vytápění a chlazení různých budov a zařízení.

Díky zastavení těžby stříbra v revíru Freiberg v roce 1969 je zatápění důlních zařízení již ukončeno. V hloubce 228 m tak je v šachtě Reiche Zeche k dispozici objemový průtok cca 350 m³/h o průměrné teplotě 18 až 20 °C. Ve Freiberském revíru již byla realizována 3 zařízení pro geotermální využití důlních vod, která podléhají pravidelné údržbě a monitoringu. V lokalitě Ehrenfriedersdorf to jsou ještě další dvě zařízení.

Jejich údržba je nutná, protože z důvodů chemického složení důlních vod dochází k vytváření usazenin a znečištění na jednotlivých dílech zařízení. Problematická jsou tato znečištění především v tepelných výměnících, protože v důsledku usazenin lze zaznamenat pokles výkonu a tím i pokles hospodárnosti zařízení. V rámci projektu Vodamin II, podpořeného EU, jsou prováděny analýzy chemického složení vody a vznikajících usazenin. Z důvodu provozu zařízení nelze výzkumy provádět vždy v definovaných intervalech.

Aby bylo možno tento problém vyřešit, byl v rámci projektu GeoMAP zkonstruován a sestaven mobilní

und den entstehenden Verunreinigungen durchgeführt. Aufgrund des Betriebs der Anlagen lassen sich Untersuchungen nicht immer in definierten Zeitabständen repräsentativ durchführen.

Um dieses Problem zu lösen wurde ein mobiler Wärmeübertragerversuchsstand im Rahmen des Projektes GeoMAP konstruiert und aufgebaut. Dieser bietet die Möglichkeit das vorhandene Gruben- und Grundwasser direkt an unterschiedlichen Standorten zu nutzen und zu untersuchen. Somit können während einer kurzen Testphase direkte und zuverlässige Aussagen über die zu erwartende Verschmutzung, notwendige Wartungsintervalle, benötigte Materialien und Betriebsweisen getroffen werden. Durch den Einsatz unterschiedlicher Plattenmaterialien und spezielle Beschichtungen in den Wärmeübertragern des Versuchsstandes soll eine fundierte Auslegung und Auswahl für jeden einzelnen Standort getroffen werden. Weiterhin lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem Grubenwasserchemismus und den auftretenden Ablagerungen herstellen. Somit soll sich zukünftig ohne den Einsatz einer Versuchsanlage das optimale Material und Betriebsverhalten der Grund- und Grubenwasseranlage

zkušební tepelný výměník, který poskytuje možnost využít a analyzovat dostupnou důlní a podzemní vodu přímo na různých stanovištích. Během krátké testovací fáze tak je možno formulovat přímé a spolehlivé závěry o očekávaném znečištění, nutných intervalech údržby, potřebném materiálu a způsobech provozu. Využitím různých materiálů pro desky výměníku a specifické povrchové úpravě tepelných výměníků tohoto pokusného zařízení má být možno stanovit fundované vyzbrojení a výběr pro každou specifickou lokalitu. Kromě toho lze zjistit souvislosti mezi chemismem důlních vod a vyskytujícími se usazeninami. Do budoucna tak má být možno odvozovat optimální materiál a provoz zařízení pro geotermální využití důlních a podzemních vod za pomoci simulací bez nutnosti nasazení zkušebního zařízení.

mit Hilfe von Simulationen ableiten lassen.

2. Grundlagen der Grubenwassernutzung und Wasserchemie im Freiburger Revier

Bei Grubenwasser handelt es sich um alle im Bergwerk anfallenden Wasser (Summe aus Oberflächen-; Sicker- und Grundwasser im Bergwerk). Diese lassen sich nach und während des aktiven Bergbaus nutzen. Im Falle des aktiven Bergbaus muss das Bergwerk von Grubenwasser freigepumpt werden (Wasserhaltung), welches energetisch verwertet werden kann. Bei einer Stilllegung des Bergwerksbetriebs kann es entweder zu einem Wiederanstieg des Grubenwassers oder zu einer dauerhaften Wasserhaltung kommen. Diese kann notwendig sein um den Schutz des Grundwassers, sowie der Bodenstabilität zu gewährleisten. Die dauerhafte Wasserhaltung kann natürlich durch Wasserlösestollen oder als Ewigkeitsaufgabe durch Pumpen realisiert werden.

Im Bergwerksrevier Freiberg gibt es bereits 3 unterschiedlich realisierte Grubenwassergeothermieranlagen die genutzt werden. Diese sind des Lehrbergwerks „Reiche Zeche“, des Kreiskrankenhauses Freiberg und das Schloss Freudenstein. Weiterhin gibt es eine Speisung der Belüftungsanlage für

2. Základy využití důlních vod a chemického složení vod ve Freiberském revíru

V případě důlních vod se jedná o veškeré vody, které se v dole vyskytují (souhrn povrchových, průsakových a podzemních vod v dole). Tyto vody lze využívat po i během aktivní fáze těžby. V případě aktivní důlní činnosti musí být z dolu odčerpávána důlní voda, kterou lze energeticky využít. V případě útlumu dolu může nastat buď opětovný nárůst hladiny důlní vody, nebo trvalé čerpání vod. To může být nutné tehdy, pokud se jedná o zajištění ochrany podzemní vody a stability půdy. Stálé odčerpávání důlních vod může být samozřejmě realizováno pomocí odvodňovacích štol, nebo také jako stálý úkol pomocí čerpadel.

V hornickém revíru Freiberg existují lokality se třemi různě provedenými zařízeními pro geotermální využití důlních vod, která se používají. Jedná se o výukový důl „Reiche Zeche“, okresní nemocnici ve Freibergu a zámek Freudenstein. Kromě toho je z propojených dolů napájeno ventilační zařízení okresní nemocnice ve Freibergu.

Z důvodů minerálů, které jsou ve vodě rozpuštěné a transportované, dochází

das Kreiskrankenhaus Freiberg aus dem Bergwerksverbund Freiberg..

Aufgrund von gelösten und mitgeführten Mineralien kommt es zur Verschmutzung der Wärmeübertrager. Im Freiburger Revier basiert der Grubenwasserchemismus auf einem leicht mineralisierten Wasser mit den folgenden Parameter aus Tab. 1.

ke znečišťování tepelných výměníků. Chemické složení důlních vod vychází ve Freiberském revíru z lehce mineralizované vody s následujícími parametry, které jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 Ausgewählte Wasserparameter von Grubenwässern im Freiburger Revier und Ehrenfriedersdorf

Tab. 1 Vybrané parametry důlních vod ve Freiberském revíru a v lokalitě Ehrenfriedersdorf

Parameter	Einheit	Rothschönberger Stolln Freiberg	Schacht Reiche Zeche Freiberg	Hauptstolln Umbruch Freiberg	Besucher bergwerk Ehrenfriedersdorf
Wassertemperatur	°C	13,7	19,2	9,4	10,5
Volumenstrom	m³/h	1200-1800	300-370	108-200	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	876,7	1545	827,1	607
pH-Wert	-	7,4	6,0	7,1	6,9
Chlorid	mg/l	61,8	91,9	86,46	25,5
Sulfat	mg/l	269	630	250,12	165
Arsen	µg/l	2,0	145	6,31	287
Eisen	µg/l	60	650	130	70
Cadmium	µg/l	21	40	39,8	<30
Kupfer	µg/l	8	10	20	<10
Nickel	µg/l	29	30	40	20
Zink	µg/l	3571	7200	4947	640

Parameter	Parametr
Wassertemperatur	Teplota vody
Volumenstrom	Objemový průtok
El. Leitfähigkeit	Elektrická vodivost
pH-Wert	hodnota pH
Chlorid	Chlorid

Sulfat	Sulfat
Arsen	Arzén
Eisen	Železo
Cadmium	Kadmium
Kupfer	Měď
Nickel	Nikl
Zink	Zinek
Einheit	Jednotka
Schacht	Šacha
Besucherbergwerk	Návštěvnický důl

Diese Werte sind für eine Prognose der Verschmutzung der Bergwerkswasser nur bedingt nützlich. Die Elemente können in gelöster Form oder als Partikel vorliegen. Durch eine Wasserprobennahme mit einem Filter kann diese Unterscheidung getroffen werden. Für die Wasserprobe in Ehrenfriedersdorf hat sich gezeigt das Al, Cu, Fe, Ni Mn, und Zn vorwiegend als ungelöste Partikel vorliegen. Dies ist optisch im klaren Wasser nicht zu erkennen. Diese Konzentrationen sind der Ausgangspunkt für die Untersuchung und die Bildung der Ablagerungen.

3. Mechanismen der Verschmutzung und Bildung der Ablagerungen

In Wärmeübertragern haben die Ablagerungen eine negative Auswirkung auf die Leistung der Gesamtanlage und müssen durch

Tyto hodnoty lze pro vytvoření prognózy znečištění důlních vod využít pouze zčásti. Prvky se mohou vyskytovat v rozpuštěné formě nebo ve formě částic. Odběrem vzorků pomocí filtru lze toto rozlišit. V případě vzorků vody z lokality Ehrenfriedersdorf se ukázalo, že Al, Cu, Fe, Ni Mn a Zn se zde vyskytují převážně jako nerozpuštěné částice. Opticky to v čiré vodě patrné není. Tyto koncentrace představují výchozí bod pro analýzu a vytváření usazenin.

3. Mechanismy znečištění a vytváření usazenin

Usazeniny mají v tepelných výměnících negativní vliv na výkon celkového zařízení a musejí být pravidelnou údržbou odstraňovány. K vytváření

regelmäßige Wartungen entfernt werden. Die Bildung dieser kann im Bereich der Grubenwassergeothermie durch drei Mechanismen, die Kristallisation, das Partikel- und das Biofouling erfolgen.

Das Kristallisationsfouling basiert auf einer Ausfällung und Ablagerung von im Wasser gelösten Salzen auf der Werkstoffoberfläche. Eine Ursache dafür ist die Verschiebung der Löslichkeitsgrenzen bedingt durch eine Druck- bzw. Temperaturänderung. Diese lassen sich nur schwer vermeiden und sind bei der geothermischen Grubenwassernutzung unabdingbar.

Bei dem Partikelfouling werden bereits in Wasser vorhandene Schwebstoffe und Partikel organisch bzw. anorganischer Natur durch vorhanden Kräfte (Adhäsion, Gravitation, Diffusion, Trägheitseffekte oder Turbulenz) an die benetzte Oberfläche gebunden. Diese könnten durch geeignete Filter dem Wasser entzogen werden, jedoch ist dies aufwändig und wartungsintensiv.

Als Biofouling wird eine Ablagerung von schleimbildenden Bakterien an der Oberfläche bezeichnet, was zur Ausbildung eines Biofilms führt. Die so beeinflusste Oberfläche bietet zusätzlich einen größeren Angriffspunkt für die bereits genannten Foulingmechanismen. Dieser Verschmutzungsmechanismus kann

těchto usazenin při geotermálním využití důlních vod může docházet třemi mechanismy: krystalizací, srážením částic a biofoulingem.

Krystalizační fouling spočívá ve vysrážení a usazení ve vodě rozpuštěných solí na povrchu materiálu. Příčinou je posunutí mezí rozpustnosti v důsledku změny tlaku, případně teploty. Tomu lze zamezit pouze obtížně a v případě geotermálního využití důlních vod to je i nutné.

V případě foulingu částic jsou ve vodě nerozpuštěné látky a částice organické, případně anorganické povahy vázány na vlhký povrch prostřednictvím existujících sil (adheze, gravitace, difuze, efekty setrvačnosti nebo turbulence). Tyto látky lze z vody odstranit pomocí vhodných filtrů, je to však nákladné a náročné na údržbu.

Jako biofouling je označována usazenina bakterií, vytvářejících sliz, na povrchu, což vede k vytváření biofilmu. Takto ovlivněný povrch nabízí navíc větší plochu pro působení shora zmíněných foulingových mechanismů. Mechanismus vzniku znečištění nelze vyloučit, protože mikroorganismy lze zastihnout za všech podmínek.

Během vytváření usazenin dochází k charakteristickému časovému průběhu. Na začátku znečištění, během indukční fáze, není žádné významnější

nicht ausgeschlossen werden, da Mikroorganismen unter sämtlichen Bedingungen anzutreffen sind.

Bei der Bildung von Ablagerungen kommt es zu einem charakteristischen zeitlichen Verlauf. Zu Beginn der Verschmutzung ist eine Induktionszeit vorhanden, bei der keine nennenswerte Verschmutzung auftritt. In diesem Zeitraum werden auf der sauberen Oberfläche erste Nukleationskeime gebildet, bzw. erfolgt die erste Besiedlung mit Bakterien. Glatte Oberflächen und eine hohe Oberflächenenergie weisen eine besonders hohe Inkubationszeit auf. Anschließend wächst der Foulingwiderstand durch eine kontinuierliche Verschmutzung an. Dem gegenüber steht ein Abtragungsprozess durch auftretenden Scherkräfte bzw. Erosion der Strömung. Bei den meisten Anlagen kommt es zu einer asymptotischen Annäherung einer maximalen Verschmutzung. Das sich damit eingestellte Gleichgewicht ist mit einem Performanceverlust der Anlage im Bereich des Druckverlusts und des Wärmeübergangs verbunden. Somit ist die Anlage nicht mehr wirtschaftlich und effektiv zu betreiben, was eine Wartung und Reinigung der betroffenen Komponenten bzw. den Austausch ganzer Baugruppen notwendig macht. (Wilde 2019)

znečištění patrné. V tomto období se na kyselém povrchu vytvářejí první zárodky nukleace, případně dochází k prvnímu osídlení bakteriemi. Mimořádně velkou inkubační dobu vykazují hladké povrchy a vysoká povrchová energie. Následně narůstá prostřednictvím kontinuálního znečištění odpor foulingu. Proti tomu působí proces abraze v důsledku působících smykových sil, případně eroze proudění. V případě většiny zařízení dochází k asymptotnímu přiblížení maximálnímu znečištění. Takto vzniklá rovnováha je spojena se ztrátou performance zařízení v oblasti ztráty tlaku a přechodu tepla. Tím již není možné zařízení provozovat hospodárně a efektivně, což si vyžádá zásah v rámci údržby a vyčištění dotčených komponent, případně výměnu celých modulů. (Wilde 2019)S

Nejrůznější mechanismy znečištění budou následně popsány na příkladu tepelného výměníku v lokalitě Ehrenfriedersdorf. Tyto mechanismy se vyznačují dvěma charakteristickými formami výskytu. Jednak dochází k výskytu hnědé šlemovité rovnoměrně rozložené vrstvy a tvrdých černých nestejně rozložených částic a k přilnutí materiálu. Nejrůznější usazeniny jsou zobrazeny na obr. 1, jejich složení v porovnání s nepoužívanou deskou tepelného výměníku je zobrazeno na obr. 2. Na posledním obrázku je patrné, že hlavní

Die unterschiedlichen Mechanismen der Verunreinigung werden im Folgenden am Beispiel der Wärmeübertrageranlage in Ehrenfriedersdorf beschrieben und zeigen sich durch zwei prägende Erscheinungsformen. Es treten zum einen eine braune schleimige gleichverteilte Schicht auf, sowie harte schwarze ungleichverteilte Partikel und Anhaftungen auf. Die unterschiedlichen Ablagerungen sind in der Abb. und sowie die Zusammensetzung in Abb. im Vergleich zu einer unbenutzten Wärmeübertragerplatte dargestellt. In letzter ist zu sehen, dass der Hauptbestandteil der braunen Ablagerungen Eisen ist, welches als leicht kristallines Eisenhydroxid vorliegt. Weiterhin ist zu erkennen, dass ein konstanter Teil des Eisens als organisch gebundene Phase vorliegt. Die schwarzen Ablagerungen weisen einen wesentlich höheren Mangananteil auf, welche überwiegend als leicht reduzierbare Fraktion vorliegt.

součástí hnědých usazenin je železo, které je rozeznatelné jako lehce krystalinický hydroxid železa. Dále je patrné, že konstantní část železa se zde vyskytuje jako organicky vázaná fáze. Černé usazeniny vykazují výrazně vyšší podíl manganu, který se zde vyskytuje převážně ve formě lehce redukovatelné frakce.

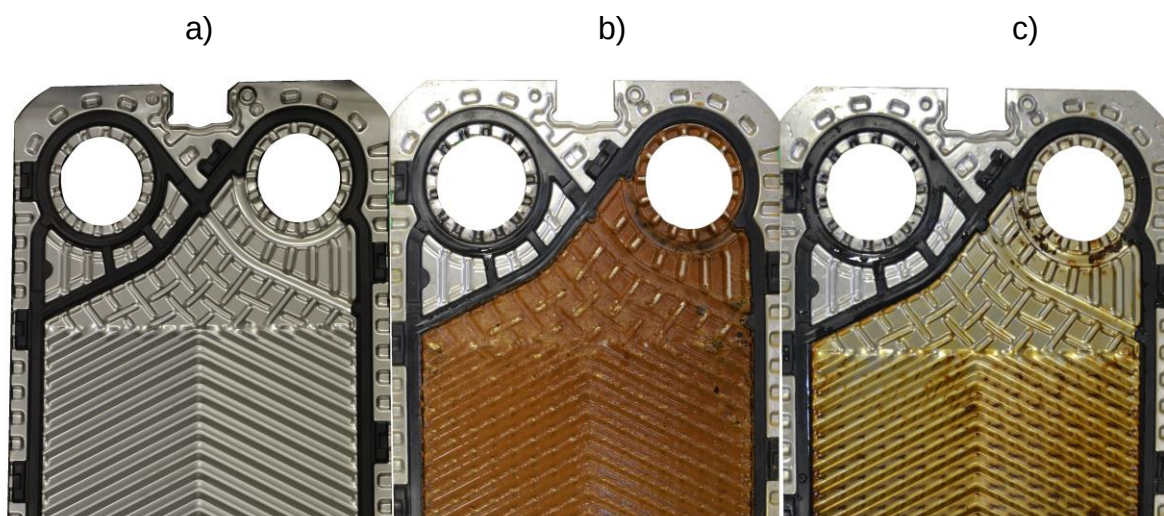


Abb. 1 Vergleich der Wärmeübertragerplatten der Grubenwassergeothermieranlage in Ehrenfriedersdorf a) vor dem Einsatz ohne Ablagerungen, b) verschmutzte Platten direkt nach dem Einsatz mit einem gleichmäßigen braunen Biofilm sowie einzelnen schwarzen Partikeln und c) verschmutzte Platte nach einer Reinigung mit einem Hochdruckreiniger mit schwarzen Ablagerungen.

Obr. 1 Porovnání desek tepelného výměníku ze zařízení pro geotermální využití důlních vod v lokalitě Ehrenfriedersdorf a) před provozem bez usazenin, b) znečištěné desky bezprostředně po provozu s rovnoměrným hnědým biofirem a jednotlivými černými částicemi a c) znečištěná deska po vyčištění vysokým tlakem s černými usazeninami.

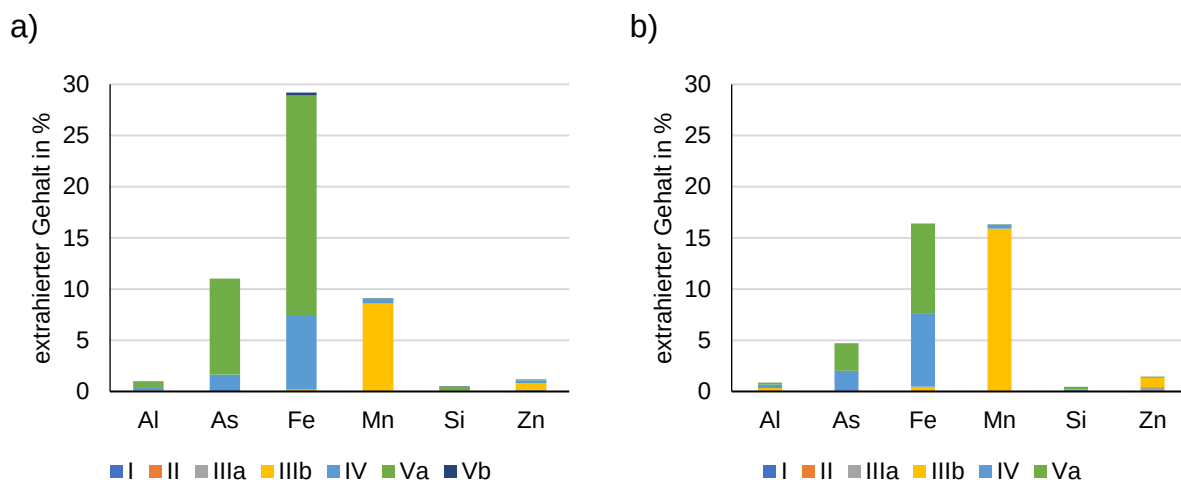


Abb. 2 Ergebnisse der sequentiellen Extraktion der Wärmeübertragerablagerungen in Ehrenfriedersdorf nach (Graupner und Kassahun et al. 2007) mit den einzelnen Löslichkeitsstufen für a) die braunen Ablagerungen sowie b) die schwarzen schwer zu entfernenden Ablagerungen, welche nach der Stufe Va vollständig aufgelöst waren

Obr. 2 Výsledky sekvenční extrakce usazenin z tepelného výměníku z lokality Ehrenfriedersdorf podle (Graupner und Kassahun et. al. 2007) s jednotlivými mezemi rozpustnosti pro a) hnědé usazeniny a b) černé, těžce odstranitelné usazeniny, které se po stupni Va zcela rozpustily.

extrahierter Gehalt in %	extrahovaný obsah v %
--------------------------	-----------------------

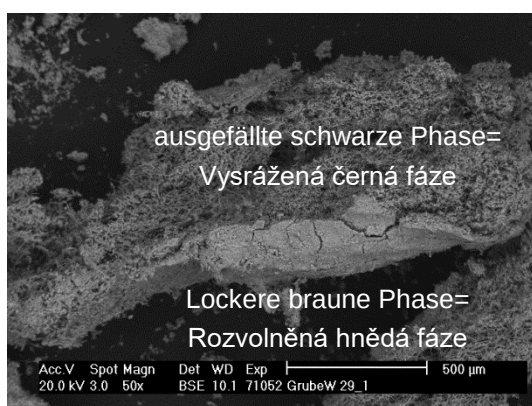
In der Abb. 1 ist zu sehen, dass ein Großteil der Ablagerungen auf den Wärmeübertragerplatten gleichverteilt und leicht durch mechanische Reinigung zu entfernen ist. Dabei handelt es sich um lockere Eisenverbindungen. Weiterhin gibt es vermehrt schwarze Phasen und Partikel, vor allem im Einlaufbereich. Diese sind wesentlich härter und bilden eine kristalline Phase, welche nach der Reinigung verbleibt. Vor allem im Einlaufbereich der Wärmeübertragerplatte kommt es zu einer vermehrten Bildung der

Na obr. 1 je patrné, že velká část usazenin na deskách tepelného výměníku je rozložená rovnoměrně a lze je lehce odstranit čištěním. Přitom se jedná o uvolněné sloučeniny železa. Dále se zde ve větší míře vyskytují černé fáze a částice, a to především v oblasti nátok. Tyto jsou podstatně tvrdší a vytvářejí krystalickou fázi, která po čištění zůstává. Především v nátokové oblasti desky dochází k většímu vytváření černých usazenin s vyšším obsahem manganu. Rozdíl mezi jednotlivými fázemi lze zjistit

schwarzen erhöht manganhaltigen Ablagerungen. Der Unterschied der einzelnen Phasen lässt sich an einer REM-EDX-Aufnahme der genommenen Proben feststellen. Dabei wurde eine getrocknete Probe mit beiden Anteilen untersucht.

pomocí snímku REM-EDX. Sušený vzorek byl analyzován s oběma podíly.

a)



b)

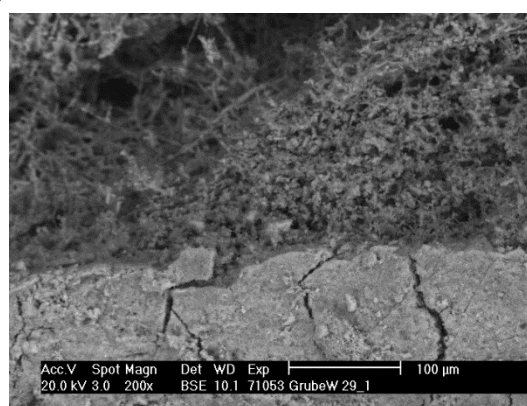


Abb. 3 REM-EDX-Aufnahme der getrockneten Proben mit den braunen und schwarzen Ablagerungen, wobei auf der Detailaufnahme b) unten der komprimierte lockere Anteil der Eisenphase, sowie der obere Bereich bestehend aus der ausgefällten Manganablagerung

Obr. 3 Snímek REM-EDX sušených vzorků s hnědými a černými usazeninami, přičemž na detailním snímku b) je dole komprimovaný rozvolněný podíl železné fáze, a horní oblast, sestávající z vysrážených usazeniny manganu.

Die Kenntnis des Bildungsmechanismus der Ablagerungen ist für eine Verhinderung dieser zwangsläufig notwendig. Wenn man die Wasserwerte vor und nach dem Wärmeübertrager vergleicht lässt sich darüber eine Aussage treffen. Durch den Einsatz von unterschiedlichen Filterstufen kann festgestellt werden, ob es sich um gelöste oder suspendierte Stoffe handelt. Bei den untersuchten Proben in Abb. ist zu erkennen, dass ab

Znalost mechanismu vytváření usazenin je pro zamezení jejich vzniku nutná. Pokud porovnáme hodnoty vody před a po tepelném výměníku, lze k této otázce formulovat závěry. Využitím různých stupňů filtrace lze zjistit, zda se jedná o rozpuštěné, nebo suspendované látky. V případě analyzovaných vzorků na obr. 4 je patrné, že od stupně filtrace 0,45µm lze vyfiltrovat velkou část sloučenin hliníku. Ten se vyskytuje ve formě částic. Rozdíl

einer Filterstufe von 0,45µm ein Großteil der Aluminiumverbindung herausgefiltert werden kann. Dieser liegt als Partikel vor. Die auftretende Differenz der Konzentrationen zwischen Vor- und Rücklauf, lässt sich durch ein Auskristallisieren erklären. Das Gleiche tritt beim Mangan und Zink auf.

koncentrací mezi přítokem a odtokem lze vysvětlit vykrystalizováním. To samé lze konstatovat v případě manganu a zinku.

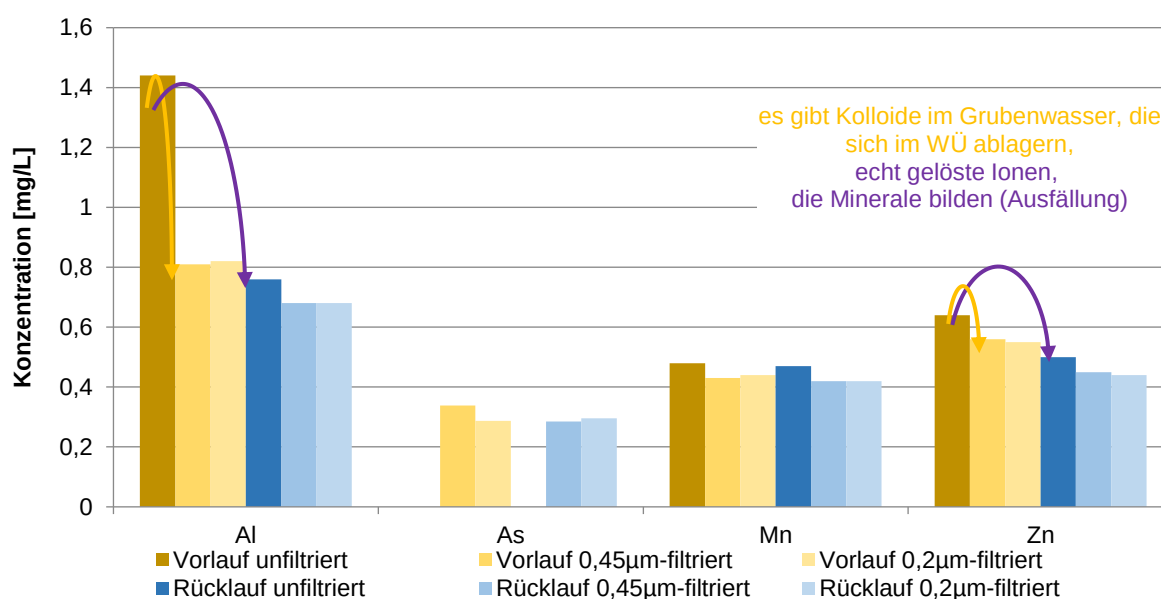


Abb. 4 Ergebnisse der Wasseranalyse des Wärmeübertrager in Ehrenfriedersdorf für den Vorlauf und den Rücklauf mit unterschiedlichen Filterstufen

Obr. 4 Výsledky analýzy vody z tepelného výměníku v lokalitě Ehrenfriedersdorf pro přítok a odtok s různými filtračními stupni.

Konzentration	Koncentrace
Vorlauf	Přítok
Rücklauf	Odtok
filtriert	Filtrováno
unfiltriert	Nefiltrováno
es gibt Kolloide im Grubenwasser, die sich im WÜ ablagern,	Podzemní voda obsahuje koloidy, které se usazují na tepelném výměníku
echt gelöste Ionen die Minerale bilden (Ausfällungen)	Reálně rozpuštěné ionty, vytvářející minerály (vysrážení)

Aufgrund der unterschiedlichen Erscheinungsform und Zusammensetzung der Ablagerung wird davon ausgegangen, dass sich die Bildungsmechanismen unterscheiden. Um das Biofouling nachzuweisen werden die Wasserproben mit einem Bakterientest auf eisenumsetzende und schleimbildende Bakterien mit BART-Tests untersucht. Durch diese kann die Belastung des Wassers mit den auftretenden Bakterien bestimmt werden und somit eine Prognose für die zu erwartende Verunreinigung getroffen werden. Diese Tests sind einfach zu handhaben und liefern innerhalb kurzer Zeit ein quantitatives Ergebnis. Somit kann die Standortwahl beschleunigt und mit aussagekräftigen Daten erstellt werden. Es hat sich gezeigt, dass sowohl eisenverwertende als auch schleimbildende Bakterien im moderaten Maße vorhanden sind. Somit ist das Biofouling eine Ursache für die Bildung von Ablagerungen. Weiterhin hat sich aufgrund der Zusammensetzung der Ablagerung gezeigt, dass die braunen eisenhaltigen Verbindungen teils organisch gebunden sind und teilweise als Partikel vorliegen. Somit wird als Bildungsursache für die Eisenphase das Partikelfouling angenommen. Für die Bildung der Phase mit dem erhöhten Mangangehalt hat sich das Kristallisationsfouling herausgestellt, da Mangan nicht als Partikel gebunden

Z důvodů různých forem a složení usazenin lze vycházet z toho, že se mechanismus jejich vzniku liší. Pro doložení biofoulingu jsou vzorky vody analyzovány pomocí bakteriového testu na bakterie, přeměňující železo a na bakterie, vytvářející šlem pomocí testu BART. Těmito testy lze určit zatížení vody vyskytujícími se bakteriemi a formulovat tak prognózu očekávaného znečištění. Provádění těchto testů je jednoduché a poskytují během krátké doby kvantitativní výsledky. Díky tomu lze urychlit volbu stanoviště a podložit ji validními daty. Ukázalo se, že jak bakterie, přeměňující železo, tak i bakterie, vytvářející šlem, se vyskytují mírně. To znamená, že biofouling je příčinou vytváření usazenin. Na základě složení usazenin se dále ukázalo, že hnědé železité sloučeniny jsou zčásti vázány organicky a zčásti se vyskytují ve formě částic. Lze tedy vycházet z toho, že příčinou tvorby železité fáze je fouling částic. V případě vytváření fáze se zvýšeným obsahem manganu se jako příčina ukázal být krystalizační fouling, protože mangan se nevyskytuje vázaný jako částice a vyskytuje se rozdílnými koncentracemi mezi přítokem a odtokem.

vorliegen und eine Differenz der Konzentrationen zwischen Vor- und Rücklauf auftritt.

4. Aufbau eines mobilen geothermischen Versuchsstandes

Wie bereits in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben ist eine zuverlässige Prognose der Verschmutzung im Wärmeübertrager von vielen Parametern, wie den Wasserwerten, Betriebsparametern oder Mikroorganismen abhängig. Somit ist eine experimentelle Untersuchung im Labor nur wenig aussagekräftig um den Gesamtprozess der Wärmeübertragerverschmutzung zu verstehen.

Da bereits Grubenwasser-geothermieranlagen in Betrieb sind, ist eine Kooperation mit den Betreibern zur Untersuchung an bestehenden Anlagen eine Methode um reale Ergebnisse zu erzielen. Dies gestaltet sich schwierig, da die Anlagen nicht für ein intensives Monitoring ausgerüstet sind und für den Anlagenbetreiber eine regelmäßige Untersuchung der Wärmeübertrager mit erhöhten Aufwand verbunden ist. Für den Betrieb der Anlagen ist der Wärmebedarf die regelnde Größe. Somit stehen die Anlagen zu Teilen des Jahres still oder sind nur im Teillastbetrieb eingesetzt. Dies verlängert die Zeiten der

4. Vybudování mobilního zkušebního geotermálního modulu

Jak bylo popsáno v předcházejících kapitolách, závisí spolehlivá prognóza znečištění v tepelném výměníku na řadě parametrů, jako jsou hodnoty, vody, provozní parametry nebo mikroorganismy. Experimentální analýza v laboratoři má pro pochopení celkového procesu znečištění tepelného výměníku malou vypovídací schopnost.

Jelikož již existují zařízení pro geotermální využití důlních vod, která jsou v provozu, je jednou z metod k dosažení reálných výsledků kooperace s jejich provozovateli při výzkumu stávajících zařízení. To je obtížné, protože zařízení nejsou vybavena pro intenzivní monitoring. A pravidelné analýzy tepelných výměníků jsou pro provozovatele těchto zařízení spojeny se zvýšenými náklady. Řídící veličinou pro provoz zařízení je potřeba tepla. Díky tomu jsou tato zařízení po část roku mimo provoz, nebo jsou v provozu pouze částečně. To prodlužuje doby znečištění a představuje to další zdržení.

S ohledem na tyto příčiny je nezávislé posouzení potenciálních lokalit pro využívání důlních vod za reálných

Verschmutzung und bedeutet eine zusätzliche Verzögerung.

Aufgrund dieser Ursachen ist eine unabhängige Untersuchung von potentiellen Grubenwasserstandorten unter realen Bedingungen nur durch einen eigens dafür entwickelten Versuchsstand möglich. Mit diesem soll eine repräsentative Beprobung des Wasser und der Ablagerungen sowie dem Test unterschiedlicher Materialien und Beschichtungen ermöglicht werden.

Somit haben sich für die Konstruktion des Versuchsstands folgende Anforderungen ergeben:

- Mobiler Einsatz der Anlage mit Zugang zum Bergwerk und einfachen Anschlussbedingungen
- Messung der Verschmutzung des Wärmeübertragers und der Anlagenparameter zur Untersuchung der Verschmutzung und dem Wirkungsgrad der Anlage
- Einfacher Zugang zu den Wärmeübertragern mit der Möglichkeit der Demontage und der Probennahme von Wasser und Ablagerungen
- Einsatz von korrosionsfesten Materialien bei allen Grubenwasser berührenden Teilen
- Schutz der Anlagenkomponenten gegen äußere Einflüsse (Feuchtigkeit, Blitzschutz, Überspannung, ...)

podmínek možné pouze pomocí zkušebního modulu, který byl pro tyto účely vyvinut. Pomocí tohoto zkušebního modulu má být možné odebírat vzorky vody a usazenin a testovat různé materiály a různou povrchovou úpravu.

Z toho vyplynuly pro konstrukci zkušebního modulu následující požadavky:

- mobilní využití zařízení s přístupem k dolu a jednoduchými možnostmi napojení,
- měření znečištění tepelného výměníku a parametrů zařízení za účelem vyhodnocení znečištění a účinnosti zařízení,
- jednoduchý přístup k tepelným výměníkům s možností demontáže a odběru vzorků vody a usazenin,
- využití materiálů, odolných vůči korozi, pro všechny díly, které přijdou do styku s důlní vodou,
- ochrana komponent zařízení proti vnějším vlivům (vlhkost, ochrana před úderem blesku, přepětím...)
- záznam a uložení naměřených hodnot po období měření a na prostředí nezávislý přenos dat.

Na základě těchto požadavků byl zkušební modul navržen a zkonstruován. Zkušební modul vyžaduje pouze připojení na elektrický

- Aufnahme und Speicherung der Messwerte über den Messzeitraum, sowie umgebungsunabhängige Übertragung der Daten

Aufgrund dieser Anforderungen ist der Versuchsstand entworfen und gebaut worden. Der Versuchsstand benötigt lediglich einen 230V Anschluss und kann damit autonom mit der Möglichkeit eines Fernzugriffs betrieben werden. Der Versuchsstand basiert auf einer Wärmepumpenanlage mit dem dargestellten Fließschema in Abb.. Dabei wird ein offenes System verwendet. Dieses verfügt über einen Kältemittelkreislauf, zwei Zwischenübertragerkreisläufe und einen Grubenwasserkreislauf. Aufgrund der im Freiburger vorherrschenden Parameter wurden die Auslegungsparameter mit 12 °C Grubenwassertemperatur verwendet.

proud 230 V a může tak být provozován autonomně s možností dálkového přístupu. Zkušební modul je tvořen systémem tepelného čerpadla s technologickým schématem, které je uvedeno na obr.5. Používán je otevřený systém podle obr. 1.b. Systém tak disponuje oběhem chladiva, dvěma primárními oběhy a jedním oběhem důlní vody. Na základě podmínek, které ve Freibergu převládají, bylo použito vystrojení pro 12°C teploty důlních vod.

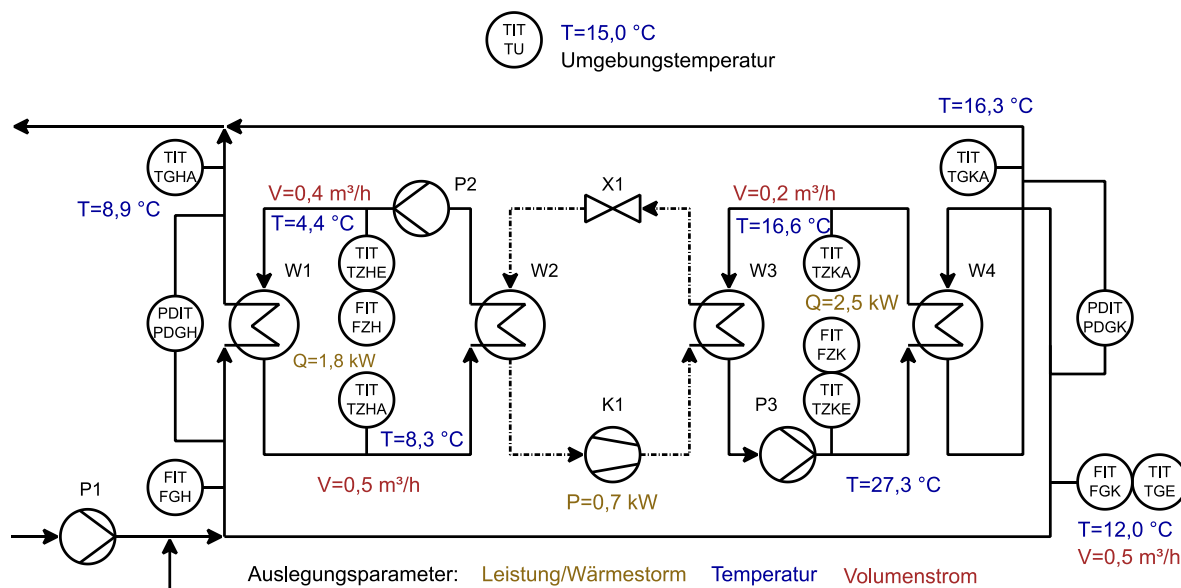


Abb. 5 Schema der Grubenwassergeothermieranlagen zur Untersuchung der Wärmeübertrager-verschmutzung mit der Angabe der Auslegungsparameter von Temperatur T, Volumenstrom V, sowie Wärmeströme Q und Leistung P

Obr. 5 Schéma zařízení pro využití důlní vody za účelem posouzení znečištění tepelných výměníků s uvedením parametrů: teplota T, objemový proud V a teplotní proudy Q a výkonem P.

Umgebungstemperatur	Okolní teplota
Auslegungsparameter	Konstrukční parametry
Leistung/Wärmestrom	Výkon / Tok tepla
Temperatur	Teplota
Volumenstrom	Objemový průtok

Die Verwendung der Zwischenübertragerkreisläufe erhöht den Aufwand, bietet jedoch die Möglichkeit des direkten Zugriffs auf die Wärmeübertrager. Nur so ist es möglich mit geringem Aufwand die Ablagerungen und Mechanismen der Verschmutzung zu untersuchen. Die Anlage verfügt über 3 grubenwasserentnahmestellen. Somit können direkt vor bzw. nach dem Wärmeübertrager die Wasserparameter

Využití primárních oběhů zvyšuje sice náklady, nabízí však možnost přímého přístupu k tepelnému výměníku. Pouze takto je možné analyzovat usazeniny a mechanismus vzniku znečištění. Zařízení disponuje 3 místy pro odběr podzemní vody. Díky tomu je možno analyzovat parametry a složení vody přímo před, popřípadě po tepelném výměníku. Díky využití deskových tepelných výměníků je dosahováno rychlého přístupu a velké plochy v

und –zusammensetzung untersucht werden. Durch die Verwendung von Plattenwärmeübertragern wird die schnelle Zugänglichkeit und ein großes Flächen zu Leistungsverhältnis erreicht. Somit kann die Anlage kompakt gebaut werden, was einen Einsatz im Grubengebäude ermöglicht. Weiterhin lassen sich durch einen Austausch der Wärmeübertragerplatten

unterschiedliche Materialien und Beschichtungen während eines Testlaufs untersuchen.

Der Aufbau des Versuchstandes hat 4 Hauptkomponenten, die Wärmepumpe, Grubenwasserpumpe, die Wärmeübertrager sowie die Sensoren. Diese sind in der Abb. im 3D-Modell sowie dem Versuchstand markiert. Gemessen wird bei der Anlage der Volumenstrom, der Druckverlust über den Wärmeübertrager, sowie die Temperaturen aller Fluide. Somit kann eine Bilanzierung der Wärmeverluste durch die zeitabhängige Verschmutzung der Wärmeübertrager erfolgen. In der Anlage wird das Grubenwasser durch die Grubenwasserpumpe angesaugt und der Volumenstrom wird aufgeteilt. Somit kann ein Heizen und Kühlen mit einer Anlage realisiert und auf je einem Wärmeübertrager die Ablagerungen die einzelnen Betriebsfälle bzw. Jahreszeiten untersucht werden.

poměru k výkonu. Díky tomu je možné zkonstruovat zařízení jako kompaktní, což následně umožní jeho využití v důlních objektech. Kromě toho lze díky výměně desek tepelného výměníku sledovat během testovacího provozu různé materiály a povrchy.

Zkušební modul se skládá ze 4 hlavních komponent: tepelného čerpadla, čerpadla důlních vod, tepelného výměníku a senzorů, které jsou vyznačeny na obr. 6 ve 3D modelu a na zkušebním modulu. Měřen je objemový proud, tlaková ztráta přes tepelný výměník a teploty všech fluid. Díky tomu může být zpracována bilance tepelných ztrát v důsledku znečištění tepelných výměníků v závislosti na čase. Důlní vody jsou nasávány čerpadlem důlních vod a jejich objemový proud je posléze rozdělen. Díky tomu lze realizovat vytápění a chlazení pomocí jednoho zařízení a vždy na jednom tepelném výměníku sledovat usazeniny jednotlivých způsobů provozu, případně ročních období.

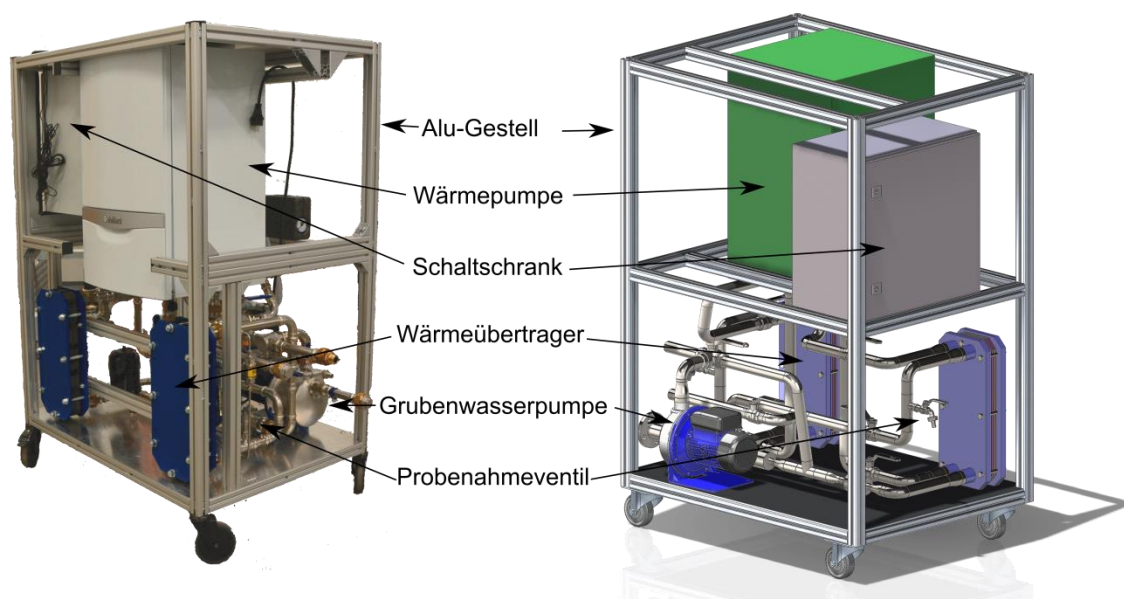


Abb. 6 3D-Modell sowie Abbildung der realen Versuchsanlage zur Untersuchung der Wärmeübertragerverschmutzung bei der geothermischen Grubenwassernutzung mit einer Beschriftung der wichtigsten Komponenten

Obr. 6 3D model a zobrazení reálného zkušebního zařízení pro sledování znečištění tepelných výměníků při geotermálním využití důlních vod s popisem nejdůležitějších součástí.

Alu-Gestell	Hliníkový rám
Wärmepumpe	Tepelné čerpadlo
Schaltschrank	Ovládací skříňka
Wärmeübertrager	Výměník tepla
Grubenwasserpumpe	Důlní vodní čerpadlo
Probenahmeventil	Vzorkovací ventil

5. Ergebnisse der Untersuchungen des Versuchsstands und der Ursache der Ablagerungsbildung

Im Rahmen der Untersuchung des Projekts Vodamin II soll die Ursache für die Verschmutzung in den Wärmeübertragern ermittelt werden. Zu diesem Zweck wurden

5. Výsledky zkoušek pomocí zkušebního modulu a příčiny vytváření usazenin

V rámci řešení projektu VODAMIN II mají být zjištěny příčiny znečišťování tepelných výměníků. Za tímto účelem byla provedena simulace proudění v oblasti desek tepelných výměníků a

Strömungssimulationen im Bereich der Wärmeübertragerplatten und der Gesamtanlage durchgeführt, um einen Zusammenhang zwischen den Strömungsparametern und den Ablagerungen zu ermitteln. Dazu wird eine numerische Simulation auf Basis der Plattengeometrie durchgeführt. Diese ist in der Abb. dargestellt. Bei der Untersuchung der Feststoffproben hat sich gezeigt, dass ein symmetrisches Ablagerungsmuster auftritt. Dieses konnte mit der Simulation erzeugt werden, um die auftretenden Geschwindigkeiten und Wirbelstärken zu vergleichen.

celkového zařízení s cílem zjistit souvislosti mezi parametry proudění a usazeninami. Pro tyto účely je prováděna numerická simulace na bázi geometrie desek, která je zobrazena na obr. 7. Při analýzách vzorků pevných látek se ukázalo, že se zde vyskytuje symetrický vzorec usazenin. Ten bylo možno vytvořit pomocí simulací za účelem porovnání vyskytujících se rychlostí a vorticity.

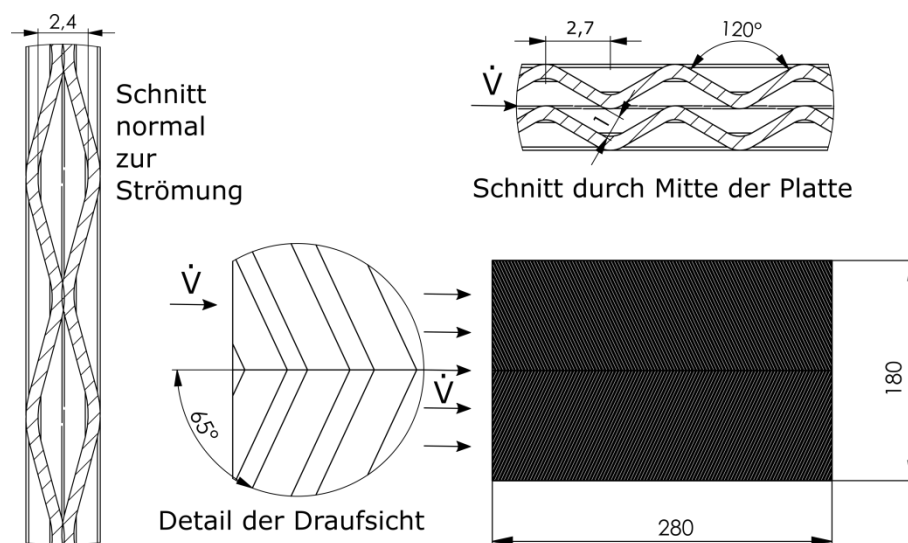


Abb. 7 Berechnungsgebiet für die Numerische Simulation der Wärmeübertragerplatten und Beschreibung der Plattengeometrie in mm

Obr. 7 Oblast výpočtů pro numerickou simulaci desek tepelného výměníku a popis geometrie desek v mm.

Schnitt normal zur Strömung	Odřízněte normální proud
Detail der Draufsicht	Detail pohledu shora
Schnitt durch Mitte der Platte	Prořízněte střed desky

Die Berechnung erfolgt mit der Konstruktionssoftware SolidWorks und dient der Verdeutlichung von Strömungsabläufen und Änderungsbereichen. Eine quantitative Zuordnung und Bestimmung der Parameter ist nicht Ziel der Untersuchung. Ausgewertet wird dabei das letzte Drittel der durchströmten Platte, da es zu Beginn zur Einlaufprozessen und Abweichungen kommen kann. Die Maße der Berechnungsgeometrie basieren auf den real eingesetzten Wärmeübertragerplatten.

Für die Berechnung wird eine laminar bzw. turbulente stationäre Strömung mit Wasser an einer strukturierten Wand betrachtet. Der Eingangsvolumenstrom von 0,3 m³/h je Platte ergibt sich aus den realen Anlagenparametern. Der Wärmeübergang wird nicht berücksichtigt und hat somit keinen Einfluss. Dieser kann bei der Betrachtung der Strömungsverhältnisse vernachlässigt werden. Bei dem Partikelfouling spielt der Temperatureinfluss keine Rolle. Die auftretenden wandnahen Geschwindigkeiten zeigen, dass es Totwassergebiete gibt, in denen eine Ablagerung zu erwarten ist. Weiterhin treten vermehrt Scherspannungsunterschiede auf, wodurch ein erhöhter Abtrag der Foulingschicht zu erwarten ist. Dieser ist

Výpočet byl proveden pomocí konstrukčního softwaru SolidWorks a slouží ke zobrazení procesů proudění a oblastí změn. Kvantitativní přiřazení a určení parametrů není cílem tohoto výzkumu. Jelikož na začátku desky může docházet k nátokovým efektům a odchylkám, je vyhodnocována poslední třetina protékané desky. Rozměry geometrie výpočtu vycházejí z reálně použitých desek výměníků.

Pro účely výpočtu je uvažováno laminární, případně turbulentně stacionární proudění s vodou na strukturované stěně. Vstupní objemový proud 0,3 m³/h odpovídá reálným parametrům zařízení. Přenos tepla není zohledňován a nemá tedy žádný vliv. Lze jej při sledování vlastností proudění zanedbat. V případě floulingu částic nehraje vliv teploty žádnou roli. Dosažené rychlosti v blízkosti stěny ukazují, že existují oblasti mrtvé vody, v nichž lze očekávat výskyt usazenin. Dále se ve větší míře objevují rozdíly ve smykovém napětí, v důsledku čeho lze očekávat zvýšený odnos foulingové vrstvy. To je patrné na obr. 8. Dále je v oblasti nátoku a v bodě stagnace mezi jednotlivými deskami patrný mimořádně vysoký potenciál pro vznik usazenin.

in der Abb. 8 zu erkennen. Weiterhin sieht man das im Bereich der Anströmung und des Staupunktes zwischen den einzelnen Platten ein besonders hohes Potential zur Ablagerung besteht.

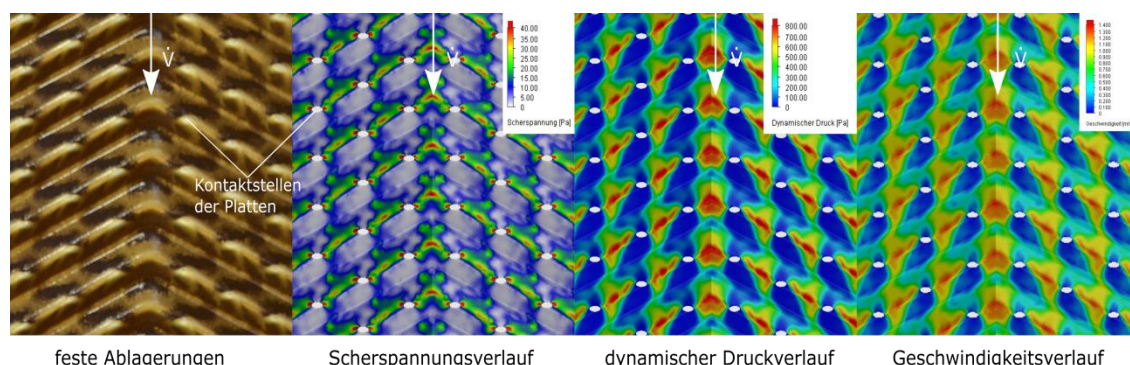


Abb. 8 Vergleich der nach dem Reinigen mit einem Hochdruckreiniger verbliebenen Ablagerungen mit den Strömungsparametern Scherspannung, dynamischer Druck und der Geschwindigkeit auf einer Wärmeübertragerplatte

Obr. 8 Porovnání po čištění usazenin, které zůstaly po čištění vysokotlakým čističem, s parametry proudění smykové napětí, dynamický tlak a celková rychlost na desce tepelného výměníku.

Kontaktstellen der Platten	Kontaktní body desek
Feste Ablagerungen	Pevné vklady
Scherspannungsverlauf	Křivka smykového napětí
Dynamischer Druckverlauf	Dynamická tlaková křivka
Geschwindigkeitsverlauf	Křivka rychlosti

Um den Einlaufbereich zu untersuchen, wurde vereinfacht ein Vergleich zwischen den Strömungsprofilen zwischen der ersten und der letzten Platte des Versuchsstandes simuliert. Diese Simulation basiert auf der Geometrie des Versuchsstandes sowie den für die Auslegung verwendeten Volumenströmen mit einer vereinfachten Plattengeometrie. Diese

Za účelem sledování oblasti nátok bylo zjednodušeně simulováno porovnání mezi profily proudění mezi první a poslední deskou zkušebního modulu. Tato simulace vychází z geometrie zkušebního modulu a objemových proudů, použitých pro nadimenzování se zjednodušenou geometrií desek. Ty se liší od hodnot reálné geometrie desek. Na obr. 9 je znázorněno, že k silným

unterschieden sich von den Werten der für die reale Plattengeometrie. In Abb. 99 zeigt sich, dass vor allem um den Einströmbereich eine starke Änderung der Geschwindigkeit auftritt. Dies deckt sich mit der Position der auftretenden Ablagerungen aus Kapitel 4. Über den Rest der Wärmeübertragerplatten ist ein gleichmäßiges Geschwindigkeits-profil entlang der Stromlinie zu erkennen. Somit lässt sich die angenommene Vereinfachung für die Berechnung der einzelnen Wärmeübertragerplatten bestätigen.

změnám rychlosti dochází především kolem oblasti nátoku. To se kryje s polohou vyskytujících se usazenin z kapitoly 4. Po zbytek desek tepelného výměníku je patrný rovnoměrný profil rychlosti podél proudnice. Tím lze potvrdit předpokládané zjednodušení pro výpočet jednotlivých desek tepelných výměníků.

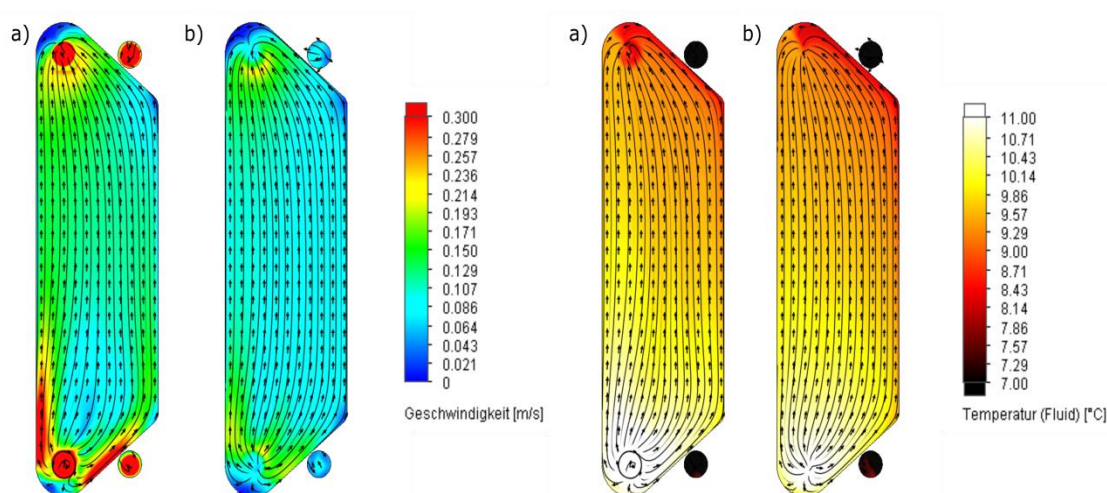


Abb. 9 Temperatur und Geschwindigkeitsverlauf a) Einströmplatte und b) der letzten Platte des Wärmeübertragers mittig im Wärmeübertragerkanal mit einer vereinfachten Plattengeometrie ohne Strukturierung

Obr. 9 Teplota a průběh rychlosti a) nátoková deska a b) poslední deska tepelného výměníku středově v kanálu tepelného výměníku se zjednodušenou geometrií desek bez strukturování.

Geschwindigkeit	Rychlost
Temperatur (Fluid)	Teplota (Tekutina)

Der Vergleich der auftretenden Ablagerungen bestätigt die drei genannten

Porovnání vyskytnuvších se usazenin potvrzuje tři uvedené mechanismy vzniku znečištění. Jak bylo popsáno

Verschmutzungsmechanismen. Wie in Kapitel 3 beschrieben ist das Partikelfouling, in Kombination mit dem Biofouling zu beobachten. Dabei können die braunen eisenhaltigen Ablagerungen auf einen bakterieninduzierten

Anlagerungsprozess zurückgeführt werden. Durch eine Variation der Strömungsgeschwindigkeit bzw. das Spülen mit Druckluft lassen sich dies beseitigen. Das Kristalisationsfouling wird als Ursache für die Bildung der schwarzen kristallinen Ablagerungen, welche durch eine Verschiebung der Löslichkeitsgrenze erfolgt. Diese Ablagerungen lassen sich nur chemisch entfernen.

Für die weitere Untersuchung soll die Verknüpfung des Wärmeübergangs bei der numerischen Lösung der realen Plattengeometrie berücksichtigt werden, um den lokale Temperaturgradienten zu ermitteln. Weiterhin sollen die eingesetzten unterschiedlichen Plattenmaterialien und Beschichtung erweitert werden und bei verschiedenen Grubenwasser-chemismen untersucht werden.

Literatur/Literatura

- [1] Graupner T., Kassahun A., Rammlmair D., Meima J. A., Kock D., Furche M., Fiege A., Schippers A., Melcher F. Formation of sequences of cemented layers and hardpans within sulfide-bearing mine tailings (mine district Freiberg, Germany), p. 2486-2508, Appl. Geochem., 22 (2007)
- [2] Wilde, L.: Untersuchung zum Fouling in Wärmeübertragern bei der geothermischen Grubenwassernutzung, Masterarbeit, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg (2019)

v kapitole 4 je nutno fouling částic sledovat v kombinaci s biofoulingem. Příčiny vzniku hnědých železitých usazenin lze přitom sledovat v procesu vytváření usazenin, který je indukován bakteriemi. To lze potvrdit prostřednictvím variace rychlosti proudění, případně proplachování vzduchem. Krystalizační fouling je považován za příčinu vytváření černých krystalických usazenin, ke kterému dochází v důsledku posunu mezi rozpustnosti. Tyto usazeniny lze odstranit pouze chemickou cestou.

V rámci dalších výzkumů má být zohledněno propojení tepelného výměníku při numerickém řešení reálné geometrie desek s cílem zjištění lokálních teplotních gradientů. Dále mají být rozšířeny použité různé materiály a povrchové úpravy desek a sledovány za různého chemického složení důlních vod.

Methoden der Erkundungsarbeiten auf rekultivierten Flächen nach dem Bergbau

Metody průzkumných prací na rekultivovaných územích po hornické činnosti

Martin Klempa

Hochschule für Bergbau – Technische Universität in Ostrau – martin.klempa@vsb.cz

Pavel Pospíšil

Hochschule für Bergbau – Technische Universität in Ostrau

Aleš Poláček

Hochschule für Bergbau – Technische Universität in Ostrau

1. Einführung

Die rasche Einstellung des Kohlebergbaus und die folgende Beseitigung der Gruben durch Flutung und Verwahrung der Restlöcher in den Jahren 1991 bis 1993 im Ostrauer Gebiet verursachte eine Reihe technischer Probleme. So musste die Aufrechthaltung des Grundwasserspiegels in 358 m B.p.v. durch eine zentrale Wasserhebung an der Grube Ostrava in der Grube des ehemaligen Betriebes Jeremenko geregelt werden. Das Ziel der Wasserhebung ist eine ständige Absenkung des Grubenwassers eines karbonischen Grundwasserleiters, um das Überfließen des Grundwassers in die Peterswalder Brachysynklinale und von hier aus in das Karwiner Gebiet zu

1. Úvod

Rychlé ukončení těžby uhlí a následná likvidace dolů zatopením a zasypáním jam v letech 1991 – 1993 v ostravské oblasti vyvolalo celou řadu technických problémů. Bylo nutné řešit udržení hladiny podzemních vod na kótě - 358 m B.p.v. centrálním čerpáním důlních vod na dole Ostrava v jámě bývalého závodu Jeremenko. Cílem čerpání je trvalé snižování hladiny podzemních vod karbonické zvodně tak, aby nedocházelo k přelivu podzemních vod do petřvaldské brachysynklinály a odtud pak do dolů karvinské oblasti. Dalším úkolem stabilizace výše hladiny podzemních vod v ostravské kotlině je zabránit komunikaci nově obnovené karbonické zvodně s přípovrchovými kvarterními vodami a také s možným

verhindern. Eine weitere Aufgabe der Stabilisierung des Grundwasserspiegels im Ostrauer Kessel ist es, die Verbindung des wieder erneuten karbonischen Grundwasserleiters mit dem oberflächennahen Quartärwasser sowie mögliche Auswirkungen auf den Bauuntergrund von Bauwerken zu verhindern. Zur Beobachtung der hydrogeologischen Situation in ehemaligen DP der beseitigten Gruben wurde ein Monitoringnetz errichtet.

An Stellen, an denen das kohlenhaltige Karbon zur Oberfläche aufsteigt oder die Deckschicht die Mächtigkeit von einigen Metern bis hin zu zehn Metern erreicht, insbesondere an Stellen ehemaliger Gruben und Schächte, dringt auf die Oberfläche Methangas durch. Aus der Vergangenheit, aber auch aus der jüngsten Vergangenheit (Grube Hugo in Schlesisch Ostrau (Slezská Ostrava)) sind auch Fälle von Zündungen und Explosionen eines Methan-Luft-Gemisches im Zusammenhang mit dem

Eindringen von CH_4 in menschliche Siedlungen, sowie Industrieanlagen bekannt.

Das Gasvermögen der Ostrauer Gruben wird bereits seit 1895 verfolgt, damals waren es 130 000 m^3/Tag . Die Steigerung des Abbaus und die Erweiterung DP (insbesodere der Gruben Heřmanice und Jan Šverma)

ovlivněním podzákladí staveb. Pro pozorování hydrogeologické situace v bývalých DP likvidovaných dolů je zřízena monitorovací síť.

V místech, kde uhlonosný karbon vychází na povrch nebo pokryvný útvar dosahuje mocnosti několika metrů až prvních desítek metrů, a zejména v lokalitách bývalých jam a štol, proniká na povrch metan. Z minulosti, ale i z nedávné doby (bývalá jáma Hugo ve Slezské Ostravě) jsou známy případy zapálení i exploze metano – vzdušné směsi v souvislosti s pronikáním CH_4 do lidských obydlí i průmyslových objektů.

Plynodajnost ostravských dolů je dlouhodobě sledována od roku 1895, kdy činila 130 000 m^3/den . Zvyšování těžby a rozšiřování DP (především dolů Heřmanice aj. Šverma) se projevilo i ve vzrůstající plynodajnosti, která dosáhla maxima v roce 1966 (533 000 m^3/den). S postupem likvidačních prací se snížila plynodajnost na větraných lokalitách na cca 120 000 m^3/den . Metan hromadící se v důlních prostorách, jejichž objem se odhaduje asi na 100 miliónů m^3 , proniká spolu s dalšími plyny (např. CO_2 a CO) na povrch únikovými cestami, jimiž jsou především bývalé jámy. Ze zhruba 280 likvidovaných jam v ostravské části (celkový počet jam a štol se blíží 400) je z pohledu úniku CH_4 považováno za nejnebezpečnější 55 jam. Jsou proto prováděna nákladná opatření k odvodu

wirkte sich auch auf das zunehmende Gasvermögen aus, das den Höhepunkt im Jahre 1966 (533 000 m³/Tag) erreichte. Im Zusammenhang mit der fortschreitenden Stilllegung ging das Gasvermögen an bewetterten Standorten auf etwa 120 000 m³/Tag zurück. Das sich in den Grubenbauen, deren Volumen auf etwa 100 Millionen m³ geschätzt wird, anstauende Methangas dringt zusammen mit weiteren Gasen (zum Beispiel CO₂ und CO) zur Oberfläche auf Wegen, zu denen insbesondere die ehemaligen Gruben gehören. Von den etwa 280 beseitigten Gruben im Ostrauer Teil (die Gesamtzahl an Gruben und Stollen rund 400) sind aus der Sicht der Freisetzung von CH₄ 55 Gruben am gefährlichsten. Deswegen werden aufwändige Maßnahmen zum Ableiten des Methans in die Luft ergriffen. Es besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass in Folge des Anstiegs des Wasserspiegels bis auf das festgelegte Niveau und im Zusammenhang mit dem bergbaulich beeinflussten Massiv, es zu einer weiteren Freisetzung von CH₄ auf die Oberfläche kommen wird. Nach der Stabilisierung des Wasserspiegels des karbonischen Grundwasserleiters kann ein fortschreitender Rückgang der Exhalation erwartet werden. Das Karbonische Massiv wird dann ohne Zweifel auch weiterhin dauerhaft Methan produzieren. Deswegen ist ein

metanu do ovzduší z těchto míst. Je velmi pravděpodobné, že se stoupáním vodní hladiny po stanovenou úroveň a s konsolidací hornicky ovlivněného masivu bude docházet k dalšímu vytěšňování CH₄ na povrch. Po ustálení vodní hladiny karbonické zvodně lze očekávat pozvolný pokles exhalace. Karbonický masiv bude však nesporně nadále trvale produkovat metan. Proto je dlouhodobé monitorování exhalace metanu nezbytným opatřením.

Určité nebezpečí představuje rovněž narušení stability neúplně, nedostatečně nebo nevhodně likvidovaných jam a jejich blízkého okolí, případně starých mělkých jam, které se nepodařilo dosud přesně lokalizovat. Např. v roce 1973 došlo k neřízené devastaci svrchní části jámy Salma II v DP Heřmanice, v roce 1979 jámy Hedvika Dolu J. Fučík, do níž byla stržena i těžní věž.

langfristiges Monitoring des Ausstoßes von Methan eine notwendige Maßnahme.

Eine bestimmte Gefahr stellt auch die Störung der Stabilität von nicht ganz, unzureichend oder nicht entsprechend beseitigten Gruben, sowie ihrer nahen Umgebung dar, bzw. alter flacher Gruben, deren Standort bisher nicht genau festgestellt werden konnte. So kam es zum Beispiel im Jahre 1973 zu einer unregelmäßigen Zerstörung des oberen Teiles der Grube Salma II im DP Heřmanice, 1979 der Grube Hedvika der Grube J. Fučík, in die auch der Förderturm niedergerissen wurde.

2. Typische Beispiele der Störung der Stabilität im Fall von unzureichend oder nicht entsprechend beseitigter Gruben

2.1. Flache Gruben

Flache Gruben bis 10 m, die keine Verbindung mit weiteren Grubenbauen haben, vollkommen mit heute bereits verdichtetem Material verfüllt sind, ohne Gefahr einer Freisetzung des Methans auf die Oberfläche, werden nur mit einer Hinweistafel mit grundlegenden Angaben zur Identifizierung versehen.

2.2. Schurfe, Fundgruben

Nach ihrer Auffindung werden in den Schürfen mit Hilfe von Bohrungen der

2. Typické příklady narušení stability nedostatečně nebo nevhodně likvidovaných jam

2.1. Jámy mělké

Mělké jámy do 10 m, které nemají komunikaci s dalšími důlními prostory, jsou zcela zasypány dnes již zhuťným materiálem, bez nebezpečí výstupu metanu na povrch, se označí pouze informační tabulkou se základními identifikačními údaji.

2.2. Jámy kutací, nálezné

V jámách kutacích, po jejich dohledání, se vrtáním ověřuje stav a druh zásypového materiálu. Pokud jsou zjištěny nedostatky v založení důlních děl v založení důlních děl, případně

Zustand sowie die Art des Versatzes überprüft. Werden Mängel in der Verwahrung der Grubenbaue, bzw. Freisetzung von Sumpfgasen festgestellt, ist ein Projekt zur Sanierung aufzustellen.

2.3. Gruben mit einer verringerten Stabilität

Wird eine verringerte Stabilität des Versatzes festgestellt (dies macht sich unmittelbar in der Schachtmündung bemerkbar), ist eine Sanierung notwendig.

2.4. Nichtabgesicherte Gruben in Folge des Abrutschens des Versatzes oder des umliegenden Gesteins

In diesem Fall handelt es sich um offensichtliche Freiräume in dem Schaft der Grube. Die Folge der Absenkung des Versatzes kann auch eine Deformation der Grube sein. Auch in diesem Fall sind Abhilfemaßnahmen einzuleiten.

2.5. Horizontale und tonnlägige alte Grubenbaue

Die Beseitigung und Verwahrung horizontaler und tonnlägeriger Grubenbaue gestaltet sich dadurch komplizierter, weil die Dichte sowie die Stabilität nicht nur des Mundloches, sondern auch einer relativ großen Länge dieser Grubenbaue zu

výstup důlních plynů je nezbytné zpracovat projekt ne rekonstrukci.

2.3. Jámy se sníženou stabilitou

Je-li zjištěna snížená stabilita zásepového materiálu, zpravidla se projevují přímo v ústí jámy, je nezbytná rekonstrukce.

2.4. Jámy nebezpečné ujetím zásepového materiálu nebo okolních hornin

V tomto případě se evidentně jedná o volné prostory v jámovém stvolu. V důsledku poklesu zásepového materiálu může dojít i k deformaci jámové ohlubně. I tento případ vyžaduje zjednání nápravy.

2.5. Horizontální a úklonná stará důlní díla

Likvidace a zajištění horizontálních a úklonných důlních děl je složitější v tom, že je nutno zajistit těsnost a stabilitu nejen ústí, ale často i v poměrně značné jejich délce. Problém spočívá v tom, že k výstupu důlního plynu může docházet nejen v ústí díla, ale v důsledku závalu i podél průběhu důlního díla.

gewährleisten ist. Das Problem beruht darin, dass Sumpfgas nicht nur am Mundloch, sondern in Folge eines Verbrauchs auch entlang des Verlaufes des Grubenbaus freigesetzt werden kann.

3. Methodische Aspekte für das Aufsuchen horizontaler Grubenbaue in kleinen Teufen

Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse stellen einen Versuch einer ersten systematischen Untersuchung der Möglichkeiten ausgewählter geophysikalischer Methoden dar, konkret der ERT (*Electrical resistivity tomography*) und eines Georadars zum Aufsuchen horizontaler oberflächennaher Grubenbaue. Diese aktuelle Problematik ist zum Teil sehr kompliziert, weil hier gegenseitig eine Reihe von Faktoren zusammenwirken, die sich Fall zu Fall verändern:

3.1. Faktoren, die sich aus den physikalischen Eigenschaften des Untergrundes an der Messstelle im Bezug zur eingesetzten geophysikalischen Methode ergeben

Es handelt sich um das Prinzip der geophysikalischen Methode (genutztes physikalisches Feld), die Art der Messungen, die Möglichkeiten des Einsatzes in Abhängigkeit von den physikalischen Eigenschaften der geologischen Umgebung, in der sich der

3. Metodické aspekty dohledávání horizontálních důlních děl v malých hloubkách

Výsledky, uvedené v této kapitole představují pokus o první systematické zkoumání možností vybraných geofyzikálních metod, konkrétně metody elektrické rezistivní tomografie a georadaru na vyhledávání horizontálních důlních děl v malých hloubkách pod povrchem. Tato aktuální problematika je značně komplikovaná, protože vzájemně spolupůsobí celá řada faktorů, které se případ od případu mění:

3.1. Faktory vyplývající z fyzikální charakteristiky horninového prostředí v místě měření ve vztahu k použité geofyzikální metodě

Jedná se o princip geofyzikální metody (využívané fyzikální pole), způsob měření, možnost využití v závislosti na fyzikální charakteristice geologického prostředí, v němž se vyhledávané důlní dílo nachází. Podmínky pro provádění geofyzikální měření z hlediska způsobitelného povrchu pro realizaci zvolené geofyzikální metody. Výsledky

gesuchte Grubenbau befindet, sowie die Voraussetzungen für die Durchführung geophysikalischer Messungen aus der Sicht einer geeigneten Oberfläche für den Einsatz der gewählten geophysikalischen Methode. Auf die Ergebnisse können sich die hydrogeologischen Verhältnisse an dem Ort der Messungen auswirken. Diese können sich in Abhängigkeit vom Jahresklimazyklus ändern. Unterschiedliche Zeiträume für die Messungen, ein aus dieser Sicht höherer Wassergehalt in einem konkreten Grubenbau, kann ein günstiger Faktor sein, der eine sonst problematische oder nicht eindeutige Klassifizierung möglich macht.

3.2. Geometrische Faktoren

Es ist insbesondere die Lage des alleinigen Bergwerkes im Gesteinsmassiv im Bezug zu dem gewählten Profilnetz, bzw. zu den einzelnen Profilen, die gegenwärtigen Abmessungen (Zustand) des Grubenbaus sowie seine Teufe unter der Oberfläche, seine tatsächliche Position (Orientierung des Grubenbaus) im Raum zu beachten. Aus dieser Sicht stellt eine Situation, in der sich unter einer horizontalen Oberfläche ein horizontaler Grubenbau befindet, einen Idealfall dar. Ein üblicher Fall kann aber auch ein horizontaler Grubenbau unter

mohou být ovlivněny hydrogeologickými poměry v místě měření. Tyto se mohou měnit v závislosti na ročním klimatickém cyklu. Různé období pro měření, z tohoto pohledu větší obsah vody v konkrétním důlním díle, může být příznivým faktorem, který umožní jeho jinak problematickou nebo nejednoznačnou lokalizaci.

3.2. Geometrické faktory

Je to především poloha samotného důlního díla v horninovém masívu vzhledem ke zvolené síti profilů, případně jednotlivým profilům, jeho současné rozměry (stav) důlního díla a jeho hloubka pod povrchem, jeho skutečná pozice (orientace důlního díla) v prostoru. Ideálním případem je z tohoto pohledu situace, kdy pod horizontálním povrchem se nachází horizontální důlní dílo. Obvyklým případem však může být horizontální důlní dílo pod různě ukloněným povrchem terénu, nebo ukloněné důlní dílo pod horizontálním povrchem.

Reálná podoba důlního díla v místě měření výrazně ovlivňuje výsledky měření. Máme tím na mysli skutečnost, že průřez důlního díla (modelově je můžeme nahradit horizontálním válcem s průměrem obvykle 2 - 3 m) může být buďto zachován od vzniku důlního díla do současné doby, nebo se podoba důlního díla může měnit v závislosti na zvoleném zajištění důlního díla (použitá

einer unterschiedlich geneigten Geländeoberfläche sein, oder ein tonnlägiger Grubenbau unter einer horizontalen Oberfläche.

Die tatsächliche Gestalt des Grubenbaus an der Messstelle hat wesentliche Auswirkungen auf die Messergebnisse. Damit wird die Tatsache gemeint, dass der Querschnitt des Grubenbaus (modellhaft kann es durch einen horizontalen Zylinder mit einem Durchmesser von in der Regel 2 – 3 m) entweder seit der Entstehung des Grubenbaus bis zur Gegenwart erhalten sein kann, oder sich die Gestalt des Grubenbaus in Abhängigkeit von der gewählten Verwahrung des Grubenbaus verändern kann. Unterschiedliche geomechanische Eigenschaften des Untergrundes können in günstigen Fällen die Entwicklung einer Zone mit aufgelockerter Spannung rund um den Grubenbau bedeuten.

Auf Grundlage der geschilderten, relativ komplizierten und schwierigen Problematik, die einen entscheidenden Faktor darstellt, der sich in den Ergebnissen jeder der Messungen widerspiegelt, wurden für die Zwecke des Projektes die gesuchten Grubenbaue in zwei Gruppen aufgeteilt:

1. Solche Grubenbaue, deren Abmessungen, Verlauf verzeichnet sind und dem Stand entsprechen,

ano ne výztuž). Odlišné geomechanické vlastnosti horninového prostředí mohou znamenat v příznivých případech vytvoření zóny uvolněného napětí kolem důlního díla, která se konkrétně může projevit až propadáním stropu a tedy k vytvoření příznivějších podmínek pro naplnění hlavního cíle geofyzikálního měření – vymezení místa s existencí důlního díla.

Na základě nastíněné, poměrně komplikované a dosti složité problematiky, která je rozhodujícím faktorem, který se promítá do výsledku každého měření, pro účely tohoto projektu bylo provedeno rozdělení vyhledávaného důlního díla do dvou skupin:

1. Taková důlní díla, jejichž rozměry, průběh je zachován a odpovídá stavu, kdy bylo důlní dílo vybudováno anebo lze toto předpokládat s velkou pravděpodobností. Tato skupina je představována ložiskem moravských posidoniových břidlic - Štola „G“ Svatoňovice.
2. Důlní dílo vykazuje v prostoru nejasným průběhem a rozměry. Nelze vyloučit v některých místech výraznou změnu jeho průřezu (důsledek nepříznivých geomechanických vlastností – částečné propadání stropu, případně některých v místech jeho zavalení).

wann dieser Grubenbau gebaut wurde oder dies mit hoher Wahrscheinlichkeit vorausgesetzt werden kann. Diese Gruppe wird durch die Lagerstätte mährischer Posidonieschiefer – Stollen „G“ Schwandsdorf (Svatoňovice) repräsentiert.

2. Der Grubenbau weist einen in dem Raum unklaren Verlauf und Abmessungen aus. An manchen Stellen kann eine Veränderung seines Querschnitts nicht ausgeschlossen werden (Folge ungünstiger geomechanischer Eigenschaften – zum Teil das Einstürzen der First, bzw. mancher an den Verbruchstellen). Diese Gruppe wird durch die Lagerstätte mährischer Posidonieschiefer – Stollen „Dřevěná štola“ Tschirm (Černá ve Slezsku) repräsentiert.

4. Geophysikalische Erkundungen bei der Nachsuche horizontaler Grubenbaue in geringen Teufen

Ein dokumentierter Stollen befindet sich etwa 1,5 km südwestlich von der Gemeinde Tschirm (Černá ve Slezsku) an der Straße nach Neu-Ulrichsdorf (Nové Oldřůvky) und an einem namenslosen Zufluss der Dürren Bautsch (Budišovka)). Der Stollen ist einzelstehend, im westlichen Hang von der Straße gut sichtbar, ohne Schieferabfall. Etwa 0,5 km nördlich

Tato skupina je představována ložiskem moravských posidoniových břidlic - Dřevěná štola, Černá ve Slezsku.

4. Geofyzikální průzkum při dohledávání horizontálních důlních děl v malých hloubkách

Dokumentovaná štola se nachází cca 1,5 km jihozápadně od obce Černá ve Slezsku u silnice do Nových Oldřůvek a bezejmenné vodoteče (přítoku vodoteče Budišovka). Je osamocena, dobře viditelná v západním svahu od silnice, bez břidlicového odpadu. Severně cca 0,5 km jsou situovány ústí SDD štoly Žlutý květ a dvou jam. Předpokládaná délka štoly je cca 134 m. V blízkosti ústí

befinden sich die Mündlöcher SDD des Stollens Žlutý květ und zweier Gruben. Die geschätzte Länge des Stollens beträgt etwa 134 m. In Mundlochnähe befinden sich Haldenüberreste. Der Stollen wurde durch ein Eisengitter gesichert, während der Erkundung zerstört und der Zugang zum Stollen war durch umgefallene Bäume blockiert (Abb. 1).

jsou pozůstatky haldoviny. Byla zajištěna kovovou mříží; v době průzkumu byla zničena a přístup k ústí štol byl zatarasen spadlými stromy (Obr. 1).



Abb. 1 Vordersicht des verbrochenen Einganges in einen Grubenbau

Obr. 1 Čelní pohled na zavalený vchod důlního díla

5. Methode ERT

Die Länge der Profile wurde erstens durch die gewählte Methodik der Messungen und weiter dann durch die Anforderungen an das Erreichen einer optimalen Tiefenreichweite mit Hinblick zu der eingeschätzten Teufe des verorteten Grubenbaus bedingt. Aus einer Recherche historischer Quellen ergab sich, dass sich der vorausgesetzte Grubenbau im Fall des

5. Metoda ERT

Délka profilů byla podmíněna jednak zvolenou metodikou měření a také požadavkem na dosažení optimálního hloubkového dosahu vzhledem k předpokládané hloubce lokalizovaného důlního díla. Z rešerše historických pramenů vyplývá, že předpokládané důlní díla se nachází v případě navrženého profilu P I cca v hloubce 5 - 7 m, v případě profilu P II v hloubce cca

vorgeschlagenen Profils P1 in einer Teufe von etwa 5 – 7 m befindet, im Fall des Profils P II in einer Teufe von 10 – 12 m und im Fall des Profils P III in einer Teufe von etwa 20 m.

Die erste experimentelle Vermessung mit Hilfe der Methode ERT wurde an zwei Profilen durchgeführt, PI und PII. Die Ergebnisse sind in Form vertikaler Schnitte der elektrischen Widerstandstomographie dargestellt. In diesem Fall wurde die Anordnung Doppelpol-Doppelpol (im Folgenden DD) der W-SCH-Kombination (Wenner-Schlumberger) gewählt. Die Entfernung zwischen den Elektroden betrug 1,5 und 3 m.

Die zweite Messung mit Hilfe der ERT-Methode wurde am Profil P III durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Form vertikaler Schnitte der elektrischen Widerstandstomographie dargestellt. In diesem Fall wurde die Gestaltung W-SCH und DD mit einer Entfernung zwischen den Elektroden von 3 m verwendet.

Die realistische Tiefenreichweite der Messungen mit dem eingesetzten System der gewählten Anzahl von Elektroden und der verwendeten Methodik der Messungen sowie der Entfernungen der Elektroden voneinander 1,5 und 3 m an ausgewählten Profilen war etwa min. 15 m. Dies entsprach der vorausgesetzt

10 - 12 m, v případě profilu P III v hloubce cca 20 m.

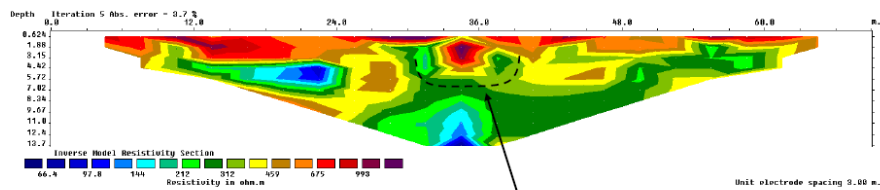
První experimentální měření metodou ERT bylo provedeno na dvou profilech P I a P II. Výsledky jsou znázorněny ve formě vertikálních izoohmických řezů. V tomto případě bylo použito uspořádání dipól-dipól (dále DD) kombinace W-SCH (Wenner-Schlumberger). Vzdálenost mezi elektrodami byla 1,5 a 3m.

Druhé měření metodou ERT bylo provedeno na profilu P III. Výsledky jsou znázorněny ve formě vertikálních izoohmických řezů. V tomto případě bylo použito uspořádání W-SCH a DD se vzdáleností mezi elektrodami 3 m.

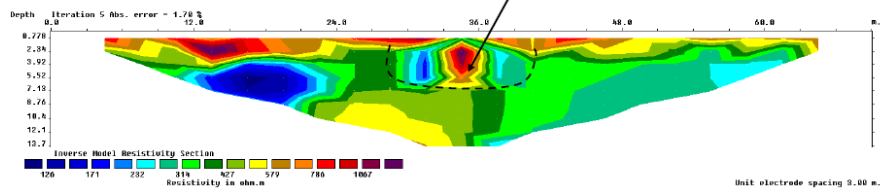
Reálný hloubkový dosah měření při použitém systému zvoleného počtu elektrod a použité metodice měření a vzdálenosti elektrod od sebe 1,5 m a 3 m u vybraných profilů byl cca min. 15 m. Odpovídal předpokládané hloubce výskytu horizontálního důlního díla. Takto jsou i vyneseny výsledky interpretace na jednotlivých profilech (Obr. 2).

Teufe des Vorkommens des horizontalen Grubenbaus. So wurden auch die Ergebnisse der Interpretation an den einzelnen Profilen ausgetragen (Abb. 2).

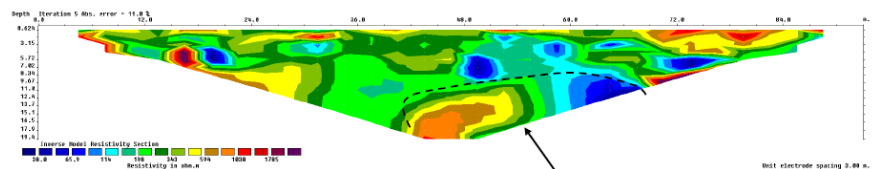
PI



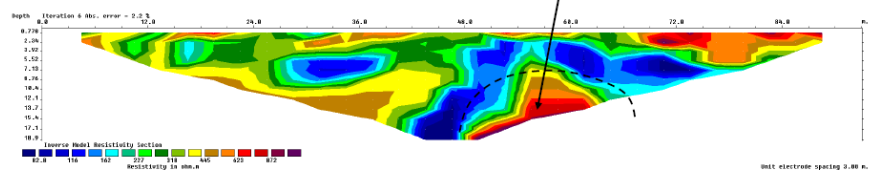
DD, vzdálenost mezi elektrodami 3,0 m



P II



WSCH, vzdálenost mezi elektrodami 3,0 m



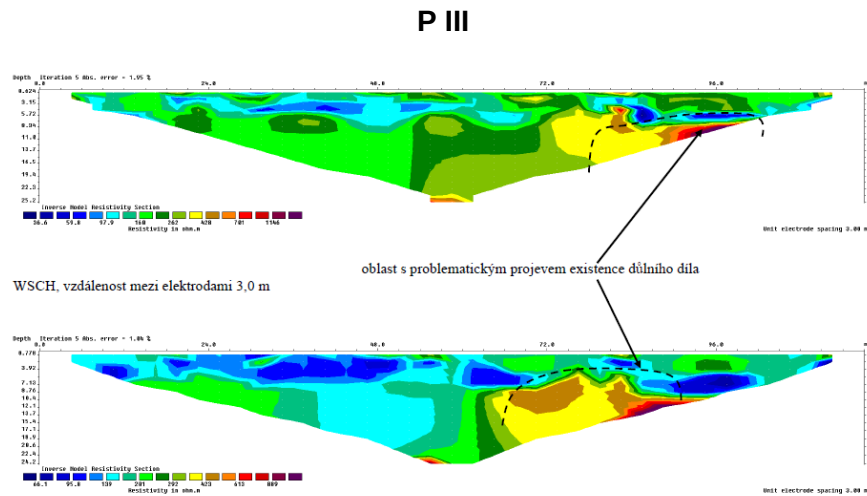


Abb. 2 Interpretierte vertikale Schnitte der elektrischen Widerstandstomographie an den Profilen P I, P II und P I, P III

Obr. 2 Interpretované vertikální izoohmické řezy na profilu P I, P II a P III

oblast s výrazným projevem existence důlního díla	Bereich mit markanten Signalen der Existenz eines Grubenbaus
vzdálenost mezi elektrodami	Entfernung zwischen den Elektroden

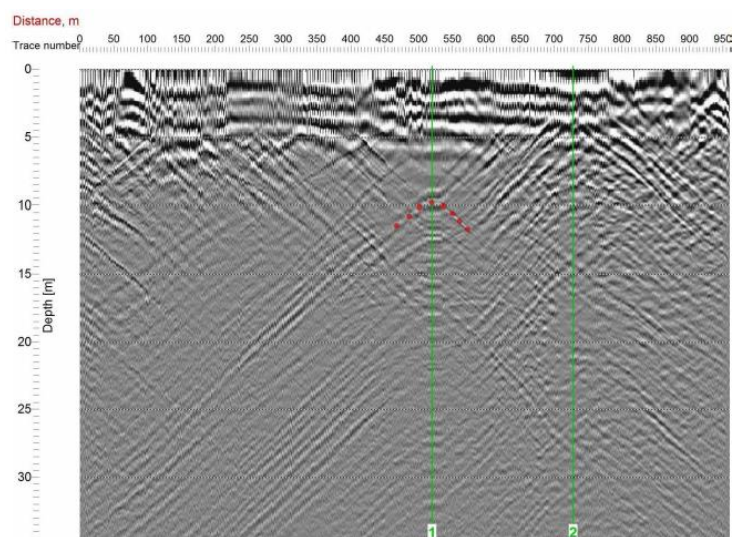
6. Methode GPR

Die Ergebnisse sind in Form von Radargramm auf Abb. 3. dargestellt. Es wurde eine nicht abgeschirmte Antenne mit einer Frequenz 50 Mhz verwendet.

6. Metoda GPR

Výsledky jsou znázorněny ve formě radagramů na obr. č. 3. Použita byla nestíněná anténa s frekvencí 50 MHz.

PI



PIII

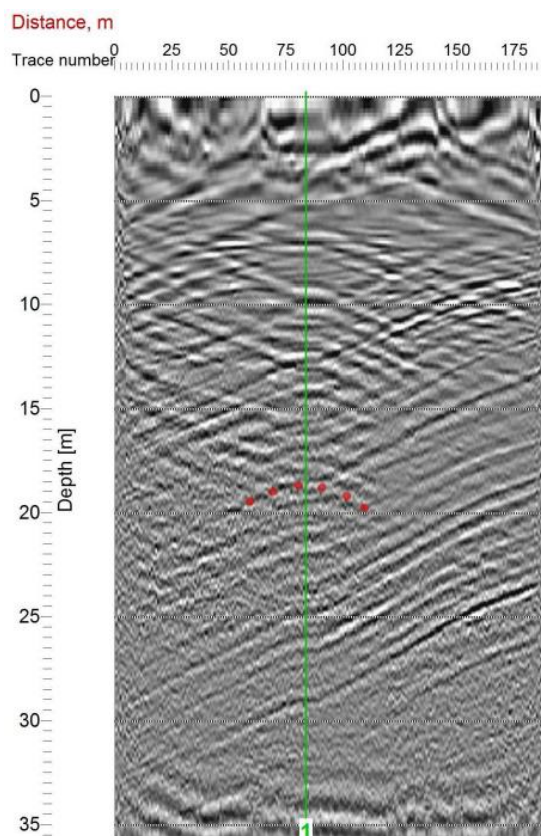


Abb. 3 Radargramm vom Profil I und Profil III mit gekennzeichnetem Reflex der Firste

Obr. 3 Radargram z profilu PI a PIII s vyznačeným reflexem stropu

Das Radargramm vom Profil I deutet die Verortung des Grubenbaus in einer Teufe von etwa 10 m an, der Radargramm P III in einer Teufe von etwa 20 m. Eine Zuordnung zu einem konkreten Grubenbau scheint nicht eindeutig zu sein und stützt sich an eine Konfrontation mit den Ergebnissen der Methode ERT. Auf Grundlage der nur mit Hilfe eines Georadars gewonnen Erkenntnisse kann die Lage des Grubenbaus nicht glaubwürdig ausgewiesen werden.

7. Schlussfolgerungen

Für die geophysikalischen Erkundungsarbeiten im Rahmen der Nachsuche von SDD steht ein umfangreicher Satz von Methoden zur Verfügung, die zur Diagnostik der geotechnischen Umgebung natürliche sowie künstlich hervorgerufene physikalische Felder nutzen. Die Prinzipien, auf deren Basis diese Methoden arbeiten, werden allgemein in vielen weiteren Fachbereichen eingesetzt. Der physikalischen Natur der Erkundungsflächen nach können die geophysikalischen Methoden folgend aufgeteilt werden:

- Gravimetrische Methoden,
- Magnetometrische Methoden,
- Radiometrische Methoden,
- Geotermometrische Methoden,
- Geoelektrische Methoden,

Radargramm z profilu PI naznačuje zastižení důlního díla v hloubce cca 10 m, radargram na profilu P III pak v hloubce cca 20 m. V obou případech radarový obraz znázorňuje více podobných reflexů. Přiřazení určitého k důlnímu dílu se jeví jako nejednoznačné a opírá se o konfrontaci s výsledky metody ERT. Na základě získaných výsledků pouze georadarem nelze polohu důlního díla věrohodně vymežit.

7. Závěry

Pro geofyzikální průzkumné práce k dohledání SDD je k dispozici rozsáhlý soubor metod, které využívají k diagnostice geotechnického prostředí fyzikálních polí, a to jak přirozených, tak uměle vyvolaných. Principy, na jejichž základě tyto metody pracují, jsou obecně využívány v mnoha jiných oborech. Podle fyzikální podstaty průzkumných polí lze geofyzikální metody rozdělit na metody:

- gravimetrické,
- magnetometrické,
- radiometrické,
- geotermometrické,
- geoelektrické,
- seismické,
- metody karotážní.

Dále jsou rozeznávány varianty podle umístění zdroje pole a měřicí jednotky

- Seismische Methoden,
- Methoden der Karrotage.

Daneben werden Varianten nach dem Standort der Quelle des Feldes und der Messeinheit während der Messung unterschieden – Oberflächenvarianten, Bohrung, Grubenvariante, Variante Bohrung – Oberfläche, Tiefbau – Oberfläche, Tiefbau – Bohrung, Bohrung – Bohrung, automatisch etc.

In den meisten Fällen handelt es sich um operative und relativ billige Methoden. Am meisten sind sie auf den Gewinn eines stetigen Bildes zwischen den Dokumentationswerken ausgerichtet (Röschen, Blindschächte, Erkundungsbohrungen, Standorte der Probenahmen, Punkte geotechnischer Geländeversuche etc).

Die physikalische Erscheinung einer Inhomogenität des Gesteins wird als eine geophysikalische Anomalie bezeichnet. Eine optimale Situation während der Erkundung tritt dann ein, wenn die Anomalie den Veränderungen dieses physikalischen Parameters der Umgebung entspricht, der direkt ein Gegenstand der Erkundung ist (direkte Indizierung). Die Detektionsfähigkeit der geophysikalischen Methode ist erstens an die theoretischen Möglichkeiten des Gegenstandes der Erkundung (Feld) gebunden, zweitens an das aktuelle technische Niveau der Einrichtung, mit der die Messungen

při měření - povrchové (pěší), vrtní, důlní, vrt - povrch, podzemní dílo - povrch, podzemní dílo - vrt, vrt - vrt, automobilní apod.

V převážné většině jsou to metody operativní a relativně levné. Nejčastěji jsou orientovány na získání spojitého obrazu mezi dokumentačními díly (rýhami, šachticemi, průzkumnými vrty, místy odběru vzorků, body polních geotechnických zkoušek, apod.).

Fyzikální projev nehomogenity horninového prostředí se označuje jako geofyzikální anomálie. Optimální situace při průzkumu nastává v případě, kdy anomálie odpovídá změnám toho fyzikálního parametru prostředí, který je přímo předmětem průzkumného zájmu (přímá indikace). Detekční schopnost geofyzikální metody je však vázána jednak na teoretické možnosti průzkumného prostředku (pole), jednak na aktuální technickou úroveň zařízení, jímž jsou měření realizována. Jsou některé geotechnické parametry, které je velmi obtížné indikovat za určitých podmínek přímo.

Na základě zhodnocení získaných výsledků měření metodou ERT a GPR, lze konstatovat, že uvedené metody jsou na vyhledávání horizontálních důlních použitelné. Nicméně z metodického hlediska se ukázalo, že hlavní faktory, které ovlivní konečný výsledek měření a tím i kvantitativní

durchgeführt werden. Es gibt auch manche technische Parameter, die unter bestimmten Bedingungen nur schwierig direkt indiziert werden können.

Auf Grundlage der Auswertung der gewonnenen Ergebnisse der Messungen mit Hilfe der ERT und GPR Methode kann festgestellt werden, dass die dargestellten Methoden für das Aufsuchen horizontaler Grubenbau anwendbar sind. Doch aus methodischer Sicht stellte sich heraus, dass die wesentlichen Faktoren, die das Endergebnis der Messung und somit auch die quantitative Interpretation beeinflussen, die tatsächliche Gestalt des Grubenbaus an dem Ort der Messung, sowie seine Teufe unterhalb der Oberfläche sind.

Die Ausmaße des Grubenbaus, in unserem Fall 2m x 2m, bestimmen die optimale Entfernung zwischen den Elektroden 2 m und seine Teufe unterhalb der Oberfläche darf in diesem Fall 10 m, als etwa das fünffache seines Durchschnittes, nicht übersteigen. Das heißt, dass der Erfolg der Messung durch die Qualität der Informationen über den gesuchten Grubenbau bedingt ist. Das Weiteren ist es von Vorteil während der Messungen die Möglichkeiten der verwendeten Anlage zu nutzen und mindestens zwei Anordnungen der Elektroden zu wählen,

interpretaci, je skutečná podoba důlního díla v místě měření a jeho hloubka pod povrchem.

Rozměr důlního díla, v našem případě cca 2 m krát 2 m určuje optimální vzdálenost mezi elektrodami 2 m a jeho hloubka pod povrchem v tomto případě nesmí překročit 10 m, tedy cca pětinasobek jeho průměru. To znamená, že úspěšnost měření je podmíněná kvalitou informace o dohledávaném důlním díle. Dále je vhodné při měření využít možností použité aparatury a zvolit alespoň dvě uspořádání elektrod, v našem případě kombinaci Wenner- Schlumberger a dipól-dipól. Nelze vyloučit, že i změněná podoba důlního díla v různých místech jeho lokalizace ovlivní i optimální volbu vzdálenosti mezi elektrodami. Jako účelné se dále ukázalo použití georadaru, i když terénní podmínky v místech měření pro pohyb antény byly značně komplikované. Jedná se zejména o ty případy, kdy metoda ERT již důlní dílo nezastihne a georadar ano. Jedná se o větší hloubky důlního díla, ale současně musí platit, že odpory hornin, v nichž se hledané důlní dílo nachází, jsou větší než 100 ohm. Věrohodnost získaných výsledků se tak opírá v rámci možností o výsledky dvou principiálně odlišných metod a různých metodik použitých při vlastním měření. Toto by mělo vycházet v maximální míře ze studia předchozích podkladů o

in unserem Fall die Kombination Wenner- Schlumberger und Doppelpol- Doppelpol. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch eine veränderte Gestalt des Grubenbaus an unterschiedlichen Stellen seiner Verortung die optimale Wahl der Entfernung zwischen den Elektroden beeinflusst. Als zweckmäßig erschien der Einsatz eines Georadars, obwohl die Bedingungen im Gelände am Ort der Messungen für die Bewegung der Antenne sehr schwierig waren. Insbesondere handelt es sich um die Fälle, in denen die ERT-Methode den Grubenbau nicht mehr feststellen kann und das Georadar aber schon. Es handelt sich um größere Teufen des Grubenbaus, gleichzeitig muss aber gelten, dass der Widerstand des Gesteins, in dem sich der gesuchte Grubenbau befindet, mehr als 100 Ohm beträgt. Die Glaubwürdigkeit der gewonnenen Ergebnisse basiert somit im Rahmen der Möglichkeiten auf den Ergebnissen von zwei prinzipiell unterschiedlichen Methoden und auf unterschiedlicher Methodik, die während der eigentlichen Messung zum Einsatz kamen. Dies sollte sich in einem höchstmöglichen Maß aus einer Recherche von Unterlagen zum Bergbau an dem entsprechenden Standort ergeben, natürlich wenn solche Unterlagen zur Verfügung stehen.

prováděné hornické činnosti v daném místě, pokud jsou samozřejmě k dispozici.

Grubenwassergeothermieranlagen in Freiberg und Ehrenfriedersdorf

Zařízení pro geotermální využití důlních vod ve Freiberg a Ehrenfriedersdorfu

Dipl.-Wi.-Ing. Lukas Oppelt

TU Bergakademie Freiberg – Lukas.Oppelt@ttd.tu-freiberg.de

M.Sc. Sebastian Pose

TU Bergakademie Freiberg – Sebastian.Pose@ttd.tu-freiberg.de

Dr.-Ing. Thomas Grab

TU Bergakademie Freiberg – Thomas.Grab@ttd.tu-freiberg.de

Prof. Dr.-Ing. Tobias Fieback

TU Bergakademie Freiberg – Tobias.Fieback@ttd.tu-freiberg.de

Zusammenfassung

Aktuell werden insgesamt fünf Grubenwassergeothermieranlagen in Freiberg und Ehrenfriedersdorf durch ein Monitoring des Lehrstuhls für technischer Thermodynamik der TU Bergakademie Freiberg betreut. Bei allen fünf Anlagen besteht die Möglichkeit, das Grubenwasser zum Heizen einzusetzen, bei zwei Anlagen ist auch Kühlen mit Grubenwasser möglich. Für die Anlage an der Oberschule Ehrenfriedersdorf ergeben sich für die Heizperiode solide Arbeitszahlen ($\approx 1,3$ bei einer Gaswärmepumpe). Für die Anlage an der Reiche Zeche in Freiberg sind Arbeitszahlen >5 erreichbar. Der Vorteil

Souhrn

V současné době sleduje Katedra technické termodynamiky Technické univerzity – Báňské akademie ve Freibergu pět zařízení pro geotermální využití důlních vod ve Freibergu a v Ehrenfriedersdorfu. U všech pěti těchto zařízení je možné využívat důlní vodu pro topení, v případě dvou zařízení i pro chlazení. Pro zařízení na Střední škole v Ehrenfriedersdorfu vyplývá pro topnou sezónu solidní topný faktor ($\approx 1,3$ v případě tepelného čerpadla). Pro zařízení v šachtě Reiche Zeche ve Freibergu lze dosáhnout faktoru >5 . Přednost spočívá v tom, že důlní vody lze využívat paralelně jak k vytápění, tak i k chlazení.

liegt dabei darin, dass das Grubenwasser parallel zum Heizen und Kühlen eingesetzt werden kann.

1. Einleitung

Im Rahmen des Projektes VODAMIN II (SAB-Antragsnummer: 100304269) erfolgt durch den Lehrstuhl für technische Thermodynamik der TU Bergakademie Freiberg ein Monitoring von fünf Grubenwasseranlagen in Freiberg und Ehrenfriedersdorf. Als regenerative Energiequelle sorgt eine energetische Nutzung von Grubenwasser für eine Reduktion des CO₂-Ausstoßes (Jessop et al. 1995). Außerdem ist es in den Gruben über das gesamte Jahr nahezu unerschöpflich vorhanden (Grab et al. 2018). Die Wässer, die durch die fünf Anlagen genutzt werden weisen Temperaturen zwischen 10 und 19 °C auf. Damit bestehen verschiedene Nutzungsmöglichkeiten: mittels Wärmepumpen wird ein Temperaturniveau zur Beheizung einer Schule oder eines Krankenhauses bereitgestellt. Zusätzlich besteht auch die Möglichkeit das Wasser direkt zum Kühlen einzusetzen.

2. Bestehende Anlagen

Zwei Anlagen befinden sich in der Stadt Ehrenfriedersdorf im Erzgebirge, drei in Freiberg. Tab. 1 gibt einen Überblick

1. Úvod

V rámci projektu VODAMIN II (registrační číslo projektu 100304269) provádí Katedra technické termodynamiky Technické univerzity – Báňské akademie ve Freibergu monitoring pěti zařízení pro geotermální využití důlních vod ve Freibergu a Ehrenfriedersdorfu. Jako obnovitelný zdroj energií přispívá energetické využití důlních vod ke snižování emisí CO₂ (Jessop et al. 1995). Kromě toho je tento zdroj v dolech téměř nevyčerpatelně dostupný po celý rok (Grab et al. 2018). Vody, využívané těmito pěti zařízeními, vykazují teploty mezi 10 a 19°C. Z toho vyplývají různé možnosti využití: prostřednictvím tepelných čerpadel je možno zajistit teplotní úroveň pro vytápění školy nebo nemocnice. Další možností je využívat vodu přímo k chlazení.

2. Stávající zařízení

Dvě zařízení se nacházejí ve městě Ehrenfriedersdorf v Krušných horách, tři ve Freibergu. Tab. 1 poskytuje přehled o

über die wesentlichen Kenngrößen der einzelnen Anlagen.

podstatných parametrech jednotlivých zařízení.

Tab. 1 Wesentliche Kennwerte der Grubenwasseranlagen in Freiberg und Ehrenfriedersdorf

Tab. 1 Podstatné parametry zařízení pro využití důlních vod ve Freibergu a Ehrenfriedersdorfu

Anlage	Inbetriebnahme	Grubenwassertemperatur in °C	Leistung Heizen in kW	Leistung Kühlen in kW
Besucherbergwerk Ehrenfriedersdorf	1992, 1998 ¹	10	120	--
Oberschule Ehrenfriedersdorf	1994	10	95	--
Schloss Freudenstein Freiberg	2009	10	126	120
Kreiskrankenhaus Freiberg	2014	10	860	--
Reiche Zeche Freiberg	2013	19/14	175	100

Anlage	Zařízení
Inbetriebnahme	Rok zprovoznění
Grubenwassertemperatur in °C	Teplota důlní vody ve °C
Leistung Heizen in kW	Výkon topení v kW
Leistung Kühlen in kW	Výkon chlazení v kW
Besucherbergwerk Ehrenfriedersdorf	Návštěvnický důl Ehrenfriedersdorf
Oberschule Ehrenfriedersdorf	Střední škola Ehrenfriedersdorf
Schloss Freudenstein Freiberg	Zámek Freudenstein ve Freibergu
Kreiskrankenhaus Freiberg	Okresní nemocnice Freiberg
Reiche Zeche Freiberg	Reiche Zeche Freiberg

Wie die Tabelle zeigt, werden drei Anlagen nur zum Heizen eingesetzt, bei zwei besteht auch die Möglichkeit zur Kühlung. Die

Jak je z tabulky patrné, jsou tři zařízení využívána pro vytápění, v případě dvou je možnost jejich využití i pro chlazení.

¹ Erweiterung der Anlage von 16 auf 120 kW = Zkapacitnění zařízení ze 16 na 120 kW (Rottluff 1998)

Besonderheiten der einzelnen Anlagen werden nachfolgend erläutert.

Das Prinzip einer Grubenwassergeothermieranlage zur Bereitstellung von Wärme ist beispielhaft am Analgschema des Besucherbergwerks Ehrenfriedersdorf zu erkennen (siehe Abb.). Dort wird das Wasser durch Pumpen im Bereich der 2.Sohle entnommen und einem Wärmeübertrager zugeführt, der sich ebenfalls auf der 2. Sohle befindet. Im Wärmeübertrager wird thermische Energie vom Grubenwasser auf einen Zwischenkreislauf übertragen. Dieses Fluid wird an die Oberfläche gepumpt und anschließend das Temperaturniveau durch eine Wärmepumpe erhöht. Nur so ist eine Nutzung zum Heizen oder zur Warmwasserbereitung möglich. Das Grubenwasser wird nach dem Wärmeübertrager wieder zurückgeführt.

Specifika jednotlivých zařízení budou popsána dále.

Princip zařízení pro geotermální využití důlních vod pro dodávky tepla je patrný ze schématu zařízení návštěvníckého dolu Ehrenfriedersdorf (viz obr. 1). Voda je zde odebírána čerpadly v oblasti 2. patra a přiváděna do tepelného výměníku, který se rovněž nachází na druhém patře. V tepelném výměníku je termická energie důlní vody přenesena na primární oběh. Toto fluidum je čerpáno na povrch a jeho teplotní úroveň je následně zvýšena tepelným čerpadlem. Pouze takto je možné využít důlní vody pro vytápění nebo přípravu teplé vody. Důlní voda je po projití tepelným výměníkem odváděna zpět.

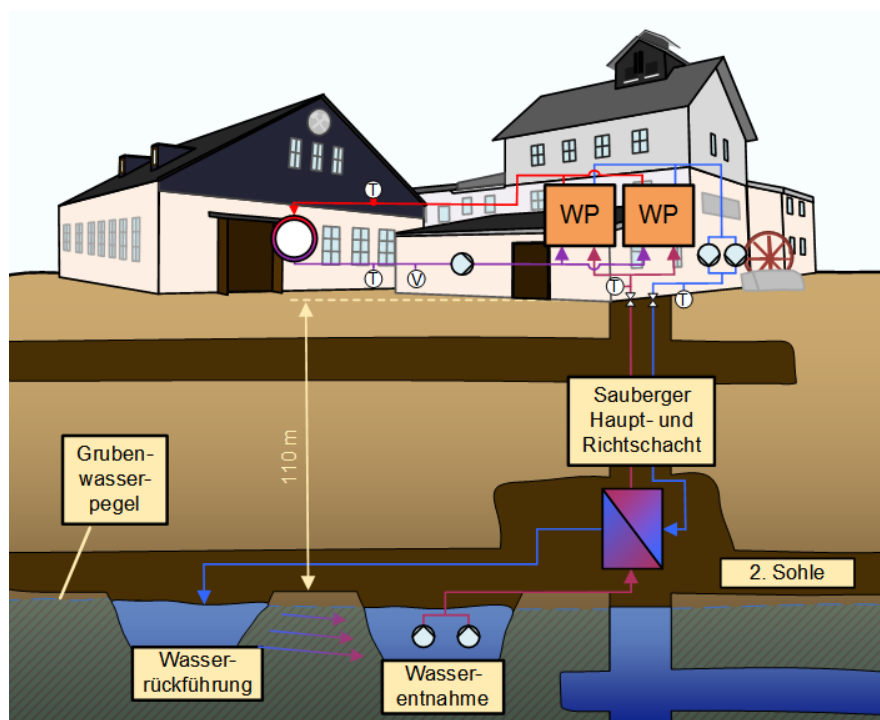


Abb. 1 Anlagenschema der Grubenwassergeothermieranlage des Besucherbergwerks Ehrenfriedersdorf

Obr. 1 Schéma zařízení pro geotermální využití důlních vod v návštěvnickém dole Ehrenfriedersdorf

WP	Tepelné čerpadlo
Sauburger Haupt- und Richtschacht	Šachta Sauburger Haupt- und Richtschacht
Grubenwasserpegel	Hladina podzemní vody
Wasserrückführung	Voda z vratného potrubí
Wasserentnahme	Odběr vody
2. Sohle	2. patro

Die anderen Anlagen haben einen ähnlichen Aufbau. Bei der Oberschule Ehrenfriedersdorf gibt es die Besonderheit, dass keine aktive Hebung des Grubenwassers mit Pumpen notwendig ist. Durch die Flutung der stillgelegten Bergwerke steht das Grubenwasser inzwischen höher als die Förderbohrung. Dadurch war es auch möglich den Wärmeübertrager im Keller des

Podobné uspořádání mají i ostatní zařízení. Specifikem zařízení na střední škole v Ehrenfriedersdorfu není potřeba aktivního čerpání důlních vod pomocí čerpadel. V důsledku zatopení uzavřených dolů se hladiny důlních vod nacházejí výše, nežli čerpací vrt. Díky tomu bylo možno umístit tepelný

Schulgebäudes zu positionieren, wodurch der Zugang erleichtert wird.

Für die Anlage von Schloss Freudenstein wurde der Alte Tiefe Fürstenstollen angestaut, um so das notwendige Grubenwasser entnehmen zu können. Auch hier wird das zum Heizen notwendige Temperaturniveau über eine Wärmepumpe erreicht. Im Kühlfall wird die Wärmepumpe ausgekoppelt.

Im Freiburger Kreiskrankenhaus und bei der Anlage der Reichen Zeche wird Grubenwasser aus dem Rothschnberger Stolln genutzt. Bei der Reichen Zeche (Anlagenschema in Abb.) besteht aber auch die Möglichkeit aufsteigende Tiefenwässer aus dem Schacht Reiche Zeche zu nutzen. Diese haben mit rund 19 °C höhere Temperaturen als das Grubenwasser im Rothschnberger Stolln (an der Reichen Zeche 14 °C, am Krankenhaus etwa 10 °C).

Die unterschiedlichen Entnahmemöglichkeiten an der Anlage der Reichen Zeche bieten verschiedene Möglichkeiten beim Betrieb der Anlage. Wie im Anlagenschema zu erkennen, gibt es einen getrennten Heiz- und Kühlkreislauf. Es kann so also gleichzeitig geheizt und gekühlt werden. Für die Wahl der Wasserquelle ist der größere Bedarf entscheidend. Bei überwiegendem Kühlbedarf soll das kältere Wasser aus dem Rothschnberger Stolln, bei überwiegendem Heizbedarf das wärmere Wasser aus dem Schacht Reiche Zeche genutzt werden. Neben diesen beiden Varianten existiert auch noch die

výměník ve sklepě školní budovy, což usnadňuje přístup k zařízení.

Pro zařízení na zámku Freudenstein bylo provedeno nadržení vody ve štole Alter Tiefe Fürstenstollen, aby bylo možno potřebnou důlní vodu odebírat. I zde byla teplotní úroveň, potřebná pro vytápění, dosažena pomocí tepelného čerpadla. V případě chlazení je tepelné čerpadlo vypojeno.

V okresní nemocnici ve Freibergu a v případě zařízení ve štole Reichen Zeche jsou využívány důlní vody ze štoly Rothschnberger Stolln. V případě Reiche Zeche (schéma zařízení je znázorněno na obr. 2) je možno využívat rovněž stoupající hlubinné vody ze šachty Reiche Zeche, jejichž teplota je svými 19°C vyšší, nežli teplota důlních vod ve štole Rothschnberger Stolln (v případě Reiche Zeche 14°C, v případě nemocnice zhruba 10°C).

Různé možnosti odběru na zařízení Reiche Zeche nabízejí různé možnosti provozu zařízení. Jak je ze schématu zařízení patrné, existuje oddělený oběh pro vytápění a chlazení. Je tedy možno současně vytápět i chladit. Pro volbu zdroje vody je rozhodující výše spotřeby. V případě převažující potřeby chlazení má být využívána voda ze štoly Rothschnberger Stolln, v případě převažující potřeby vytápění teplejší voda ze šachty Reiche Zeche. Kromě těchto dvou variant je možno ještě

Möglichkeit, nur den Zwischenkreislauf zu nutzen, was in temporärer zur Deckung des Heiz- und Kühlbedarfs ausreicht.

využívat pouze primární oběh, což stačí k dočasnému pokrytí potřeby vytápění a chlazení.

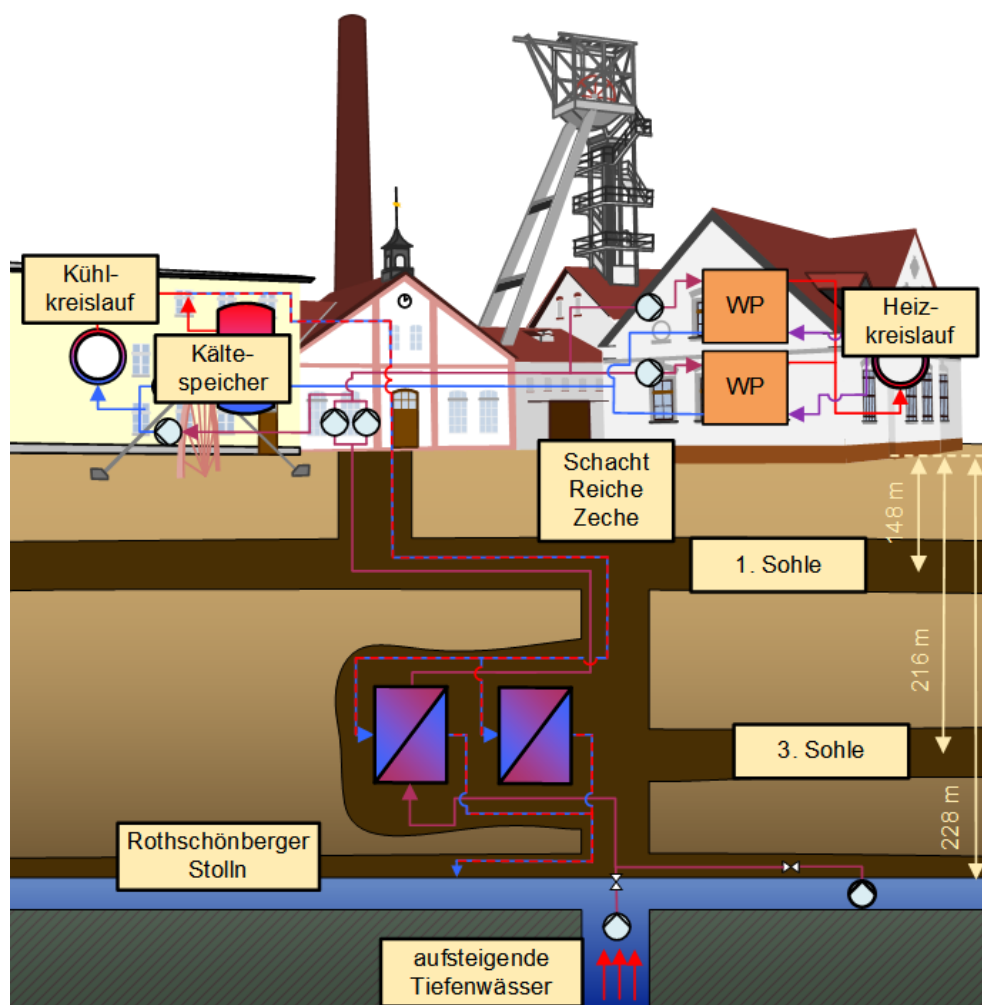


Abb. 2 Analogschema der Grubenwassergeothermieranlage an der Reiche Zeche Freiberg

Obr. 2 Schéma zařízení pro geotermální využití důlních vod na dole Reiche Zeche Freiberg

Kühlkreislauf	Chladicí oběh
Kältespeicher	Zásobík chladu
Rotschönberger Stolln	Štola Rotschönberger Stolln
WP	Tepelné čerpadlo
Heizkreislauf	Oběh vytápění
Schacht Reiche Zeche	Šachta Reiche Zeche
1. Sohle	1. patro
3. Sohle	2. patro
aufsteigende Tiefenwässer	stoupající hlubinné vody

3. Ergebnisse des Monitorings

In Abb. ist die monatliche Arbeitszahl der Grubenwassergeothermieranlage an der Ehrenfriedersdorfer Oberschule dargestellt. Prinzipiell gibt die Arbeitszahl den Quotienten aus dem Nutzen der Anlage (Wärme, Kälte) und dem Aufwand (zugeführte elektrische Energie, Gas) an. Wie ersichtlich, liegt die Arbeitszahl der Anlage von September bis Mai zwischen 1,2 und 1,4. Das bedeutet, dass mit einer Kilowattstunde zugeführter Energie 1,2 bis 1,4 Kilowattstunden thermische Energie zum Heizen bereitgestellt werden können. Da die konkrete Anlage nur zum Heizen genutzt wird, sind die Ergebnisse der Sommermonate hinsichtlich der Effizienz nicht aussagekräftig.

In den kalten Monaten von Oktober bis März wird durchgehend eine Wärmemenge von rund 40 MWh pro Monat bereitgestellt. In diesem Zeitraum werden auch die höchsten Arbeitszahlen berechnet.

Ein wesentlicher Punkt bei der Analyse der Anlage sind die Gaswärmepumpen. Die Arbeitszahlen sind nicht mit denen einer elektrischen Wärmepumpe vergleichbar. Der Hersteller der Gas-Wärmepumpen in Ehrenfriedersdorf gibt einen Umrechnungsfaktor von 2,5 an (ROBUR 2019). Eine Arbeitszahl der Anlage von 1,3 entspricht also in etwa

3. Výsledky monitoringu

Na obrázku 3 je zobrazen měsíční faktor účinnosti pro zařízení na střední škole v Ehrenfriedersdorfu. Tento faktor principiálně udává poměr mezi využitím zařízení (teplo, chlad) a jeho náklady (přiváděná elektrická energie, plyn). Jak je patrné, pohybuje se tento faktor od září do května mezi 1,2 až 1,4, což znamená, že pomocí dodané 1 kilowatthodiny dodané energie je možno vyrobit 1,2 až 1,4 kWh termické energie pro vytápění. Jelikož je konkrétní zařízení využíváno pouze pro vytápění, nemají výsledky za letní měsíce žádnou vypovídací schopnost k efektivitě.

Během chladných měsíců od října do března je průběžně dodáváno teplo ve výši zhruba 40 MWh za měsíc. V tomto období je uvedený faktor rovněž nejvyšší.

Významným bodem při analýze zařízení jsou tepelná čerpadla. Jejich faktory účinnosti pro zařízení nejsou srovnatelné s faktory elektrických tepelných čerpadel. Výrobce plynových tepelných čerpadel v Ehrenfriedersdorfu uvádí přepočtový faktor 2,5 (ROBUR 2019). Faktor účinnosti pro zařízení 1,3 tedy odpovídá faktoru 3,3 v případě elektrického tepelného čerpadla. Jelikož je zařízení v provozu od devadesátých let, jedná se o solidní hodnotu.

der Arbeitszahl von 3,3 bei einer elektrischen Wärmepumpe. Da die Anlage bereits seit den 90iger Jahren in Betrieb ist dies einem soliden Wert.

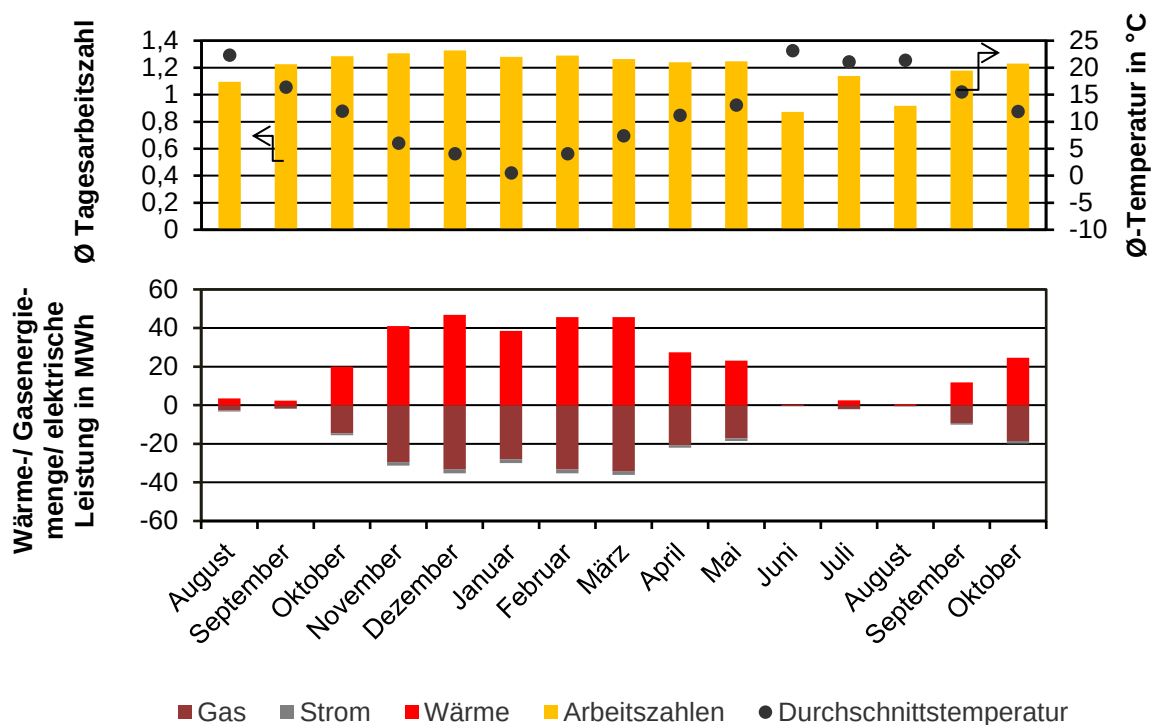


Abb. 3 Monatliche Arbeitszahl und durchschnittliche Außentemperatur, sowie Bestandteile der Jahresarbeitszahl für die Grubenwassergeothermieranlage der Oberschule Ehrenfriedersdorf (08/2018–10/2019)

Obr. 3 Měsíční faktor účinnosti a průměrná venkovní teplota a součásti ročního faktoru účinnosti pro zařízení na střední škole Ehrenfriedersdorf (08/2018-10/2019)

Wärme-/Gasenergiemenge / elektrische Leistung in	Množství tepelné energie / Množství energie z plynu/ elektrický výkon v
Tagesarbeitszahl	Denní faktor účinnosti
Temperatur in	Teplota v
August	Srpen
September	Září
Oktober	Říjen
November	Listopad
Dezember	Prosinec
Januar	Leden
Februar	Únor
März	Březen
April	Duben
Mai	Květen

Juni	Červen
Juli	Červenec
Gas	Plyn
Strom	Elektrický proud
Wärme	Teplo
Arbeitszahlen	Faktory účinku
Durschnittstemperatur	Průměrná teplota

Für die Anlage der Reichen Zeche ist in Abb. der Verlauf von Tagesarbeitszahl (durchschnittliche Arbeitszahl der letzten 24 h) und Außentemperatur (ebenfalls über die letzten 24 h gemittelt) für eine Woche im Oktober 2018 dargestellt.

Diese Betrachtung zeigt, dass an der Reichen Zeche Arbeitszahlen >5 regelmäßig erreicht werden. Der wesentliche Grund ist hier in der Kombination aus Heizen und Kühlen zu sehen. Da das Gesamtsystem betrachtet wird, besteht für die Bereitstellung der Wärme der Strombedarf der Wärmepumpe und der Grubenwasserpumpen sowie der Pumpen im Zwischenkreislauf als Aufwand. Die Nutzung zum Kühlen ist damit vorwiegend ein zusätzlicher Nutzen bei geringem gestiegenem Aufwand. Da zum Kühlen keine Wärmepumpen benötigt werden, steigt nur der Strombedarf der Grubenwasser- und Zwischenkreislaufpumpen geringfügig an. Somit ergeben sich durch die Kombination aus Heizen und Kühlen die vergleichsweise hohen Arbeitszahlen. Wie auch dem Analgenschema in Abb. zu entnehmen

Pro zařízení Reiche Zeche je na obr. 4 zobrazen průběh denního faktoru účinnosti (průměrný faktor účinnosti za posledních 24 hodin) a venkovní teploty (rovněž za posledních 24 hodin zprůměrováno) za týden v říjnu 2018

To ukazuje, že v lokalitě Reiche Zeche je pravidelně dosahováno faktoru účinnosti >5 . Podstatným důvodem je zde kombinace vytápění a chlazení. Při celkovém pohledu na systém je pro dodávky tepla nutno zohlednit jako náklad spotřebu elektrického proudu tepelného čerpadla, čerpadel důlních vod a čerpadel primárního oběhu. V důsledku toho je využití pro chlazení převážně dodatečným užitekem při lehce zvýšených nákladech. Jelikož pro chlazení není zapotřebí tepelných čerpadel, stoupne spotřeba elektrické energie čerpadly důlních vod a mezioběhu pouze nepatrně. Pro kombinaci chlazení a vytápění tak vycházejí relativně vysoké faktory účinnosti. Jak je patrné ze schématu zařízení na obr. 2, je ochlazená voda po využití v topném oběhu předávána do akumulátoru chladu a tím zavedena do

ist, wird das abgekühlte Wasser nach dem Heizkreislauf an einen Kältespeicher abgegeben und damit dann noch dem Kühlkreislauf zugeführt. Somit ergibt sich ohne zusätzlichen Aufwand ein weiterer Benefit.

chladícího oběhu. Bez dalších nákladů je tak dosahováno dalšího benefitu.

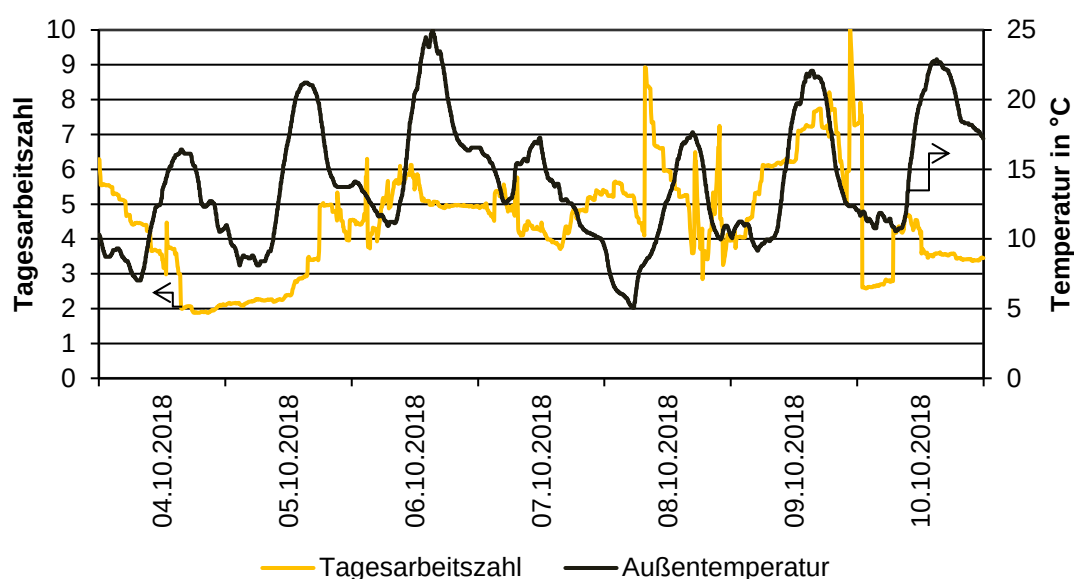


Abb. 4 Tagesarbeitszahl und durchschnittliche Außentemperatur an der Anlage der Reichen Zeche (04.10.2018–10.10.2018)

Obr. 4 Denní faktor účinnosti a průměrná venkovní teplota na zařízení Reichen Zeche (04.10.2018–10.10.2018)

Tagesarbeitszahl	Denní faktor účinnosti	
Teperatur in	Teplota v	
Außentemperatur	Vnější teplota	

Wie bereits beschrieben existieren zwei Orte um Grubenwasser zu entnehmen (Rotschönberger Stolln und Schacht Reiche Zeche) und die Möglichkeit nur den Zwischenkreislauf zu nutzen. Für die drei Varianten gibt es jeweils die Möglichkeiten nur zu Heizen, nur zu Kühlen und zu Heizen und zu Kühlen. In

Jak bylo shora popsáno, existují dvě místa pro odběr důlních vod (štola Rotschönberger Stolln a šachta Reiche Zeche) a možnost využít pouze primární oběh. Pro tyto tři varianty existuje vždy možnost využívání pouze pro vytápění, pouze pro chlazení nebo pro vytápění a chlazení. Celkově je tak možno zařízení

Summe ergeben sich damit neun verschiedene Betriebsmodi. In Abb. sind diese vereinfacht dargestellt, es sind die Anteile für nur Heizen, nur Kühlen und der Kombination für den Zeitraum Januar 2016 bis Dezember 2018 dargestellt. Zeiträume mit fehlerhaften Messungen, beispielsweise bedingt durch Defekte einzelner Anlagenteile, bilden den Bereich „Sonstiges“. Wie die Grafik zeigt, wird über den Großteil der Zeit sowohl geheizt, als auch gekühlt. In etwa einem Viertel des betrachteten Zeitraumes wird nur gekühlt. Die Betriebsmodi, bei denen nur gekühlt wird, liegen dabei vorwiegend in den warmen Monaten (Mai-September) vor. Insgesamt zeigt die Untersuchung, dass die Kühlung von Serverräumen, wie es bei der Anlage der Reichen Zeche der Fall ist, eine nahezu durchgehende Nutzung der Anlage zum Kühlen hervorruft. Somit werden Stillstandszeiten minimiert.

provozovat v devíti různých provozních módech, které jsou zjednodušeně znázorněny na obr. 5. Jedná se o podíly pouze pro vytápění, pouze pro chlazení a kombinace za období od ledna 2016 do prosince 2018. Období s chybami měření, například v důsledku defektů některých součástí zařízení, tvoří oblast „Různé“. Jak je z grafu patrné, je zařízení pro větší část období využíváno jak pro vytápění, tak i pro chlazení. Pouze během zhruba čtvrtiny sledovaného období je prováděno pouze chlazení. Provozní mód, ve kterém je provozováno pouze chlazení, se převážně nachází v období teplých měsíců (květen až září). Celkově je patrné, že chlazení místností se servery, jako je tomu v případě zařízení na šachtě Reiche Zeche, vede k téměř průběžnému využívání zařízení je chlazení. Díky tomu jsou minimalizovány doby, kdy zařízení není v provozu.

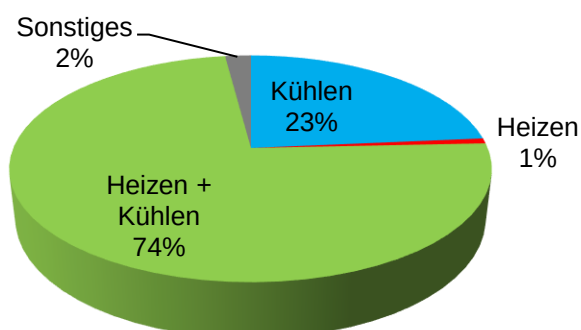


Abb. 5 Anteile der Betriebsmodi Heizen, Kühlen, Heizen+Kühlen und Sonstiges an der Anlage Reiche Zeche Freiberg (01/2016–12/2018)

Obr. 5 Podíl provozních módů vytápění, chlazení, vytápění + chlazení a různé pro zařízení Reiche Zeche Freiberg (01/2016–12/2018)

Sonstiges	Ostatní
Kühlen	Chlazení
Heizen	Vytápění
Heizen + Kühlen	Vytápění + chlazení

4. Fazit

Problematisch sind bei den Anlagen technische Probleme und daraus resultierende Stillstandszeiten. Dadurch, dass sich ein Großteil der Anlagenkomponenten unter Tage befindet, wird die Zugänglichkeit und damit der Reparaturaufwand erschwert. Dennoch zeigt sich, dass die Anlagen, wenn sie laufen, solide bis sehr gute Ergebnisse liefern. Insbesondere die Kombination aus Heizen und Kühlen sorgt für eine hohe Effizienz der Anlage. Zudem ist zu beachten, dass es sich um eine Arbeitszahl der gesamten Anlagen handelt. Dies inkludiert beispielsweise auch den elektrischen Aufwand für Grubenwasserpumpen, die Kennzahl bezieht sich nicht allein auf die Wärmepumpe. Zukünftig gilt es die Messwerte der Anlagen weiter zu analysieren und beispielsweise Rückschlüsse auf die Fahrweise und den Betrieb ziehen zu können.

4. Závěr

Problematické se v případě zařízení jeví být technické problémy a z nich vyplývající přerušení provozu zařízení. Přístupnost těchto zařízení a tím i náklady na jejich opravu jsou komplikovány skutečností, že se tato zařízení nacházejí v podzemních prostorech. Přesto se však ukazuje, že pokud jsou zařízení v provozu, pak mají velmi dobré výsledky. Především kombinace z chlazení a vytápění zajišťuje vysokou efektivitu zařízení. Kromě toho je nutno přihlédnout k tomu, že se jedná o faktor účinnosti celých zařízení. To zahrnuje rovněž náklady na spotřebu elektrické energie čerpadly důlních vod, parametr se nevztahuje pouze na tepelné čerpadlo. Do budoucna je třeba dále analyzovat naměřené hodnoty ze zařízení a formulovat například závěry ke způsobům provozu.

Literatur/Literatura

Jessop, A. M., MacDonald, J. K., Spence, H.: Clean Energy from Abandoned Mines at Springhill, Nova Scotia. *Energy Sources*. 17(1), 93–106 (1995).

Grab et al. "Energetische Nutzung von Grubenwasser aus gefluteten Bergwerken." *Handbuch Oberflächennahe Geothermie*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. 523-586 (2018)

Rottluff.: Neue Wärmepumpenanlage im Besucherbergwerk Zinngrube Ehrenfriedersdorf. *Geothermische Energie - Mitteilungsblatt der Geothermischen Vereinigung e. V.* 6(21) (1998)

ROBUR 2019 – GAHP WS Gasbetriebene Brennwert-Absorptionswärmepumpe + Wasser als Erneuerbare Energiequelle. https://www.roburshk.de/waermepumpe/gas_absorptions_wasser_wasser_waermepumpe_gahp_ws Zugegriffen: November 2019

Chemismus der Ablagerungsbildung an Wärmetauschern bei der Grubenwassernutzung

Chemismus vytváření usazenin na tepelných výměnících při využívání důlních vod

Dipl.-Ing. (FH) Marlies Grimmer

TU Bergakademie Freiberg – Marlies.Grimmer@mabb.tu-freiberg.de

M.Sc. Janith Abeywickrama

TU Bergakademie Freiberg – Janith.Abeywickrama@mabb.tu-freiberg.de

Dr.-Ing. Nils Hoth

TU Bergakademie Freiberg – Nils.Hoth@mabb.tu-freiberg.de

1. Einführung

Ein Projekt innerhalb des Vodamin II – Förderprogramms befasst sich mit der Frage der geothermalen Nutzung von Bergbauwässern aus dem Tiefbau. Hierbei sollen vor allem störende Einflüsse auf die Wärmeübertrageranlage (in Folge Ausfällungen) vermindert werden. An einigen Wärmeübertrageranlagen ist über einen längeren Zeitraum ein Leistungsabfall, welcher durch sogenanntes Fouling entsteht, zu verzeichnen. Fouling ist gekennzeichnet durch Ablagerungen auf den Wärmeübertragerplatten. Verantwortlich dafür sind Änderungen wesentlicher Umgebungsparameter

1. Úvod

Projekt v rámci projektu Vodamin II se zabývá otázkou geotermálního využití důlních vod z hlubinné těžby. Zde se jedná především o zamezení rušivým vlivům na tepelné výměníky (v důsledku vzniku usazenin). Na některých tepelných výměnících lze po delším období zaznamenat pokles výkonu. Důvodem je tak zvaný fouling. Fouling se vyznačuje usazeninami na deskách tepelných výměníků. Příčiny spočívají ve změně podstatných parametrů okolí (například tlak, teplota, stav oxidace a redukce) v zařízení, která vede k posunutí chemické rovnováhy ve sledovaných důlních vodách. Je třeba sledovat, jaké konkrétní změny

(z. B. Druck, Temperatur, Redoxzustand) in der Anlage, die zur Verschiebung chemischer Gleichgewichte in den betrachteten Grubenwässern führen. Es ist zu untersuchen, zu welchen konkreten Veränderungen es kommt, also wie sich chemische Quasigleichgewichte ändern, mit resultierenden z. B. typischen Fe-Ausfällungen. Darauf basierend sind erfolgversprechende Gegenmaßnahmen abzuleiten, die dieses Problem vermindern.

Diesbezüglich beschäftigt sich unser Teilprojekt, an unterschiedlichen Standorten, mit der Untersuchung der chemischen Beschaffenheit der Grubenwässer und der Ablagerungen an den Platten. Dies um das Potential zur Ablagerungsbildung zu ermitteln und für zukünftige Geothermieranlagen Gegenmaßnahmen zur Minderung der Problemstellung abzuschätzen.

Um die Wässer zu charakterisieren, wurden mehrere wiederholende Probenahmen an verschiedenen, aktiv betriebenen Anlagen unternommen und dabei eine umfangreiche Analytik durchgeführt. Neben der analytischen Datenerhebung ist es wichtig, das Redoxsystems des Standortes genau zu betrachten und zu verstehen, denn oftmals sind nicht hohe Elementkonzentrationen automatisch für die Ablagerungsneigung

nastávají, tedy jak se mění chemické rovnováhy se z toho vyplývajícími například typickými sraženinami železa. Na základě toho je nutno odvodit protipatření, pomocí kterých bude možno rozsah tohoto problému snížit.

Z tohoto důvodu se náš dílčí projekt zabývá na různých lokalitách průzkumem chemické kvality důlních vod a usazenin na deskách. Cílem je zjištění potenciálu tvorby usazenin a vyhodnocení protipatření za účelem snížení rozsahu tohoto problému pro budoucí geotermální zařízení.

Aby bylo možno vody popsat, bylo opakovaně odebráno několik vzorků na různých aktivně provozovaných zařízeních a během toho provedena komplexní analýza. Kromě analytického sběru dat je důležité velmi přesně sledovat oxidačně-redukční systém lokality a pochopit jej. Často totiž nejsou sklony k vytváření usazenin automaticky následkem vysokých koncentrací prvků, ale výrazných změn oxidačně-redukčního prostředí a změny tlaku.

verantwortlich, sondern deutliche Redoxmilieu- und Druckänderungen

2. Auswertung der Daten vom Standort Ehrenfriedersdorf

Für eine Betrachtung hier werden nur Messwerte des Standortes Ehrenfriedersdorf herangezogen, da es für die beiden Geothermieranlagen dort sowohl Wasser- als auch Feststoffanalysen gibt. Folglich kann für diese Anlagen eine Korrelation zwischen der Wasserbeschaffenheit und den sich daraus ergebenden Rückständen hergestellt werden.

2.1. Kurzzusammenfassung der Ergebnisse aus dem Besucherbergwerk und sich daraus ergebende Fragestellungen

In USSATH ET AL. (2019) sind für den Standort „Besucherbergwerk Ehrenfriedersdorf“ bereits umfangreiche Analysen ausgewertet worden. Die diesbezüglich wichtigsten Ergebnisse daraus sollen hier noch einmal zusammengefasst werden:

- Das Grubenwasser ist pH-neutral und eher gering mineralisiert (ELF max. 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$).
- Als Hauptionen wurden Kalzium, Kalium, Magnesium, Natrium sowie Sulfat, Chlorid und Silizium identifiziert. Es zeigen sich jedoch kaum gerichtete Änderungen der

2. Vyhodnocení dat z lokality Ehrenfriedersdorf

Pro vyhodnocení byly použity naměřené údaje z lokality Ehrenfriedersdorf, jelikož zde jsou pro obě geotermální zařízení dostupná data jak z analýz vody, tak i i pevných látek. Následně lze pro tato zařízení vytvořit korelaci mezi kvalitou vody a z toho vyplývajících pozůstatků.

2.1. Krátké shrnutí výsledků z návštěvnického dolu a z toho vyplývající otázky

V USSATH ET AL. (2019) byly pro lokalitu „Návštěvní důl Ehrenfriedersdorf“ vyhodnoceny komplexní analýzy. Nejdůležitější výsledky zde budou následně znovu shrnuty.

- Hodnota pH vody je neutrální a spíše mírně mineralizovaná (jedenáct, max 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$).
- Jako hlavní anionty byly identifikovány vápník, draslík, hořčík, sodík a sulfát, chlorid a křemík. Mezi nátokem a odtokem se koncentrace téměř nemění.
- V případě rozpuštěného (<0,45 μm filtrováno) obsahu prvků železa, mangan, hliník dochází k orientované změně koncentrací v případě, kdy

Konzentration zwischen Zu- und Ablauf.

- Bei den gelösten ($<0,45 \mu\text{m}$ filtriert) Elementgehalten für Eisen, Mangan, Aluminium kommt es hingegen zu gerichteten Konzentrationsänderungen, wenn die Differenzen auch klein sind ($c_{\text{diffmax}} = 0,15 \text{ mg/L}$). Diese Abnahmen zeigen sich auch für Arsen, Kupfer, Nickel und Zink.
- Weiterhin gibt es einen geringen Anteil dieser Elemente, der sich leicht abfiltrieren lässt und somit partikulär als „Schwebstoff“ vorliegt.
- Außerdem ist eine Reduzierung des Gesamtgehaltes an organischem Kohlenstoff (TOC) zwischen Zu- und Ablauf ersichtlich.
- Es kann geschlussfolgert werden, dass verschiedene Foulingarten stattfinden. Zum einen Sedimentation von nicht echt gelösten, partikulären Inhaltsstoffen sowie Ausfällungen in Folge chemischer Oberflächenreaktionen, für die ein mikrobiologisches Fouling (also mit Einfluss von Bakterien) wahrscheinlich ist.
- Die Ausfällungen auf den Wärmetauschern lassen sich rein visuell durch zwei Arten unterscheiden: schwarze, schwer entfernbare Verkrustungen direkt auf den Wärmeüberträgerplatten sowie

jsou rozdíly menší ($c_{\text{diffmax}} = 0,15 \text{ mg/L}$). Tento pokles je zřejmý i pro arzén, měď, nikl a zinek.

- Kromě toho se vyskytuje ještě malý podíl těchto prvků, který lze snadno odfiltrovat a které se tedy vyskytují partikulárně jako „nerozpuštěné látky“.
- Kromě toho je patrná redukce celkového obsahu organického uhlíku (TOC) mezi přítokem a odtokem.
- Lze z toho vyvozovat, že se zde vyskytují různé druhy foulingu. Jednak sedimentace ne skutečně rozpuštěných partikulárních látek a sraženiny v důsledku chemických reakcí na povrchu, pro které je pravděpodobný biologický fouling (tedy s vlivem bakterií).
- Sraženiny na tepelných výměnících lze čistě vizuálně rozdělit do dvou druhů: černé, obtížně odstranitelné krusty přímo na deskách tepelných výměníků a načervenalé, čerstvé (mokrý) usazeniny.
- Na základě provedených sekvenčních extrakcí a na základě měření těchto vysrážených materiálů pomocí hRFA je možno konstatovat, že černé sraženiny jsou dominovány manganem a v sekvenční extrakci jsou zařazeny do „lehce redukovatelné“ frakce.
- Nad nimi uložené červené sraženiny je nutno určit jako amorfni a lehce

rötliche, frische (nasse) Ablagerungen.

- Anhand durchgeführter sequentiellen Extraktionen und gestützt auf hRFA-Messung an diesen Ausfällungsmaterialien ist festzuhalten, dass die schwarzen Ausfällungen Mangan dominiert sind und der „leicht-reduzierbaren“ Fraktion in der sequentiellen Extraktion zugeordnet sind.
- Die darüber abgelagerten roten Ausfällungen sind als amorphe und leicht kristalline Eisenhydroxide anzusprechen. Hierbei sind As und Mn als angelagert zu betrachten. Ein Teil des Fe wird auch in der „organisch gebundenen Fraktion“ extrahiert.

Aus diesen Ergebnissen/ Interpretationen ergaben sich für die Weiterführung des Projektes folgende Fragestellungen:

- Welchen Anteil des Fouling entsteht durch echte Ausfällungen und was ist auf reine Ablagerung von kolloidal gebundenen Elementen zurückzuführen?
- Wie groß sind diese Kolloide? Mit welchem Verfahren können diese ggf. vorher entfernt werden?
- Wie kann bakteriell induziertes Fouling nachgewiesen werden?

krystalické hydroxidy železa. As a Mn je nutno považovat za usazené. Část železa je rovněž extrahována do „organicky vázané frakce“.

Z těchto výsledků / interpretací vyplynula pro pokračování projektu následující doporučení:

- Jaký podíl foulingu vzniká v důsledku skutečného vysrážení a jaká část má svůj původ v čistém usazení koloidálně vázaných prvků?
- Jak velké jsou tyto koloidy? Jakými postupy je lze případně předem odstranit?
- Jak je možno doložit bakteriálně indukovaný fouling?

2.2. Weiterentwickeltes Vorgehen zur Optimierung der Datenerhebung

Um eine Verbesserung der Untersuchung zu erreichen wurde zunächst das Analysenspektrum erweitert.

Um eine Angabe zum Biofouling geben zu können, wurde ein MO-Bart-Test der Firma Hach genutzt. Damit kann eine schnelle Aussage zur mikrobiellen Aktivität von auf Eisen bezogenen (IRB) sowie sulfatreduzierenden (SRB) und schleimbildenden Bakterien getroffen werden.

Weiterhin ist es Ziel von jeder Wasserprobe verschiedene Filterstufen (unfiltriert; 1,2 µm; 0,8 µm; 0,45 µm und 0,2 µm) zur Elementbestimmung mittels MPAES abzufüllen, um die Größe der Kolloide genauer zu kennzeichnen.

Aufgrund der Eigenschaften der Feststoffproben (frische Niederschläge, amorph statt kristallin) ist eine klassische Mineralphasenanalyse nicht möglich. Jedoch wurde eine genauere Charakterisierung durch REM-EDX-Untersuchungen durchgeführt. Hierzu bedurfte es nur einer geringen Menge „ideal gewonnenen“ Ablagerungsmaterials. Diese Untersuchungsmethodik lässt eine orts aufgelöste Visualisierung mit Elementanalyse zu.

2.2. Další vývoj postupu pro optimalizaci sběru dat

Pro dosažení zlepšení výzkumu bylo nejprve rozšířeno spektrum analýz.

Aby bylo možno formulovat závěry k biofoulingu, byl použit test MO-Bart firmy Hach. Tímto testem lze získat velmi rychle poznatky o mikrobiální aktivitě bakterií, majících vztah k železu (IRB) a bakterií, které redukuji sulfáty (SRB) a které vytvářejí šlem.

Další cílem je získat pro každý vzorek různé filtrační stupně (nefiltrováno: 1,2 µm; 0,8 µm; 0,45 µm a 0,2 µm) pro určení prvků pomocí MPAES, aby bylo možno velikost koloidů popsat přesněji.

Na základě vlastností vzorků pevných látek (čerstvé srážky, amorfní místo krystalické) není možná klasická fázová analýza minerálů. Pomocí REM-EDX však byl zpracován přesnější popis. Zde bylo zapotřebí pouze nízkého množství "ideálně získaného" materiálu usazenin. Tato metodika výzkumu připouští vizualizaci s analýzou prvků.

Dále byly odebírány vzorky pevných látek z dalšího zařízení na střední škole v Ehrenfriedersdorfu za účelem potvrzení dosud získaných výsledků.

Weiterhin wurde auch an einer weiteren Anlage in der Oberschule Ehrenfriedersdorf Feststoffe beprobt, um eine Bestätigung bisher erhaltener Ergebnisse zu erhalten.

3. Generelles Verständnis zum pH-Redox-Zustand

Generell ist es wichtig, das Redoxsystem der Grubenwässer in Bezug auf pH-Wertverhältnisse und deren jeweilige Änderungen zu verstehen. Die genaue Einschätzung kann dann nur durch eine hydrogeochemische Modellierung – z. B. mit PHREEQC (PARKHURST & APPELO 1999) erfolgen. Einen ersten generellen Blick erlauben aber die vereinfachten (weil ohne genaue Matrixeffekte) pH-Eh Diagramme in Abb. 1 für Fe, Mn (aus BROOKINS 1988).

3. Obecně porozumění stavu oxidační redukce

Obecně je důležité chápat oxidačně-redukční systém důlních vod ve vztahu k poměrům hodnoty pH a chápat jejich možné změny. Přesné modelování však lze zpracovat pouze pomocí hydrogeochemického modelování, například pomocí softwaru PHREEQC (Parkhurst & Appelo 1999). Jeden z prvních obecných náhledů umožňují ale zjednodušené (protože bez přesných efektů matice) diagramy pH-Eh na obr. 1 pro Fe, Mn (z BROOKINS 1988).

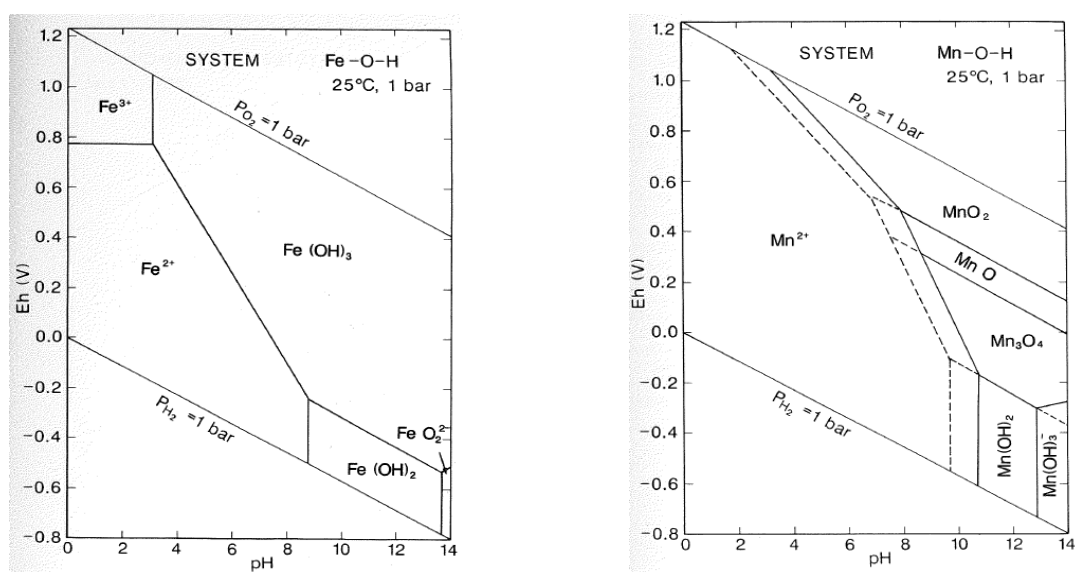


Abb. 1 pH-Eh Diagramm für das System Fe-O-H (links) und Mn-O-H (rechts) (aus Brookins [1988])

Obr. 1 Diagram pH-Eh pro systém Fe-O-H (vlevo) a Mn-O-H (vpravo) (z Brookins [1988])

Aus Abb 1. geht für Fe der wesentliche Übergangsbereich zwischen dem gelösten Fe^{2+} und festen, zunächst eher amorphen Fe-Hydroxidphasen hervor. Liegt man bei etwa pH-neutralen Werten mit Eh-Werten um 0 bis + 200 mV noch im Bereich des gelösten Fe^{2+} , so kommt es bei Anstieg der Eh-Werte (> 300 mV) schnell zum Übergang in Richtung Ausfällung der Fe-Hydroxide. Dies ist somit typisch bei steigendem oxidativen Einfluss (O_2 -Einfluss oder Vermischung von Wässern) im Zulaufbereich oder unmittelbar im Wärmetauscher.

Diesbezüglich ist zusammenzufassen, dass diese Problemstellung typisch durch zunehmende oxidativere Bedingungen im unmittelbaren Zulauf und im Wärmetauscher entstehen. Im ersten Blick sind die Verhältnisse für Mn eher in Richtung noch oxidativerer Verhältnisse verschoben. Dies heißt der Übergang von Mn^{2+} zu festen Mn-Ausfällung bedarf, bei pH-neutralen Verhältnissen, noch höheren Eh-Werten. Hier ist aber gleich darauf hinzuweisen, dass die genauen Umstände die zur Festphasenausfällung führen nur durch eine hydrogeochemische Modellierung, die die gesamte Grubenwasserbeschaffenheit einbezieht, verstanden werden kann.

Z obr. 1 vyplývá pro Fe významná přechodová oblast mezi rozpuštěným Fe^{2+} a pevnými, zpočátku spíše amorfními fázemi hydroxidu železa. Pokud se v případě neutrálních hodnot pH hodnoty Eh pohybují kolem 0 až 200 mV v oblasti rozpuštěného Fe^{2+} , pak dochází v případě nárůstu hodnot Eh (> 300 mV) velmi rychle k přechodu ve směru vysrážení hydroxidů železa. To je tedy typické pro případ rostoucího oxidačního vlivu (vliv O_2 nebo promíchání vod) v oblasti nátoky nebo bezprostředně v tepelném výměníku.

V tomto směru je tedy nutno shrnout, že tyto problémy typicky vznikají stoupajícími oxidačními podmínkami na bezprostředním nátoky a tepelném výměníku. Na první pohled se poměry pro Mn jeví být spíše posunuté ve směru oxidačních vlastností. To znamená přechod Mn^{2+} na pevné sraženiny Mn vyžaduje v případě neutrálních podmínek pH ještě vyšší hodnoty Eh. Zde je ale třeba poznamenat, že přesným okolnostem, které vedou k vysrážení pevné fáze, lze porozumět pouze na základě hydrogeochemického modelu, který zahrnuje celou kvalitu důlních vod.

4. Weiterführende ausgewählte Untersuchungsergebnisse zum Standort Ehrenfriedersdorf

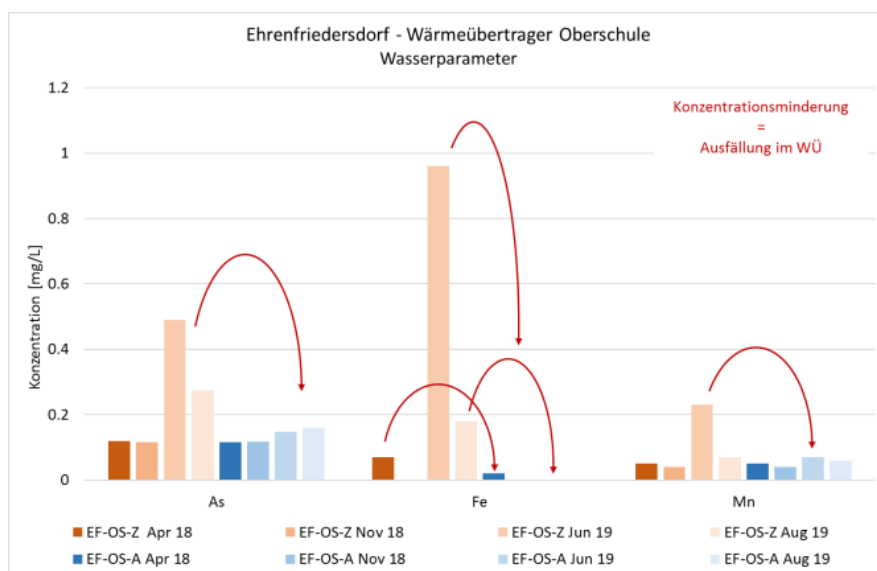
4.1. Wasseruntersuchungen

Im April 2019 wurde eine Beprobung an der Wärmeübertrageranlage in der Oberschule Ehrenfriedersdorf durchgeführt. Dabei wurden sowohl unfiltrierte, als auch 0,45 µm und 0,2 µm filtrierte Wasserproben genommen und analysiert.

4. Další vybrané výsledky k lokalitě Ehrenfriedersdorf

4.1. Rozbory vody

V dubnu 2019 byly odebrány vzorky na tepelném výměníku na střední škole Ehrenfriedersdorf. Odebrány a následně analyzovány byly jak nefiltrované, tak i 0,45 µm a 0,2 µm filtrované vzorky vody.



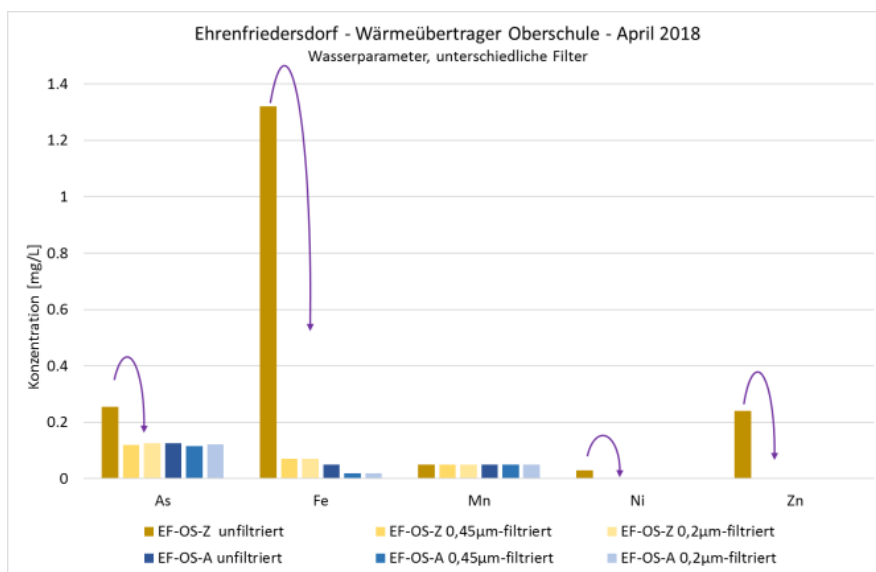


Abb. 2 Vergleich der Elementkonzentrationen zu unterschiedlichen Zeitpunkten (oben) und in unterschiedlichen Filtrationsstufen der Probenahme im April 2018 (rechts)

Obr. 2 Porovnání koncentrace prvků během rozdílných časových bodů a s nejrůznějšími filtračními vzorky a fázemi odběru vzorků v dubnu 2018 (vpravo)

Ehrenfriedersdorf - Wärmeübertrager Oberschule	Lokalita Ehrenfriedersdorf - tepelný výměník - střední škola
Wasserparameter	Parametry vody
Konzentrationsminderung	Snížení koncentrace
Ausfällung im WÜ	Vysrážení v tepelném výměníku
Konzentration	Konzentrace
Wasserparameter, unterschiedliche Filter	Parametry vody, různé filtry
April	Duben
unfiltriert	nefiltrováno
filtriert	filtrováno

In Abb. 2 ist oben ein Vergleich der gelösten Bestandteile Arsen, Eisen und Mangan der Zulaufwässer (rot) und Ablaufwässer (blau) zu unterschiedlichen Zeitpunkten dargestellt. Die roten Pfeile weisen aus, wo eine Minderung der Konzentration stattfand. Genauer gesagt, diese Elemente haben sich zu diesem Zeitraum an den Platten der Anlage abgelagert.

Na obr. 2 je shora znázorněné porovnání rozpuštěných látek arzén, železo a mangan ve vodách na nátok (červeně) a na odtok (modře) v různých časech. Červená šipka znázorňuje, kde došlo ke snížení koncentrací. Přesněji řečeno, tyto prvky se v tomto časovém období na deskách zařízení usadily.

Dolní graf ukazuje rovněž porovnání mezi vodami na nátok (oranžovo-

Das untere Diagramm zeigt ebenfalls den Vergleich zwischen Zulaufwässern (orange-gelbliche Farben) und Ablaufwässern (blaue Farben). Es wird aber vor allem deutlich, dass die wesentlichen Fe-Gehalte und auch der für As, Ni, Zn bei Einsatz eines 0,45 µm-Filterns entfernt wird. Diese Bestandteile sind also nicht echt gelöst, sondern liegen kolloidal gebunden vor.

Weiterhin wurden am Standort Oberschule mittels Bakterientest am Zu- und Ablauf sowohl Eisenreduzierer, als auch schleimbildende Bakterien nachgewiesen.

Es ist folglich davon auszugehen, dass im Bergbauwasser relevante Bakterienkolonien vorhanden sind und Biofouling stattfindet. Die Identifizierung von Eisen bezogenen Bakterien deckt sich auch mit den Erkenntnissen aus den Feststoffanalysen. Da ein Teil des Eisens organisch gebunden ist und sowohl eine Minderung des TOC, als auch der Fe-Konzentration zwischen Zu- und Ablauf analysiert wurde.

4.2. Genauere Untersuchungen der Feststoffausfällungen

Weiterhin wurde versucht die Ablagerungen (Krusten) gezielt zu „gewinnen“ und mittels REM (gekoppelt mit EDX-Analyse) zu untersuchen. Abb. 3 zeigt Detailaufnahmen dazu auf. Im oberen Bereich der Abb. sind zunächst

žlutavé barvy) a na odtoku (modré barvy). Především je patrné odstranění významného obsahu Fe, ale i As, Ni, Zn v případě použití filtru 0,45 µm. Tyto příměsi tedy nejsou skutečně rozpuštěné, ale vyskytují se koloidně vázané.

V lokalitě Ehrenfriedersdorf byly pomocí bakteriálního testu na nátoku a odtoku prokázány jak bakterie, které redukují železo, tak i bakterie, které vytvářejí šlem.

Lze tedy vycházet z toho, že v důlních vodách se relevantní kolonie bakterií vyskytují a že probíhá biofouling. Identifikace bakterií, majících souvislost se železem, se kryje i s poznatky z analýzy pevných látek. Jelikož část železa je vázaná organicky a analyzováno bylo jak snížení TOC, tak i koncentrací Fe mezi nátokem a odtokem.

4.2. Přesnější sledování srážení pevných látek

Kromě toho byl podniknut pokus o cílené „získání“ usazenin (krust) a jejich analýzu pomocí REM (spojeno s analýzou EDX). Na obr. 3 jsou zobrazeny detailní snímky. V horní části obrázku je tvorba těchto usazenin

diese Ablagerungsbildungen generell dargestellt. Dies wird durch das REM-Foto unten links in Abb. 3 untersetzt. Es wird sehr gut die Zweiteilung der Ablagerung deutlich, die sich auch makroskopisch schon abzeichnete. Dabei zeigten die Messungen im gekennzeichneten Bereich 1 viel höhere Mn- Gehalte, verglichen mit Bereich 2. Der Bereich 2 ist klar als Fe-Hydroxide zu kennzeichnen, die vor allem auch As gebunden haben, untergeordnet auch Ca, Mg, Mn. Im Mn-reichen Messungsbereich 1 ist auch deutlich Fe enthalten und in geringerem Niveau werden Al, Ca, As und Zn nachgewiesen.

zobrazena obecně. To dokládá snímek REM vlevo dole na obr. 3. Velmi dobře je patrné rozdělení usazenin do dvou částí, které bylo patrné i makroskopicky. Měření ve vyznačené oblasti 1 vykazují mnohem vyšší obsah Mn ve srovnání s oblastí 2. Oblast 2 je nutno jasně vyznačit jako hydroxidy železa, které navázaly především rovněž As, méně rovněž Ca, Mg, Mn. V oblasti měření 1, bohaté na výskyt Mn, je výrazně obsaženo rovněž Fe a na nižších úrovních jsou doloženy rovněž Al, Ca, As a Zn.

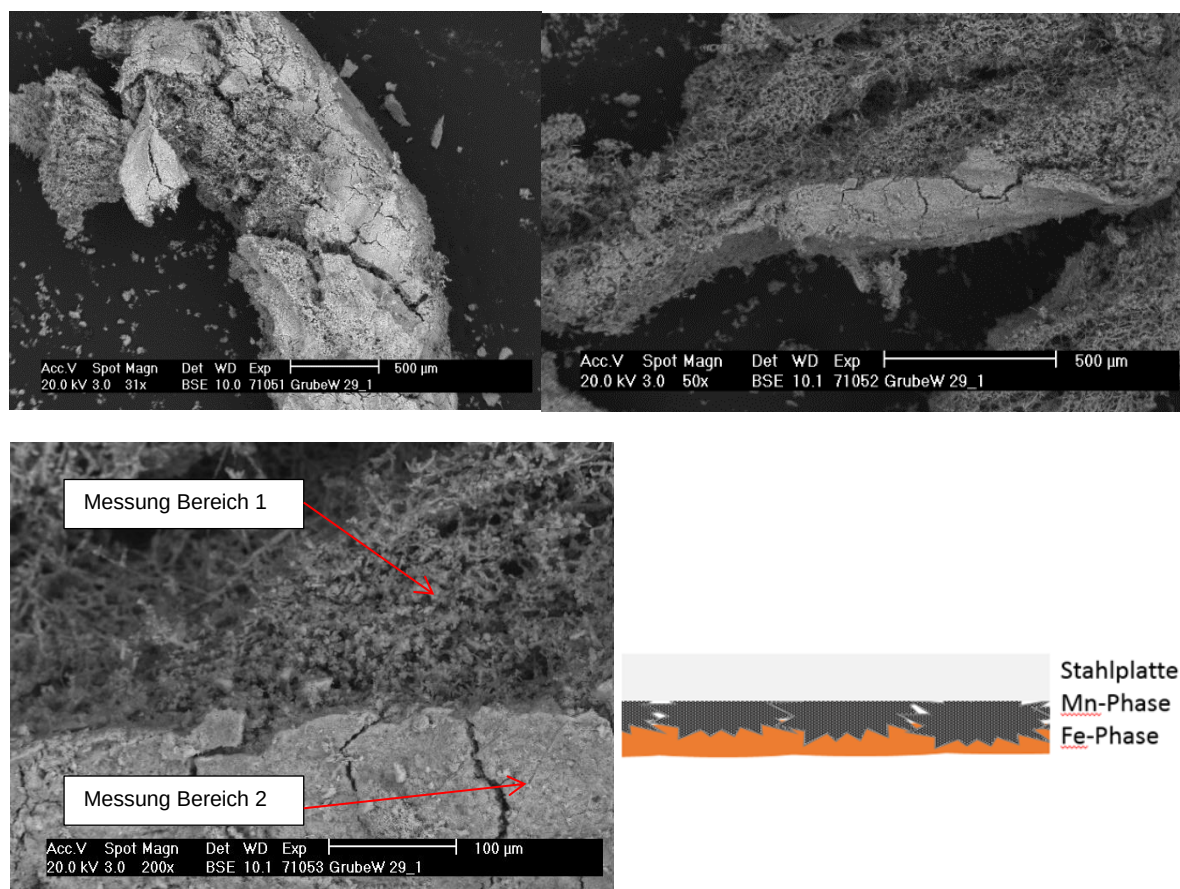


Abb. 3 REM Aufnahme zu separierten Ablagerungen (Probenahme 29.1.2019 Wärmetauscher Besucherbergwerk Ehrenfriedersdorf) – (oben) Abbildung der „netzartigen“ Mn-reicheren Ausfällungen als Basisschicht und der eher glatteren, äußeren Fe-reicheren Ausfällungen – (unten, links) Detailaufnahme an der EDX-Messungen erfolgte - (unten, rechts) schematischer Aufbau der Ablagerungen

Obr. 3 Snímek REM k separovaným usazeninám (vzorek, odebraný 29.1.2019 z tepelného výměníku v návštěvnickém dole Ehrenfriedersdorf) – (shora) vyobrazení „síťovitých“ sraženin, bohatých na výskyt Mn jako základní vrstvy a spíše hladkých, vnějších, na výskyt Fe bohatých sraženin (dole, vlevo), detailní snímek z provedeného měření EDX (dole, vpravo) schematická stavba usazenin.

Stahlplatte	Ocelová deska
Mn-Phase	Fáze Mn
Fe-Phase	Fáze Fe

Der Teil der Probe mit den dunkelbraunen, schwärzlichen Ablagerungen, weist eine sehr raue stark verästelte (kristalline) Oberfläche auf und enthält laut Elementanalyse bis

Část vzorku s tmavě hnědými, načernalými usazeninami, vykazuje velmi hrubý silně rozvětvený (krystalický) povrch a obsahuje podle analýzy prvků až 43% Mn, 16% Fe, 4%

zu 43% Mn, 16% Fe, 4% As, 4% Ca und 2% Al. Der untere „glattere Bereich“ (rote Sedimentation) besteht zu etwa 47% aus Fe, 15,5% As, 2% Ca und 2% Mn. Eine ganz genaue Angabe zu den Kohlenstoff-Gehalten ist auf Grund der Messmethodik und Probenvorbereitung zwar schwierig, jedoch kann festgehalten werden, dass der C-Gehalt in den Fe-reichen-Bereichen deutlich höher (etwa doppelt so hoch) ist, verglichen mit den Mn-reichen Bereichen.

5. Zusammenfassende Schlussfolgerungen und Ausblick

Aus den bisherigen Untersuchungen können folgende Hauptaussagen getroffen werden:

- Hohe Elementkonzentrationen in den Bergbauwässern müssen nicht automatisch zu umfangreichen Ablagerungen führen.
- Die analysierten Wässer zeigten eine Verringerung der Konzentration von Fe, Mn und As beim Prozess des Wärmetausches aus.
- Die Verringerung der Konzentrationen von Fe, Mn aber auch Ni, Al, As, Cu und Zn durch Filtration, zeigt auf, dass sich dies auf partikuläre Gehalte bezieht. Diese sind somit als Schwebstoffe zu verstehen.
- Bei den Schwebstoffen handelt es sich mind. teilweise um organische

As, 4% Ca a 2% Al. Dolní „hladká část“ (červená sedimentace) sestává ze zhruba 47% z Fe, 15,5% As, 2% Ca a 2% Mn. Určit zcela přesný údaj o obsahu uhlíku je z důvodů metodiky měření a přípravy vzorku sice obtížné, lze však konstatovat, že obsah C v oblastech bohatých na výskyt Fe je výrazně vyšší (zhruba dvojnásobně vyšší) v porovnání s oblastí, bohatými na výskyt Mn.

5. Souhrnné závěry a výhled

Z dosavadních výzkumů lze dospět k následujícím hlavním závěrům:

- vysoké koncentrace prvků v důlních vodách nemusejí mít automaticky za následek rozsáhlé usazeniny,
- analyzované hodnoty ukazují na snížení koncentrací Fe, Mn a As během procesu v tepelném výměníku,
- snížení koncentrací Fe, Mn, ale i Ni, Al, As, Cu a Zn pomocí filtrace ukazuje na skutečnost, že se tato koncentrace týká obsahu částic, které je tedy nutno chápat jako nerozpuštěné látky,
- v případě nerozpuštěných látek se jedná min. zčásti o organické součásti stejně jako o bakterie, které využívají například železo pro získávání energie pro svoji látkovou výměnu,

- Bestandteile wie auch Bakterien, die z.B. Eisen zur Energiegewinnung für ihren Stoffwechsel nutzen.
- Das Fouling kann folglich in zwei Arten unterteilt werden. An der Stahloberfläche der Wärmeübertragerplatten finden chemische Reaktionen – echte Ausfällungen/ Kristallisation – statt, die als dunkelbraun-schwärzliche Ablagerungen identifiziert wurden. Diese sind Mangan-dominiert und als „leicht reduzierbare Phasen“ (Braunstein) gebunden. Zusätzlich findet, als darauf liegende Schicht eine Ausfällung von Eisenhydroxiden statt, welche als rote, amorphe Ablagerung erkennbar sind.
 - Die weitere Foulingart ist das biologische Fouling, welches durch Bakterien induziert ist. Es wird sich hier nicht um eine klassische Bakterienbesiedlung handeln, sondern wohl eher um Sedimentation von Schwebanteilen/ Kolloiden bspw. unterstützt durch Strömungsänderungen zwischen den Wärmeübertragerplatten.
- fouling lze dělit do dvou druhů, na ocelovém povrchu desek tepelných výměníků probíhají chemické reakce – skutečné srážení / krystalizace, které byly identifikovány jako tmavě hnědé - načernalé usazeniny, tyto usazeniny jsou dominovány manganem a vázány jako „lehce redukovatelné fáze“ (burel), navíc jako navazující vrstva probíhá vysrážení oxidů železa, patrné jako červené, amorfni usazeniny,
 - dalším druhem foulingu je biologický fouling, indukovaný bakteriemi, nejedná se zde o klasické osídlení bakteriemi, ale spíše o sedimentaci nerozpuštěných látek / koloidů, případně podpořené změnami proudění mezi deskami tepelných výměníků.

Die Konsequenz der Ergebnisse ist, dass eine Verminderung der Ablagerungen auf den Wärmetauschern durch eine Filterstufe erreicht werden kann. Ob es sich hierbei um eine Mikro- oder Nanofilterstufe handeln sollte, kann nach weiteren Analysen (mit dem erweiterten Filterset) festgelegt werden.

Důsledkem těchto výsledků je skutečnost, že lze dosáhnout snížení usazenin v tepelných výměnících pomocí filtračního stupně. To, zda by se v tomto případě mělo jednat o stupeň mikro- nebo nanofiltrace lze stanovit na základě dalších analýz (pomocí rozšířeného filtračního setu). Jelikož není možno zamezit skutečnému vysrážení prvků, jsou do budoucna uvažovány pokusy za účelem optimalizace čištění desek, aby bylo možno formulovat doporučení. Na základě dalších vzorků vody, podrobených kompletnímu rozšířenému setu analýz, budou tato data využita pro

Da echte Ausfällungen nicht verhindert werden können, sind in Zukunft Versuche zur Optimierung der Plattenreinigung angedacht, um Empfehlungen diesbezüglich geben zu können. Nach weiteren Wasserprobenahmen mit dem kompletten erweiterten Analysenset, werden diese Daten genutzt, um mittels PhreeqC die hydrogeochemischen Wechselwirkungen zu modellieren. Dabei wird der Fokus zunächst auf Eisen- und Manganphasen liegen und der Einfluss der Variierung von Temperatur und Druck untersucht werden. Die modellierten Daten müssen dann mit dem Realsystem abgeglichen werden. Erst wenn diese übereinstimmen, kann das Modellvorgehen auf andere Standorte angewandt werden.

modellování hydrogeochemických interakcí pomocí programu PhreeqC. Pozornost se přitom zaměření nejprve na fáze železa a manganu a na vliv proměny teploty a tlaku. Modelovaná data pak bude nutno porovnat s reálným systémem. Teprve až zde dojde k souladu, lze modelový přístup použít i pro jiné lokality.

Literatur/Literatura

BROOKINS, D.G [1988]: "Eh-PH diagrams for geochemistry." Springer-Verlag, Berlin.

PARKHURST, D.L. & APPELO, C.A.J. [1999]: „User's guide to PHREEQC 2“, U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report, 99-4259, Denver-Colorado., 1999

USSATH, M., GRIMMER, M. & HOTH, N. [2019]: Vodamin II - Untersuchungen zum Einfluss der Wasserchemie auf den Anlagenbetrieb – bisherige Untersuchungsergebnisse und Prognosen zur Ablagerungsbildung, Workshop „Möglichkeiten und Herausforderungen bei der Nutzung von Grubenwässern“, Freiberg 04.04.2019

Möglichkeiten der Nutzung des auf die Oberfläche gehobenen Grubenwassers im Ostrau-Karwiner Bergbaurevier (OKD)

Možnosti využití důlních vod čerpaných na povrch v OKR

Doc. Ing. Jindřich Šancer, Ph.D.

Hochschule für Bergbau – Technische Universität in Ostrau – jindrich.sancer@vsb.cz

1. Einführung

Der Beitrag befasst sich mit Möglichkeiten der Nutzung des Grubenwassers, dass auf die Oberfläche im Ostrau-Karwiner Steinkohlerevier gehoben wird. Dieses Grubenwasser wird gegenwärtig fast nicht genutzt und wird in den Vorfluter Ostrawitza (Ostravice) abgeleitet. Um den Bedarf der Wasserhebung erklären zu können, wird in dem Beitrag zuerst in kurzer Form die Geschichte des Bergbaus, die geologische sowie die bergbau-technische Situation im Ostrau-Karwiner Steinkohlerevier dargestellt. Im Folgenden werden kurz der Chemismus sowie weitere Eigenschaften dieser Grubengewässer beschrieben, die einen engen Zusammenhang mit ihrer potentiellen Nutzung haben. Abschließend werden Möglichkeiten der Grubenwassernutzung präsentiert, die

1. Úvod

Uvedený článek se zabývá možnostmi využití důlních vod čerpaných nuceně na povrch v Ostravsko-karvinském černouhelném revíru. Tato důlní voda je v současné době téměř nevyužitá a je vypouštěná do místní řeky Ostravice. Aby byla vysvětlena potřebnost čerpání důlních vod na povrch, bude v tomto článku nejprve stručnou formou představena historie těžby, geologická a důlně-technická situace v OKR. Dále bude velmi stručně popsán chemismus a ostatní vlastnosti těchto důlních vod, které úzce souvisí s jejich potencionálním využitím. Závěrem budou prezentovány možnosti využití důlních vod, které byly v revíru odzkoušeny nebo jsou předmětem zájmu.

im Revier getestet wurden und ein Gegenstand des Interesses sind.

2. Kurze Geschichte des Bergbaus im Ostrau-Karwiner Revier

Der Abbau von Steinkohle findet im Ostrau-Karwiner Revier ununterbrochen seit etwa 250 Jahren statt. Die Entdeckung der Kohle im Jahre 1776 war ein historischer Meilenstein. Von da ab begann man die Geschichte des Kohlebergbaus im Ostrau-Karwiner Steinkohlerevier zu schreiben. Nachweisbar ist der Abbau seit 1782, wo mit Hilfe von Stollen und flachen Gruben an Aufschlüssen der Kohleflöze gebaut wurde. 1805 wurde die erste Grube abgeteuft. Somit begann der Steinkohlebergbau im Tiefbau, der ohne Unterbrechungen bis heute andauert. Einen Umbruch in der Entwicklung brachte insbesondere der Beginn der Eisenproduktion in Witkowitz (Vítkovice) und die Feststellung, dass verkokungsfähige Kohle für diese Branche unabdingbar ist. Machte sich die Kohle bis in die 1840er Jahre an der Gestalt der Landschaft und in dem Leben der Menschen noch nicht markant bemerkbar, wurde sie seit diesem Augenblick ihr untrennbarer Bestandteil. Etwa in der Hälfte der 1860er Jahre erreichte der Abbau eine Million Tonnen. Die maximale Jahresproduktion wurde am Ende des

2. Stručná historie těžby v OKR

V Ostravsko-karvinském revíru probíhá nepřetržitá těžba černého uhlí cca 250 let. Nález uhlí v r. 1776 představoval historický milník, od kterého se začaly psát dějiny uhelného dolování v OKR. Doložená těžba je datována od roku 1782, kdy byla prováděna za pomoci štol a mělkých jam při výchozech uhelných slojí na povrch. V roce 1805 byla vyhloubena první jáma, čímž započala etapa těžby uhlí na hlubinných dolech, probíhající nepřetržitě dodnes. Zlom ve vývoji přinesl především začátek výroby železa ve Vítkovicích a zjištění, že koksovatelné uhlí je pro toto odvětví nepostradatelné. Zatímco do 40. let 19. století se uhlí na podobě krajiny a životě zdejších lidí ještě nijak výrazně neprojevovalo, od této chvíle se stává jeho neoddělitelnou součástí. Přibližně v polovině 60. let 19. století tak už těžba dosáhla mil. tun. Maximální roční těžby bylo dosahováno koncem 20. století, kdy roční těžba dosahovala cca 24 mil. tun/rok.

20. Jahrhunderts erreicht, wo sie etwa 24 Mio Tonnen / Jahr erreichte.

Das Jahr 1991 kann als Beginn einer Etappe bezeichnet werden, die mit einer fortschreitenden Einstellung der Kohleförderung und Beseitigung von Gruben im Ostrau-Karwiner Steinkohlerevier zusammenhängt. Gegenwärtig wird Kohle an 4 Gruben mit einer Jahresproduktion von etwa 4 Mio. Tonnen Kohle abgebaut.

3. Das Ostrau-Karwiner Revier

Das Ostrau-Karwiner Kohlebecken ist ein Bestandteil des Oberschlesischen Beckens, das sich größtenteils auf dem Gebiet des Nachbarlandes Polen erstreckt. Die Gesamtfläche beträgt etwa 7 000 Quadratkilometer, davon entfallen auf die Tschechische Republik nur etwa 1 500 Quadratkilometer. Es handelt es um ein Gebiet in der Umgebung von Ostrau (Ostrava), Karwin (Karviná), Teschen (Český Těšín), Friedek-Mistek (Frýdek-Místek) und Franktstadt unter dem Radhoscht (Frenštát pod Radhoštěm), wo sich kohlehaltige Schichten karbonischen Alters befinden.

Das Becken teilt sich auf dem Gebiet der Tschechischen Republik in folgende Gebiete:

Od roku 1991 je možné datovat etapu, která je spojena s postupným útlumem těžby uhlí a likvidací dolů v OKR. V současné době probíhá těžba uhlí na 4 dolech s roční těžbou cca 4 mil. tun uhlí.

3. Ostravsko-Karvinský revír (OKR)

Ostravsko-karvinská uhelná pánev je součástí hornoslezské pánve, která z větší části leží na území sousedního Polska. Celá rozloha je přibližně 7000 čtverečních kilometrů, z toho však na Českou republiku připadá jen asi 1 500 čtverečních kilometrů. Jde o území v okolí Ostravy, Karviné, Českého Těšína, Frýdku-Místku a Frenštátu pod Radhoštěm a dalších, kde se nacházejí uhlonosné vrstvy karbonického stáří.

Na území ČR se uhelná pánev dále dělí na oblast:

- **ostravsko-karvinskou** - kde už těžba dlouhodobě probíhá a výrazně ovlivnila podobu krajiny i sociální prvky
- **podbeskydskou** - kde těžba dosud neprobíhala.

Severní hranice revíru je tvořena státní hranicí s Polskem, jižní hranice české

- **Ostrau-Karwin** - dort, wo der Abbau bereits langfristig stattfindet und wesentlich die Gestalt der Landschaft sowie die sozialen Elemente beeinflusst hat.
- **Unterhalb der Beskiden** – hier fand bisher kein Abbau statt.

Die Nordgrenze des Reviers wird durch die Grenze zu Polen gebildet, die Südgrenze des Böhmisches Beckens wurde bisher nicht sicher festgelegt, die meisten Autoren sind der Auffassung, dass die kohlehaltigen karbonischen Schichten in große Tiefen und Entfernungen weiterführen.

In diesem Beitrag gilt die Aufmerksamkeit insbesondere dem Ostrau-Karwiner Teil des Reviers. Hier werden die Ostrauer und die Karwiner Schichtenfolge unterschieden. Die Ostrauer Schichtenfolge entstand in einer Küstenumgebung und in Folge einer häufigen Vulkantätigkeit und zeichnet sich durch hochwertigere Kohle in Flözen mit einer geringeren Mächtigkeit aus. Demgegenüber bildete sich die jüngere Karwiner Schichtenfolge nach dem endgültigen Rückgang des Meers heraus.

části pánve zatím není bezpečně ověřena, většina autorů soudí, že uhlonosné karbonické vrstvy pokračují do velkých hloubek a značných vzdáleností.

V tomto článku se budeme zabývat především ostravsko-karvinskou částí revíru. V ostravsko-karvinské oblasti se rozlišuje ostravské a karvinské souvrství. Ostravské vzniklo v přímořském prostředí a pod vlivem časté vulkanické činnosti a vyznačuje se kvalitnějším uhlím ve slojích menší mocnosti. Naproti tomu mladší karvinské se tvořilo po definitivním ústupu moře.

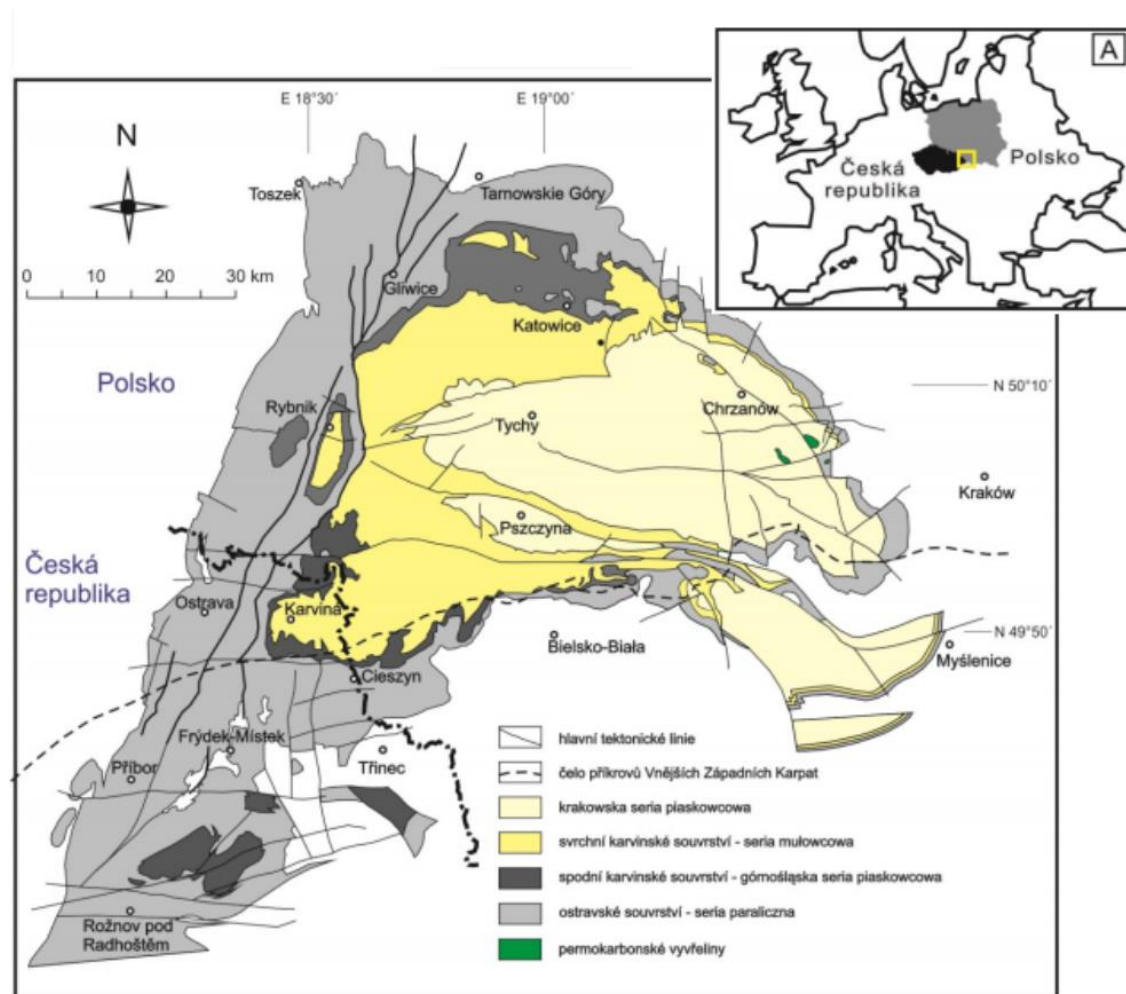


Abb. 1 Lage des Oberschlesischen Kohlebeckens [1]

Obr. 1 Umístění Hornoslezské uhelné pánve [1]

hlavní tektonické linie	Tektonische Hauptlinie
čelo příkrovů Vnějších Západních Karpat	Stirnseite der Deckschicht der Äußeren Westkarpaten
krakowska seria piaskowcowa	Krakauer Sandsteinserie
svrchní karvinské souvrství - serie Mulowcowa	Obere Karwiner Schichtenfolge
spodní karvinské souvrství - górnosłaska seria piaskowsowa	Untere Karwiner Schichtenfolge
ostravské souvrství - seria paraliczna	Ostrauer Schichtenfolge
permokarbonské vyvřeliny	Permokarbonische Eruptivgesteine

Aus geologischer und geographischer Sicht kann das Ostrau-Karwiner Gebiet in drei Teile gegliedert werden und zwar das Ostrauer, Peterswalder und

Z geologického a geografického hlediska lze Ostravsko-karvinskou oblast rozdělit na 3 části, a to Ostravskou, Petřvaldskou a Karvinskou

Karwiner Becken. Diese Becken sind in Richtung West-Ost durch Verwerfungszone voneinander getrennt (Michalkowitz und Orlauer Verwerfung – s. Abb. 2). Später wurde festgestellt, dass sich diese Gebiete aus hydrogeologischer Sicht unterschiedlich verhalten, obwohl sie gegenseitig in Verbindung stehen. Der Bergbau im Ostrauer und Peterswalder Teilbecken wurde bereits eingestellt. Gegenwärtig wird der Bergbau nur im Karwiner Teil des Ostrau-Karwiner Reviers betrieben.

Obwohl im Ostrauer Teil des Ostrau-Karwiner Reviers die Gruben bereits geschlossen und beseitigt wurden, muss in ihnen auch weiterhin der Grundwasserspiegel auf einem künstlichen Niveau gehalten werden, um eine Flutung des aktiven Karwiner Teils des Reviers, in dem der Bergbau auch weiterhin betrieben wird, verhindern zu können.

pánev. Tyto pánve jsou ve směru Z-V od sebe poruchovými pásmy (Michálkovická porucha a Orlovská porucha – viz. Obrázek 2). Později bylo zjištěno, že tyto oblasti se z hydrogeologického hlediska chovají odlišně, i když mezi sebou vzájemně komunikují. Těžba v Ostravské a Petřvaldské dílčí pánvi již byla ukončena. V současné době probíhá těžba pouze v Karvinské části OKR.

Zatímco v ostravské části OKR byly doly již uzavřeny a zlikvidovány, stále v nich musí být uměle udržována hladina podzemní vody na nízké úrovni, aby nedocházelo k zaplavení aktivní karvinské části revíru, ve které stále probíhá těžba.

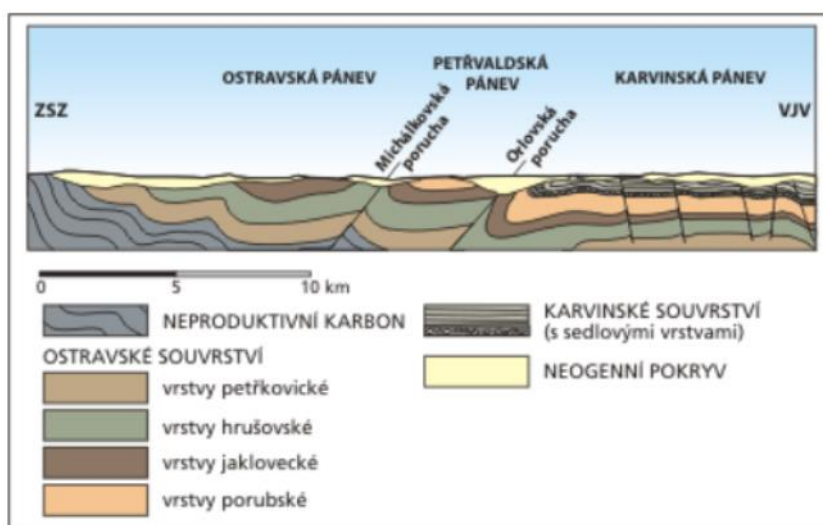


Abb. 2 Gliederung des OKD in Teilbecken

Obr. 2 Rozdělení OKR na dílčí pánve

ZSZ	Westnordwest
Ostravská pánev	Ostrauer Verwerfung
Michálkovská porucha	Michalkowitzer Verwerfung
Petřvaldská pánev	Peterswalder Becken
Orlovská porucha	Orlauer Verwerfung
Karvinská pánev	Karwiner Becken
VJV	Ostsüdost
Neproduktivní karbon	Nicht produktiver Karbon
Ostravské souvrství	Ostrauer Schichtenfolge
vrstvy petřkovické	Petrzkowitzer Schichten
vrstvy hrušovské	Hruschauer Schichten
vrstvy jaklovecké	Kalowetzer Schichten
vrstvy porubské	Hannesdorfer Schichten
Karvinské souvrství (s sedlovými vrstvami)	Karwiner Schichtenfolge (mit Sattelschichten)
Neogenní pokryv	Neogene Bedeckung

4. Kurz zur Hydrogeologie des Ostrau-Karwiner Reviers

Im Rahmen der Stilllegung des Bergbaus und Beseitigung der Gruben im westlichen Teil des Oberschlesischen Beckens – in dem sog. Ostrauer Teilbecken – musste u. a.

4. Stručná hydrogeologie OKR

Při útlumu hornické činnosti a likvidaci dolů v západní části hornoslezské pánve – v tzv. ostravské dílčí pánvi OKR (dále jen ODP) – bylo nutno vyřešit mj. dočasné čerpání důlních vod a udržování jejich hladiny v zatopených

eine Temporäre Hebung des Grubenwassers und die Aufrechthaltung des Wasserspiegels in den gefluteten Gruben auf einer Ebene geregelt werden, auf der ein Überfließen des Grubenwassers in Folge einer hydrologischen Verbindung des Grundwassers zwischen beiden Teilbecken aus dem Ostrauer in den benachbarten Peterswalder und folgend den Karwiner Teilbecken des Kohlereviere verhindert werden konnte. Es wurde ein Konzept zur Zusammenführung aller Grubengewässer aus allen Gruben in eine zentrale Grube, die sog. Kunstschacht Jeremenko erarbeitet. Hier sollte dann eine einzige Pumpstation errichtet werden. Das Schema der gegenseitigen Verbindungen des Grubenwassers und die Stelle zur Wasserhebung (Jeremenko Mine) ist auf Abb.3 dargestellt.

Die Hebung des Grubenwassers im Ostrauer Teilbecken wurde am 30.6.1997 eingestellt. Damit begann die Phase der Flutung. Im August 2001 wurde an der Grube Jeremenko der Wasserstand -390,8 m p.m. erreicht und es wurde mit einem Vortestbetrieb der Hebung und der ersten Einleitung der Grubengewässer aus dem Ostrauer Teilbecken in das Fließgewässer Ostravice begonnen. Im Zeitraum März

dolech na úrovni, která vyloučí přetok důlních vod z ostravské do sousední petřvaldské a následně do karvinské dílčí pánve uhelného revíru, díky vzájemné hydrologické komunikaci podzemních vod mezi oběma dílčími pánvemi. Byla vypracována koncepce svedení důlních vod ze všech dolů na centrální jámu – tzv. Vodní jámu Jeremenko (dále jen VJJ) - a zde vybudovat jedinou čerpací stanici. Schéma vzájemné komunikace důlních vod a místo čerpání (Jeremenko Mine) je na obrázku 3.

Čerpání důlních vod v ODP bylo ukončeno 30.6.1997 a začala fáze zatápění. V srpnu roku 2001 bylo na jámě Jeremenko dosaženo úrovně hladiny v jámě -390,8 m p.m. a byl zahájen předzkušební provoz čerpání s prvním vypuštěním důlních vod z ODP do toku Ostravice. V období březen 2002 až únor 2003 byly provedeny přítokové zkoušky na VJJ s cílem ověření přítoků do celé zatopené oblasti ODP [2].

Po ukončení zkušebního provozu čerpání důlních vod bylo rozhodnuto udržovat hladinu vody v jámě Jeremenko v rozmezí -389,5 až -371,5 m pod hladinou moře. Retenční objem mezi těmito hladinami byl vypočten na 1 300 000 m³. Časová rezerva v plnění retenčního prostoru na úrovni rozkyvu

2002 bis Februar 2003 wurden Versuche am Zulauf zum Kunstschacht Jeremenko mit dem Ziel durchgeführt, sämtlichen Zulauf in das geflutete Gebiet des Ostrauer Teilbeckens zu überprüfen [2].

Nach Einstellung des Testbetriebes der Grubenwasserhebung wurde beschlossen, den Wasserstand in der Grube Jeremenko in einer Spanne zwischen -389,5 bis -371,5 m unterhalb Meereshöhe aufrechtzuhalten. Das Rückhaltevolumen zwischen diesen Wasserspiegeln wurde auf 1.300.000 m³ berechnet. Die zeitliche Reserve der Füllung des Rückhalterums auf der Ebene der Oszillation der Wasserspiegel -389,5 bis -371,5 p.m. beträgt etwa 88 Tage [2].

Das abgepumpte Grubenwasser wird geregelt in das lokale Fließgewässer Ostrawitza so abgeleitet, dass im Oberflächenwasser die Einhaltung festgelegter Grenzwerte der Konzentration der wichtigsten Schadstoffe gewährleistet werden kann. Die Quelle dieser Schadstoffe ist nicht nur das Grubenwasser, sondern im Hinblick zu ihrer Entstehung auch andere industrielle Tätigkeiten in diesem Raum. Die Erfüllung dieser Bedingungen ist durch eine geregelte Rückhaltung des Grubenwassers in den gefluteten Grubenbauen der

hladin -389,5 až -371,5 m p.m. činí cca 88 dní [2].

Vyčerpaná důlní voda se řízeně vypouští do místního toku Ostravice tak, aby v povrchové vodě řeky nedošlo k překročení stanovených limitů koncentrací hlavních polutantů nejen původem z důlních vod, ale i s ohledem na jejich produkci i z jiných průmyslových činností v oblasti. Splnění těchto podmínek umožňuje regulovatelná akumulace důlní vody v zatopených dolech bývalých dolů ODP (retenční kapacita – 1,3 mil.m³). Výška vodní hladiny ve Vodní jámě Jeremenko je pro upřesnění provozu čerpání monitorována a vyhodnocována souběžně s monitoringem kvality vypouštěných důlních vod v řece Ostravici.

Pro vypouštění bylo postupně vydáno několik vodohospodářských rozhodnutí, která respektovala vliv velikosti průtoku v řece na vypouštěné množství důlní vody při dodržování tehdejší mezivládní dohody s Polskem o maximálních koncentracích chloridů a síranů na hraničním profilu řeky Odry v Bohumíně. Vliv vypouštění důlní vody z VJJ je sledován na profilu Ostravice-Muglinov, pro nějž jsou uloženy závazné limity koncentrací polutantů s ohledem na specifický hydrochemický obraz vypouštěných vod (viz tabulka 1).

ehemaligen Bergwerke des Ostrauer Teilbeckens (Rückhaltevermögen – 1,3 Mio. m³) möglich. Um eine genauere Steuerung des Betriebes gewährleisten zu können wird der Stand des Wasserspiegels in der Kunstschacht Jeremenko zusammen mit einem Monitoring der Qualität des abgeleiteten Grubenwassers in der Ostrawitza beobachtet und ausgewertet.

Für eine Einleitung wurden nach und nach mehrere wasserwirtschaftliche Bescheide erlassen, in denen die Auswirkungen des Durchflusses im Fließgewässer auf die eingeleiteten Mengen des Grubenwassers unter Einhaltung des damaligen Abkommens mit Polen über die höchstmöglichen Konzentrationen von Chloriden und Sulfaten im Grenzprofil der Oder in Oderberg (Bohumín) berücksichtigt wurden. Die Auswirkungen der Einleitung des Grubenwassers aus dem Kunstschacht Jeremenko werden am Profil der Ostrawitza in Muglinau (Muglinov) verfolgt, für den verbindliche Grenzwerte der Konzentrationen von Schadstoffen unter Berücksichtigung eines spezifischen hydrochemischen Bildes der eingeleiteten Gewässer festgelegt wurden (s. Tabelle 1).

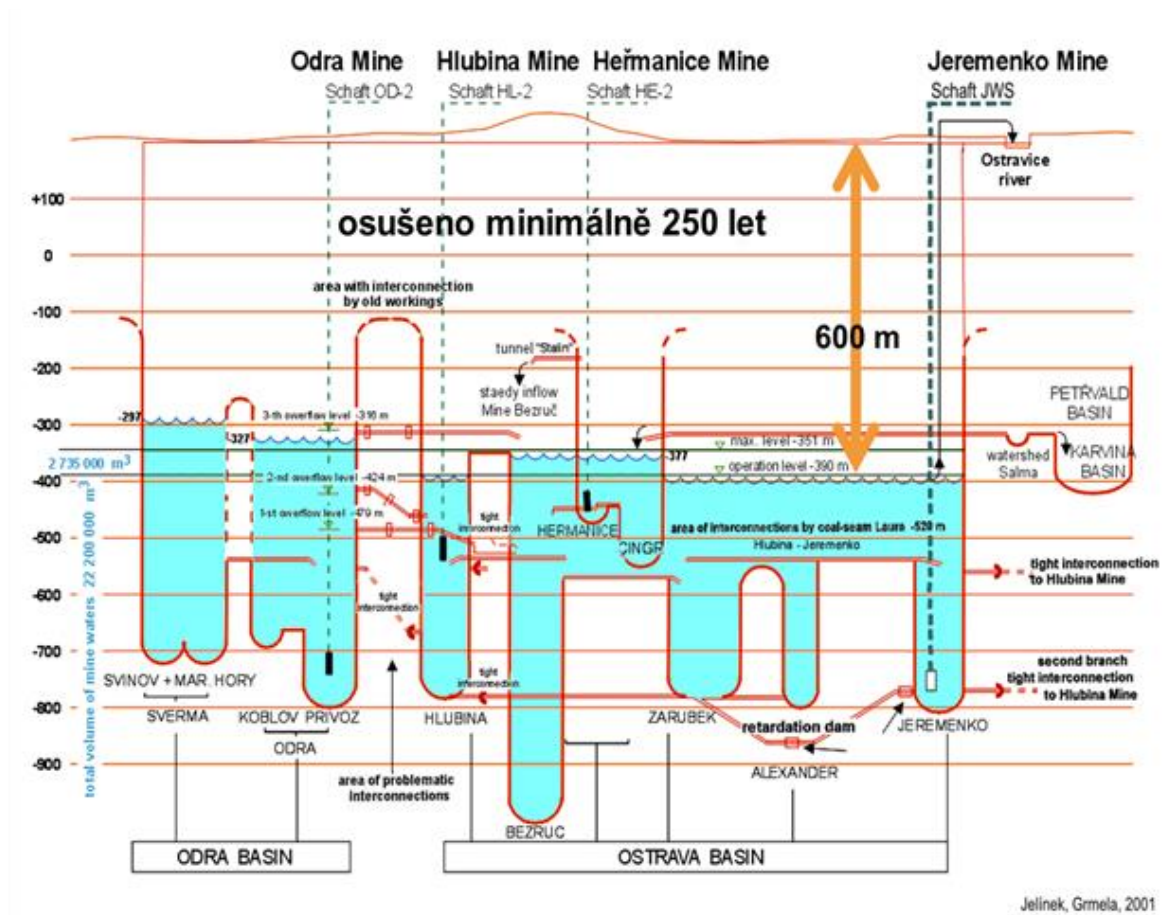


Abb. 3 Schema des zum Teil gefluteten Ostrauer Teilbecken [2]

Obr. 3 Schéma částečně zatopené ostravské dílčí pánve[2]

Tab. 1 Grenzwerte der durchschnittlichen Jahreskonzentrationen in der Ostrawitza unterhalb der Einleitung aus dem Kunstschaft Jeremenko [2]

Tab. 1 Limitní hodnoty průměrných ročních koncentrací v Ostravici pod výpustí VJJ [2]

Durchfluss	2 - 6 m³/s	6 - 10 m³/s	>10 m³/s
Grenzwerte der durchschnittlichen Jahreskonzentrationen			
[SO ₄] ²⁻	290 mg/l	260 mg/l	230 mg/l
[Cl] ⁻	450 mg/l	300 mg/l	250 mg/l

Durchfluss	průtok
Grenzwerte der durchschnittlichen Jahreskonzentrationen	limitní hodnoty průměrných ročních koncentrací

Auf Grundlage der Mengen des seit 2001 gehobenen und eingeleiteten Grubenwassers kann festgestellt werden, dass der jährliche durchschnittliche Durchfluss Q gegenwärtig etwa 5 Mio. m^3 beträgt, dies entspricht etwa 170 l/s [2].

Aus geochemischer Sicht kann das Wasser als neutral bis leicht alkalisch eines grundlegenden Natrium-Chlorid-Typs bezeichnet werden, mit Herkunft überwiegend aus der Deckschicht karbonischer Gesteine (Baden), weiter quartärer Grundwasserleiter und Oberflächengewässer durch eine direkte Filtrierung über die karbonischen Fenster.

Ausgewählte qualitativen Parameter des gehobenen Grubenwassers können der Tabelle Nr. 2 entnommen werden.

Z měření množství čerpaných a vypouštěných důlních vod od roku 2001 je možno konstatovat, že roční průměrný průtok Q je v současné době cca 5 mil. m^3 což odpovídá cca 170 l/s [2].

Z geochemického pohledu lze vodu charakterizovat jako neutrální až mírně alkalická vodu, základního natrium-chloridového typu, dominantně původem z pokryvu karbonických hornin (baden), dále kvartérních zvodní a povrchových toků přímou filtrací přes karbonická okna.

Vybrané kvalitativní parametry čerpaných důlních vod je možné vyčíst z tabulky č. 2.

Tab. 2 Ausgewählte qualitative Parameter des gehobenen Grubenwassers [2]

Tab. 2 Vybrané kvalitativní parametry čerpaných důlních vod [2]

Vybrané kvalitativní parametry důlních vod ostravské dílčí pánve v období zatápění a následného čerpání vod z VJJ

		RL	Cl	SO ₄	Mg	Ca	Fe	Na	NEL	CHSK _{Co}	J	Br
Důl Heřmanice	1994	5799	2780	432	69	144	0,16	1950	0,01	500	1,2	12,49
	1996	2917	1512	144						101		
	1997	6671	3551							714		
Důl Zárubek	1994	1619	199	638	51	126	0,09	280	0,045	40		
	1995	1503	163	631	49	121	0,08		0,085	43	0	3,33
	1996	1850	157	950	65	134	0,17		0,025			
	1997	2189	141	1017	70	186	0,12		0,01			
Důl Ostrava VJ Jeremenko	1994	15170	8438	107	146	131	0,19	5050	0,04	15687		
	1995	15235	8482	83	146	181	0,14		0	1470	3,17	40
	1996	12057	6522	99	117	191	0,1		0,015			
	zatápění	1997	12387	6598	205	126	0,08		0,03			
		1998	12988	6020	228	154	160					
		1999	15235	7821	225	170	179	0,21	5170		4,5	40,5
		2000	16975	9266	26	158	164	0,33	0,326			
	čerpání vod na VJJ	2001	19200	10779	107	163	288	7,37	5190	0,06	206	
		2002	21764	11026	290	298	362	12,41		0,018		
		2003	17704	7286	429			5,72		<0,01		
		2004	15500	7876	532			0,79		0,01		
		2005	12833	6333	495			2,75		0,03		
		2006	11250	5192	594			10,04		0,305		
		2007	10833	5435	645			5,64		0,296		
		2008	10215	4969	665			7,58		<0,05		
		2009	9592	4573	635			3,24		<0,05		
		2010	8985	4118	624			1,33		<0,05		
		2011*	8768*	3951*	641*			0,75*				
Důl Šverma	1994	6333	1101	1308	89	72	0,74	2108	0,06	189	3,98	5,46
	1995	5407	930	576	77	78	0,41	2649	0,08	250	3,91	5,19
	1996	8583	3399	1644	105	101			0			
Důl Odra	1994	5220	1244	958	68	78	1	1740	0,045	171	2,9	5,73
	1996	5291	1585	640	73	61			0,03	214		
	1997	5279	1618	546	71	43			0,03			

Legenda : období zatápění ostravské dílčí pánve
období vzorkování pouze na VJ Jeremenko
období čerpání vod z Vodní jámy Jeremenko

RL ... rozpuštěné látky

* ... údaje za 1. pololetí

Důl	Grube
VJ Jeremenko	Kunstschacht Jeremenko
zatápění	Flutung
čerpání vod na VJJ	Wasserhebung am Kunstschacht Jeremenko
Legenda	Legende
období zatápění ostravské dílčí pánve	Zeitraum der Flutung des Ostrauer Teilbeckens
období vzorkování pouze na VJ Jeremenko	Zeitraum der Probenahme nur am Kunstschacht Jeremenko
období čerpání vod z Vodní jámy Jeremenko	Zeitraum der Wasserhebung aus dem Kunstschacht Jeremenko
rozpuštěné látky	Gelöste Stoffe
údaje za 1. pololetí	Angaben für das 1. Halbjahr

5. Möglichkeiten der Nutzung der Grubenwasserhebung

Wie bereits oben dargestellt wurde, wird aus dem Kunstschacht Jeremenko fast ununterbrochen eine hohe Menge an Gewässern gehoben, was relativ aufwendig ist. Dabei wird das gehobene Wasser ohne einen Nutzen in den lokalen Fluss Ostrawitza abgeleitet. Aus diesem Grund wurden einige Studien und Forschungsarbeiten hinsichtlich Möglichkeiten der Nutzung der Potentiale dieser Gewässer durchgeführt. Die Möglichkeiten der Nutzung der Grubengewässer, die untersucht wurden, werden in den folgenden Kapiteln kurz dargestellt.

5.1. Pumpspeicherkraftwerk

Im Gelände des Kunstschachtes Jeremenko wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes ein Forschungspumpspeicherkraftwerk (Pilotanlage) in Betrieb genommen. Dieses Pumpspeicherkraftwerk arbeitet nach dem Prinzip eines klassischen Wasserpumpspeicherkraftwerks, in dem in Zeiten des Überflusses von Strom das Wasser aus dem unteren Becken (Kunstschacht) in ein oberes Becken umgepumpt wird, wodurch das Wasser an potentialer Energie gewinnt. Der Höhenunterschied zwischen dem Wasserspiegel im Kunstschacht und der Oberfläche beträgt etwa 600 m. Bei

5. Možnosti využití čerpání důlních vod

Jak již bylo uvedeno výše, z vodní jámy Jeremenko se téměř nepřetržitě čerpá značné množství vod, které je poměrně nákladné. Přitom čerpaná voda je bez užitku vypouštěna do místní řeky Ostravice. Z tohoto důvodu bylo provedeno několik studií a výzkumů na možnost využití potenciálů těchto čerpaných vod. Možnosti využití důlních vod, které byly zkoumány, budou stručnou formou představeny v následujících kapitolách.

5.1. Přecherpací elektrárna

V areálu vodní jámy Jeremenko byla v rámci výzkumného projektu uvedena do provozu výzkumná (poloprovozní) přecherpací elektrárna [3]. Táto přecherpací elektrárna funguje na principu klasické vodní přecherpací elektrárny, kdy v době přebytku elektrické energie je voda z dolní nádrže (dolu) čerpána do nádrže horní, čímž voda získává potenciální energii. Výškový rozdíl mezi hladinou vody v jámě a povrchem je cca 600 m. V době potřeby je pak možno uskladněnou energii znovu použít - voda z horní nádrže se přivede potrubím na turbínu přecherpací elektrárny, a tak pak

Bedarf kann die so gespeicherte Energie wiederverwendet werden – das Wasser aus dem oberen Behälter wird durch eine Rohrleitung zur Turbine des Pumpspeicherkraftwerkes geleitet. Hier wird dann Elektrizität erzeugt. Im Hinblick zur Tatsache, dass in der Grube bereits leistungsfähige Pumpen und ein System von Rohrleitungen zur Oberfläche eingebaut sind, sowie eine ausreichende Wassermenge sowie ausreichender Speicherraum im Untergrund vorhanden sind, musste nur ein System von Rohrleitungen für die Rückleitung des Wassers von der Oberfläche (DN 300) gebaut und mit einer entsprechenden Turbine (Generator von Elektrizität) bestückt werden. Auf der Oberfläche musste ein Rückhaltebecken errichtet werden. Weil es sich um ein Forschungsprojekt handelte, wurde Untertage ein relativ kleines Wasserkraftwerk mit einer Leistung von 607 kW aufgestellt und auf der Oberfläche ein kleines Rückhaltebecken mit einem Volumen von nur 150 m³ gebaut werden, das für nur etwa 10 Minuten ununterbrochenen Betriebes reichte. Bei ausreichender Wassermenge an der Oberfläche (gegebenenfalls Nutzung eines Teiles des gehobenen Wassers) könnte das Kraftwerk kontinuierlich betrieben werden.

generuje elektrický proud. Vzhledem ke skutečnosti, že v dole jsou již nainstalována výkonná čerpadla a systém potrubí pro čerpání vody na povrch, dále vzhledem k dostatku vody i akumulárního prostoru v podzemí bylo potřeba vytvořit jen systém potrubí pro spouštění vody z povrchu (DN 300) a osadit vhodnou turbínou (generátorem el. energie). Na povrchu bylo potřeba zřídit akumulární nádrž. Protože se jednalo o výzkumný projekt, byla do podzemí nainstalována poměrně malá vodní elektrárna s výkonem 607 kW a na povrchu vybudována malá akumulární nádrž o objemu pouze 150 m³, která postačovala pouze na cca 10 minut nepřetržitého provozu. V případě dostatku vody na povrchu (případně využívání části čerpané vody) by mohla být elektrárna v provozu kontinuálně.

V rámci zkušebního provozu, byla tato přečerpávací elektrárna úspěšně odzkoušena. V rámci zkušebního provozu se objevily i jisté problémy, které by musely být pro trvalé a komerční využívání dořešeny. Vzhledem k chemismu vody se jednalo především o problémy s těsností jednotlivých částí turbíny, zanášení či koroze kovových částí turbíny a vývinem nebezpečného H₂S rozpuštěného ve vodě a uvolňujícím se do důlního

Im Rahmen des Pilotbetriebes wurde dieses Pumpspeicherkraftwerk mit Erfolg getestet. Im Rahmen des Testbetriebes sind auch bestimmte Probleme aufgetreten, die für eine dauerhafte und kommerzielle Nutzung geklärt werden müssten. Im Hinblick zum Chemismus des Wassers waren es insbesondere Probleme mit der Dichtheit einzelner Teile der Turbine, Verschlammung oder Korrosion von Metallteilen der Turbine und die Entwicklung des gefährlichen im Wasser gelösten H_2S , das sich bei dem Aufprall des Wassers an die Turbinenschaufel in die Luft im Bergwerk freigesetzt hat.

Die wichtigsten Vorteile des Pumpspeicherkraftwerks in dem Kunstschacht Jeremenko:

- Akkumulation von Elektrizität
- Stromerzeugung während der Spitzenlastzeiten
- Hebung des Grubenwassers auf die Oberfläche (in ein Rückhaltebecken) in Zeiten eines niedrigen, oder negativen Preises des elektrischen Stroms
- Nutzung des bestehenden Systems der Wasserhebung
- Umweltfreundlich – keine Belastung der Landschaft im Hinblick zum Standort der Turbine sowie des unteren Beckens untertage.

ovzduší při nárazech vody na lopatky turbíny.

Hlavní výhody přečerpávací elektrárny na VJ Jeremenko:

- Akumulace elektrické energie
- Výroba špičkové elektrické energie
- Čerpání důlních vod na povrch (do retenční nádrže) v době nízké, nebo záporné ceny elektrické energie
- Využívá stávajícího systému čerpání
- Environmentálně příznivé – nezatěžuje krajinu, vzhledem k umístění turbíny a dolní nádrže do podzemí



Abb. 4 Pumpspeicherkraftwerk im Kunstschaft Jeremenko

Obr. 4 Přečerpávací elektrárna ve vodní jámě Jeremenko

5.2. Wärmepumpen

Im Hinblick zu seiner relativ hohen und stabilen Temperatur von etwa 27°C verfügt das gehobene Grubenwasser über ein hohes thermisches Potential, das genutzt werden kann. Auf dem Gelände des Kunstschachtes Jeremenko wurden zwei Wärmepumpen IVT installiert. Die erste von 2005 ist für die Zubereitung von Warmwasser und die zweite von 2006 für die Beheizung des Verwaltungsgebäudes bestimmt. In beiden Fällen wurde als Energiequelle das zur Oberfläche gehobene Grubenwasser mit einer Temperatur von 25 – 27°C verwendet. Die

5.2. Tepelné čerpadla

Čerpaná důlní voda má vzhledem ke své poměrně vysoké a stabilní teplotě okolo 27°C vysoký termický potenciál, který lze využívat. V areálu vodní jámy Jeremenko jsou dvě instalace tepelných čerpadel IVT. První z roku 2005 určená pro ohřev teplé vody a druhá z roku 2006 určená pro vytápění administrativní budovy. V obou případech je jako zdroj energie použita důlní voda o teplotě 25 – 27 °C, čerpaná na povrch. Celkový výkon instalací je 91 kW.

Částečným problémem je opět chemismus vody. Z tohoto důvodu jsou tepelná čerpadla umístěna v kotelně

Gesamtleistung beider Installationen beträgt 91 kW.

Ein Teilproblem stellt wieder der Chemismus des Wassers dar. Aus diesem Grund wurden die Wärmepumpen im Kesselhaus des Gebäudes aufgestellt, in dem sich ein zerlegbarer Plattenwärmetauscher ALFA LAVAL T5 MFG befindet, der zur Übertragung der Wärme zwischen dem versalzten Grubenwasser und dem primären Kreislauf der Wärmepumpen dient. Die Pumpe WILO IPC40/160 sichert den Umlauf des Grubenwassers und befindet sich am Plattenwärmetauscher und ist an die bestehende Rohrleitung des Grubenwassers angeschlossen.

Dabei muss unterstrichen werden, dass das bestehende System der Wärmepumpen bei Weitem nicht das gesamte thermische Potential des gehobenen Wassers nutzt. Im Hinblick zu einem entsprechenden Standort des Kunstschachtes Jeremenko unterhalb des Stadtbezirks Ostrau – Witkowitz (Ostrava – Vítkovice) könnte das gehobene Wasser für die Beheizung der nicht weit entfernten Gebäude verwendet werden, wie etwa das städtischen Stadion etc. Eines der Probleme, die dieser Nutzung im Wege steht, ist ein privater Eigentümer eines Wärmeleiters und Anbieter der

objektu, kde je umístěn rozebíratelný deskový výměník ALFA LAVAL T5 MFG, který slouží k transformaci tepla mezi zasolenou důlní vodou a primárním okruhem tepelných čerpadel. Čerpadlo WILO IPC40/160 zajišťuje cirkulaci důlních vod a je umístěno u deskového výměníku a napojeno na stávající potrubí důlních vod.

Nutno podotknout, že stávající systém tepelných čerpadel zdaleka nevyužívá všechny termický potenciál čerpané vody. Vzhledem k vhodnému umístění vodní jámy Jeremenko, která je umístěna v městské části Ostrava-Vítkovice, by mohla být čerpaná voda využívána k vytápění nedalekých budov a např. městského stadionu apod. Jedním z problémů bránících takovému využití, je soukromý vlastník horkovodů a distributor centrálního vytápění těchto objektů. Další neznámou je doba, po kterou bude voda z vodní jámy Jeremenko ještě čerpána (doba po kterou bude probíhat těžba v OKR). V současné době je těžba v OKR odhadována z ekonomického hlediska pouze v řádu několika let. Zásoby uhlí v podzemí, při stávající roční těžbě jsou však až do roku cca 2050.

Fernheizung für diese Gebäude. Unbekannt ist auch die Zeit, während der das Wasser aus dem Kunstschacht Jeremenko noch gehoben wird (die Zeit während dem Abbau im Ostrau-Karwiner Revier). Gegenwärtig wird der Abbau aus wirtschaftlicher Sicht nur mit einigen paar Jahren angesetzt. Die Vorräte der Kohle untertage würden im Fall der bestehenden Jahresförderung aber bis etwa 2050 reichen.

5.3. Nutzung des Grubenwassers für das Bäderwesen und Balneotherapie

In der Region befinden sich wichtige Kurbäder, die stark mineralisiertes, vom Untergrund in speziellen Bohrungen gepumptes Wasser nutzen, das eine ähnliche Zusammensetzung hat, wie das auf die Oberfläche gehobene Grubenwasser. Es handelt sich um die Kurorte Bad Darkau (Darkov) und Königsberg in Schlesien (Klimkovic).

In Bad Darkau sprudelte schwach ein stark mineralisiertes iod- und bromhaltiges Wasser tertiärer Herkunft, das heute aus einer Teufe von 1.100 m untertage gepumpt wird. Es wird in Rückhaltebecken aufbewahrt, in denen es drei Wochen lang reift und wird danach in die Bäder geleitet und auf 36°C erhitzt. Die Zusammensetzung erinnert an stark mineralisiertes Meereswasser.

5.3. Využití důlních vod pro lázeňství a balneoterapii

V regionu se nachází významné lázně, které využívají silně mineralizovanou vodu, která je čerpána z podzemí speciálními vrty, přičemž má podobné složení jako důlní voda čerpaná na povrch. Jedná se o lázně Darkov a lázně Klimkovic.

V lázních Darkov slabě vyvěrala silně mineralizovaná jodobromová voda třetihorního původu, která se v dnešní době čerpá z hloubky 1100 m pod povrchem. Ukládá se do jímek, kde dva až tři týdny zraje a poté je přiváděna do lázní a ohřívána na teplotu 36°C. Její složení připomíná silně mineralizovanou mořskou vodu.

Klimkovické lázně využívají jodobromovou solanku k balneoterapii a léčebným rehabilitacím. Obsahuje silně mineralizované hypertonické

In Königsberg in Schlesien wird eine iod-bromhaltige Sole zur Balneotherapie und die medizinische Rehabilitation genutzt. Sie beinhaltet stark mineralisiertes hypertonsche chlorid- natronsalzhaltiges Wasser mit einem hohen Gehalt an Brom, Jodiden und vieler weiterer Elemente. Die Königsberger Bäder entnehmen die iod-bromhaltige Sole aus vier Bohrungen mit einer Teufe von 400 bis 500 m.

Das salzige Grubenwasser ist somit ähnlich, wie das Heilwasser in Königsberg in Schlesien oder in Bad Darkau. Es wird durch eine Mischung stark mineralisierter iod-bromhaltiger Gewässer gebildet. Nach einer Aufbereitung dieser Gewässer, insbesondere einer Ausscheidung der verunreinigenden Schwebstoffe und des hohen Anteils an gelöstem Eisen, bzw. einer Zugabe von nützlichen und heilenden Mineralstoffen, könnte es für diese Zwecke eingesetzt werden.

Für balneotherapeutische Zwecke könnten auch Salze verwendet werden, die aus der Entsalzung des Grubenwassers im Fall seiner Verwendung als Trinkwasserquelle gewonnen werden.

chloridosodné vody s vysokým obsahem bromu, jodidů a mnoho dalších prvků. Klimkovické lázně čerpají jodobromovou solanku ze čtyř vrtů o hloubce 400 až 500 m.

Slané důlní vody jsou tedy podobné, jako léčivé vody v lázních Klimkovic nebo Darkov. Tvoří je směs silně mineralizovaných jodobromových vod. Tyto vody by po úpravě spočívající především v separaci nerozpuštěných pevných znečišťujících látek a vysokého podílu rozpuštěného železa, případně dodání prospěšných a léčivých minerálních látek využívána k těmto účelům.

K účelům balneoterapie by mohly být rovněž využity soli, které by byly získány z odsolování čerpané důlní vody v případě jejího využití jako zdroje pitné vody.

5.4. Nutzung des Grubenwassers als einer Trinkwasserquelle

Obwohl das Grubenwasser stark mineralisiert und als Trinkwasserquelle nicht anwendbar ist, befassten sich die Forscher an der Hochschule für Bergbau – Technischen Universität in Ostrau im Rahmen eines Forschungsprojektes auch mit dem Problem der Reinigung und Entsalzung des Grubenwassers auf Trinkwasserniveau. Das Ergebnis dieses Projektes war eine Pilotanlage, in der die Möglichkeiten der Reinigung des Grubenwassers zur Trinkwasserqualität geprüft wurde. Dies konnte auch durch Laboruntersuchungen nachgewiesen werden.

Das Verfahren der Reinigung des Grubenwassers wurde in drei wesentliche Abschnitte aufgeteilt:

1. Aufbereitung – Stabilisierung des pH-Wertes (Belüftung)
2. Beseitigung von Schwebstoffen mit Hilfe von Mikrofiltration
3. Endgültige Aufbereitung mit Hilfe einer Dialyse und Umkehrosmose, folgende Remineralisierung auf Trinkwasserwerte

Es gibt ein Verfahren für diese Reinigung, das in einer Pilotanlage getestet wurde, sowie ein Entwurf einer

5.4. Využití důlních vod jako zdroje pitné vody

Ačkoliv čerpané důlní vody jsou velmi mineralizované a přímo nepoužitelné jako zdroj pitné vody, výzkumníci na VŠB-TU Ostrava se v rámci výzkumného projektu zabývali problémem čištění a odsolování důlní vody na úroveň pitné vody. Výstupem tohoto projektu byla poloprovozní jednotka, v rámci které byla ověřena možnost čištění důlní vody na kvalitu pitné vody, což bylo ověřeno laboratorními rozbory.

Postup čištění důlní vody byl rozdělen do následujících tří hlavních kroků:

1. Předúprava – stabilizace pH (aerace)
2. Odstranění jemných nerozpuštěných částic pomocí mikrofiltrace
3. Finální úprava pomocí dialýzy a reversní osmózy, následná remineralizace na hodnoty pitné vody.

Existuje postup pro toto čištění ověřen poloprovozní jednotkou i návrh na provozní jednotku s kapacitou až $20\text{m}^3\cdot\text{hod}^{-1}$. Nicméně provoz by byl v současné době velmi nákladný a nerentabilní. V době řešení projektu byla cena úpravy 1 m^3 takto upravené vody vyčíslena na cca 40 Kč, což je mnohonásobně vyšší než úprava z povrchových zdrojů pitné vody

Betriebseinheit mit einer Kapazität von bis zu $20 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$, der Betrieb dieser Einrichtung wäre aber in der gegenwärtigen Zeit sehr aufwendig und unrentabel. In der Zeit der Bearbeitung des Projektes wurde der Preis für die Aufbereitung von 1 m^3 dieses Wassers mit etwa 40,00 CZK angesetzt, dies ist ein mehrfach höherer Preis, als der Preis für die Aufbereitung der oberflächigen Trinkwasserquellen (Talsperren). Ein Nebenprodukt ist ein ausgefälltes iod-bromhaltiges Salz, das im Bäderwesen, bzw. zu anderen industriellen Zwecken (Streusalz etc.) eingesetzt werden könnte.

6. Fazit

In dem Beitrag wurden kurz die Möglichkeiten der Nutzung des Potentials des Grubenwassers dargestellt, das zur Oberfläche wegen der Entwässerung des aktiven Teils des Ostrau-Karwiner Reviers gehoben wird, in dem Steinkohlentiefbau betrieben wird. Diese Gewässer werden fast ohne Nutzen in den lokalen Fluss Ostrawitza abgeleitet. Aus dem Beitrag ergibt sich, dass zumindest ein Teil der oben dargestellten Möglichkeiten der Grubenwassernutzung einen wirtschaftlichen und environmentalen Nutzen bringen würde.

(vodních přehrad). Vedlejším produktem je vysrážená jodobromová sůl, která by mohla být využívána v lázeňství, případně pro jiné průmyslové využití (posypová sůl apod.).

6. Závěr

V uvedeném článku byly velmi stručnou formou představeny možnosti využití potenciálu důlních vod, které jsou čerpány na povrch z důvodu odvodnění aktivní části OKR, kde stále probíhá hlubinná těžba černého uhlí. Tyto vody jsou téměř bez užitku vypouštěny do místní řeky Ostravice. Z předloženého článku je patrné, že alespoň část z výše popsanych možností využití důlních vod by byla ekonomicky přínosná a environmentálně přínosná.

Literatur/Literatura

[1] KANDARACHEVOVÁ, Jana. *Geologie jakloveckých vrstev hornoslezské pánve (ostravské souvrství, namur)* [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/90077>. Disertační práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

[2] SLIVKA, V. et al: Studie využití důlních vod pro výrobu elektrické energie. Studie VŠB-TU Ostrava. 2011.

[3] <http://www.allforpower.cz/UserFiles/file/reacon.pdf>



Mehr Inforamtionen

geothermie.iwtt.tu-freiberg.de

geothermie.iwtt.tu-freiberg.de/Startseite_cz.html

geothermie.iwtt.tu-freiberg.de/en-homepage.html

TU Bergakademie Freiberg

Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik

Lehrstuhl für technische Thermodynamik

Gustav-Zeuner-Straße 7

09599 Freiberg

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Tobias Fieback

Telefon: +49 3731 39-3960

Fax: +49 3731 39-3963

E-Mail: Tobias.Fieback@ttd.tu-freiberg.de



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.



technische
THERMO
DYNAMIK