



# BESTIMMUNG VON GRUBENWASSER- EINZUGSGEBIETEN: PROZESSE UND DYNAMIK DER GRUNDWASSERNEUBILDUNG

Prof. Dr. S. Hilberg, Salzburg (Projektleiterin)

Dr. T. Rinder (wiss. Mitarbeiter)

Projektdauer: 2017 – 2022

## Kurzfassung der Projektergebnisse

### PROJEKTGEBIET IBBENBÜREN

Im Rahmen dieses Projektes wurde federführend das vom Kuratorium definierte Oberthema „Hydrogeochemische Gesamtanalysen“ betreut. Die Idee war, eine detaillierte statistische Auswertung und Interpretation hydrochemischer und isopenhydrologischer Daten von Grund- bzw. Grubenwassersystemen durchzuführen, um so zu einem konzeptionellen Prozessverständnis zu gelangen. Als Modellgebiet wurde aufgrund seiner hervorragenden Eignung das Kohlebergwerk Ibbenbüren gewählt. Die scharfe geologische Abgrenzung des Ibbenbürener Karbonhorstes erlaubt eine relativ „einfache“ Bestimmung der relevanten Einflussparameter und kann damit auch als Validierungsgrundlage für numerische und analoge Modellierungsansätze dienen, die im Zusammenhang mit der Flutung von anderen Bergwerken relevant sind. Das Projekt wurde in eine mehrphasige Bearbeitung bestehend aus Datenakquise, Dateninterpretation und Prognose gegliedert.

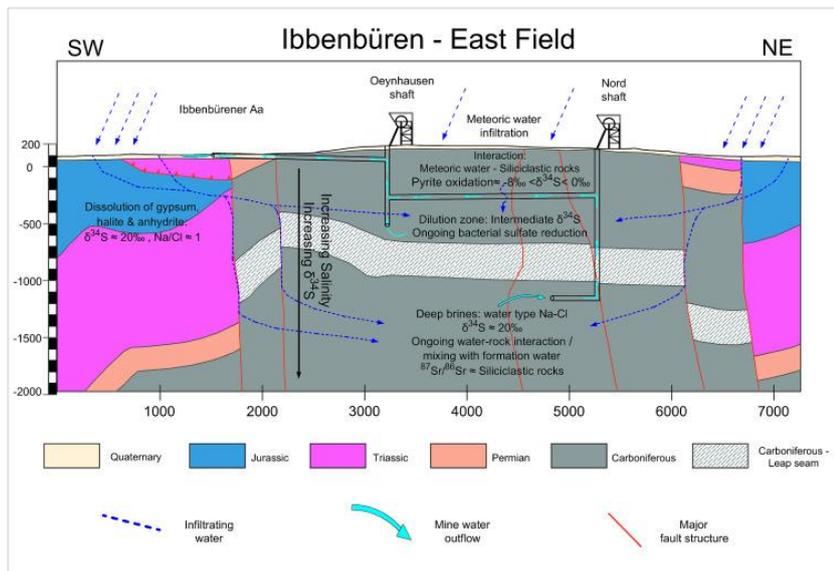


Abbildung 1 Schematischer Querschnitt durch das Ibbenbürener Ostfeld aus (Rinder et al., 2020).

Im Rahmen der Datenakquise wurden zusätzlich zur Auswertung von bestehender Literatur und Datensätzen im Juli und September 2018 Probenahmekampagnen durchgeführt. Dabei wurden Grubenwässer, sowie tiefe und oberflächennahe Grundwässer der Region beprobt und hydrogeochemisch und isopengeochemisch untersucht (insgesamt 35). Die Auswertung der Wässer erfolgte auf Haupt- und Nebenkomponten mittels Ionenchromatographie und ICP-OES in Zusammenarbeit mit dem Institut für angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Graz. Isotopenanalytik wurde bezüglich der Isotopenverhältnisse von Strontium ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ), Schwefel und Sauerstoff im gelösten Sulfat ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$  und  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ ), Wasserstoff und Sauerstoff des Wassers ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  und  $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) sowie Tritium ( $^3\text{H}$ ) durchgeführt. Die Strategie des breit gewählten Analyse-spektrums zielte zuerst darauf ab, das Maximum an Information aus den Wasseranalysen zu erhalten. Eng gewählte Messprogramme sind erfahrungsgemäß mit beschränkter Interpretierbarkeit verbunden. Zusätzlich lässt sich mit dem breiten Spektrum die Eignung einzelner Parameter für zukünftige Monitoring Programme abschätzen. Die Ergebnisse der Studie zum Ibbenbürener Ostfeld wurden in der internationalen Fachzeitschrift Applied Geochemistry publiziert (Rinder et al., 2020) und werden hier nur kurz zusammengefasst.

Alle Wässer waren durch eine Zunahme des Salzgehalts mit der Tiefe sowie durch eine Zunahme des  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ -Isotopenverhältnisses im gelöstem Sulfat gekennzeichnet. Die Bromid/Chlorid und Natrium/Chlorid Verhältnisse in tiefen Grubenwässern weisen auf Steinsalzauflösung als gemeinsame Quelle des Salzgehalts hin. Die

$\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ -Werte steigen auf bis zu +21,1‰ (VCDT), was auf die Migration von Grundwasser aus den umliegenden mesozoischen Sedimenten hindeutet (Abbildung 1). Diese Erkenntnis ist auch deshalb relevant, weil genau diese Verbindung in früheren Studien (Bässler, 1970) ausgeschlossen wurde. Der damals vermutete Einfluss eines Zechsteindeckgebirges auf die Wasserchemie konnte in unserer Studie nicht verifiziert werden.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zwischen 0,7108 und 0,7135 und erhöhte Alkalikonzentrationen (Lithium und Kalium) deuten auf eine anhaltende Wasser-Gesteins-Interaktion der salzhaltigen Grubenwässer mit den Gesteinen des Karbonhorstes hin. Alternativ können hohe Alkalikonzentrationen auch als Beimischung von Formationswässern des Karbons zu den salzhaltigen Grubenwässern interpretiert werden. Modernes meteorisches Wasser mit  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Werten zwischen -6,9 und -8,65‰ (VSMOW) ist die primäre Wasserquelle für Solen, Grundwasser und Grubenwasser. Eine Korrelation der  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse mit den  $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$  und  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  Werten in tiefen Grubenwässern liefert weitere Hinweise auf die Beimischung von Formationswässern. Das aus der Untersuchung hervorgegangene konzeptionelle Modell ist in Abbildung 2 dargestellt.

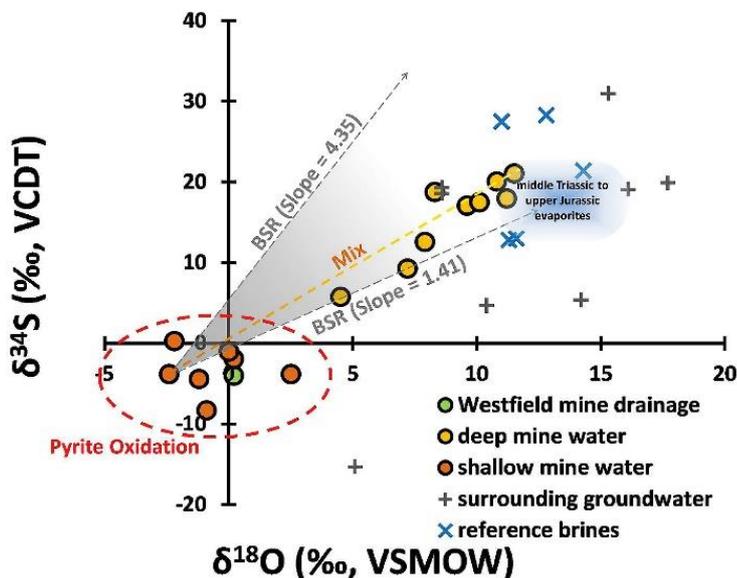


Abbildung 2:  $\delta^{34}\text{S}$  versus  $\delta^{18}\text{O}$  (‰; VCDT) im gelösten Sulfat. Zirkumneutrale Werte, wie sie in oberflächennahen Abbau-bereichen und auch im Westfeld vorgefunden wurden, stehen mit der Oxydation von Pyrit im Zusammenhang. Die Werte des tiefen Grubenwassers weisen auf mesozoische Evaporite als Quelle des gelösten Sulfats hin. In diesem Zusammenhang liegt die Vermutung nahe, dass auch die hohen Salzgehalte der tiefen Grubenwässer auf die Steinsalzlösung der bekanntermaßen salzföhrnden mesozoischen Schichten in der Umgebung des Karbonhorstes zurückzuführen sind. Zechsteinevaporite zeichnen sich typischerweise durch  $\delta^{34}\text{S}$  - Werte im Bereich von +12 ‰ aus. Die wenigen in diesem Bereich angetroffenen Wässer deuten in ihrer allgemeinen Zusammensetzung eher auf die Mischung von tiefen und oberflächennahe Grubenwässer hin.

Bezüglich Monitoringtauglichkeit hat sich der gewählte Parameterumfang als geeignet erwiesen. Vor allem durch die Kombination der stabilen Schwefel- und Strontiumisotope konnten Aussagen über relevante hydrogeochemische Prozesse getroffen werden, die mit nur einem Isotopensystem nicht möglich gewesen wären. Bezüglich gelöster Wasserinhaltsstoffe war ein Fokus auf Hauptanionen und- kationen sowie Lithium und Bromid ausreichend.

In Zusammenarbeit mit der Dissertationsstelle von Diego Bedoya Gonzales wurden im Juli 2019 verschiedene Bohrungen des geplanten Grubenwasserkanals in Ibbenbüren beprobt. Weitere Kernproben wurden im Herbst erhalten. Die Proben wurden mineralogisch untersucht und die Dünnschliffe wurden optisch ausgewertet. Zusätzliche Analytik erfolgte mittels Röntgenfluoriscenzanalyse (RFA) und Rasterelektronen-

mikroskopie (REM). Die grundlegende Idee hinter dieser Studie war es, zusätzlich zu einem hydrochemischen Verständnis des Status quo auch einen Überblick über die petrologischen Eigenschaften des Karbonhorstes zu erhalten, um so die Erstellung eines reaktiven Transportmodells zu ermöglichen. Die Ergebnisse der petrologischen Studie wurden veröffentlicht (Bedoya-Gonzalez et al., 2021) und werden im Reaktiver Stofftransport näher beschrieben. Von der RAG AG wurden noch Proben von sekundären Ausfällungen der Stollenwände zur Verfügung gestellt. Diese dienten dazu, deren Einfluss auf die Wasserchemie nach Flutung zu untersuchen. Diese Proben wurden mittels RFA analysiert und das Stofffreisetzungspotential wurde mittels Schütteleluat bestimmt. Die Ergebnisse werden gerade zusammen mit Diego Bedoya Gonzales in einem reaktiven Transportmodell evaluiert, an dessen Ende eine Prognose für die zukünftige Entwicklung der Ibbenbürener Grubenwässer stehen soll. Die Veröffentlichung dieser Arbeit ist im Sommer/Herbst 2022 geplant.

### **PROJEKTGEBIET – BAYERISCHE PECHKOHLE**

Als weiteres Projektgebiet wurden alte Stollen im Bereich der bayrischen Pechkohle ausgewählt. Die Wasserzusammensetzung dieser Stollen ist in der Qualität typisch für Grubenwässer aus dem Kohlebergbau im Allgemeinen. Da der Bergbau im Projektgebiet aber schon in den 1950er Jahren eingestellt wurde, wurden von der Beprobung Erkenntnisse über die zeitliche Entwicklung von Grubenwasser erhofft. Die Stilllegung des Haushamer Pechkohleabbaus wurde weitestgehend ohne dokumentierte Maßnahmen zur Überwachung der Wasserqualität durchgeführt, daher konzentriert sich diese Studie ausschließlich auf selbst gewonnene Daten. Dazu wurden im Juli und August 2020 zwei Probenahmekampagnen im Gebiet der bayrischen Pechkohle durchgeführt (Umfang ca. 20 Proben). Der Analyseumfang entspricht weitgehend dem schon in Ibbenbüren gewählten. Die Daten wurden im Rahmen einer Masterarbeit analysiert (Yousefi, 2021). Ein dazugehöriges Manuskript befindet sich aktuell in der Begutachtung. Im Rahmen der Beprobung in Hausham wurde festgestellt, dass sich der Grubenwasseraustritt im Bereich einer Haldenrutschung aus dem Jahr 1953 befindet und diese Halde entlang des Fließweges durchflossen wird. Damit rückte zusätzlich zum Schadstoffinventar des Grubenwassers selbst auch noch die Rolle der Interaktion zwischen Grubenwasser und Haldenmaterial in den Fokus und es wurden Elutionsversuche von Feststoffproben der ehemaligen Halde durchgeführt. Die geogen bedingten relativ hohen Kalziumgehalte des Haldenmaterials bewirken in diesem Fall eine Übersättigung des Grubenwassers an Kalzit, sodass es im Verlauf des Fließweges zur Ausbildung von Sinterterrassen kommt. In Hausham konnte gezeigt werden, dass sich im Grubenwasser enthaltene Schadstoffe sowohl durch Sorption/Co-Fällung an Eisenhydroxidphasen als auch durch Sorption und isomorphen Einbau relevanter Stoffe in den neu gebildeten Kalzit zu einer Abnahme des Schadstoffinventars entlang des Fließweges kommt. Diese Entwicklung ist dahingehend bemerkenswert, da bei der Behandlung von Grubenwasser oft die Frage nach der Eignung passiver Reinigungsmethoden gestellt wird. Das Beispiel Hausham zeigt, dass bei geeigneter Zusammensetzung des Ausgangsgesteins selbst eine natürliche passive Reinigung erfolgreich ist und daher bei geeigneter Planung davon auszugehen ist, dass eine passive Reinigung in den allermeisten Fällen auch erfolgreich angewandt werden kann, sofern die individuellen relevanten Reaktionsmechanismen richtig interpretiert werden. Diese Interpretation benötigt wiederum geeignete Datensätze, und es wird entsprechend empfohlen, immer ein möglichst breit gefächertes Messprogramm schon während der Betriebsphase vorzuschreiben, das nicht auf wenige potentiell umweltschädliche Stoffe beschränkt ist, sondern neben Hauptanionen und -Kationen, Lithium und Bromid in geeigneten zeitlichen Abständen auch die Bestimmung stabiler Isotopenverhältnisse vorschreibt.

## **OCKERABLAGERUNG - DICKENBERGER STOLLEN**

Im Ibbenbürener Westfeld wurden Feststoffproben der dort in großer Menge anfallenden eisenhaltigen Ablagerungen entnommen und chemisch-mineralogisch interpretiert. Hintergrund dieser Beprobung war die oft im Raum stehende Frage nach der Verwertbarkeit solcher sekundären Ablagerungen. Der Feststoff wurde in Sorptionsversuchen bezüglich seiner Adsorption von Zink untersucht und es konnte gezeigt werden, dass der Einsatz des Materials zur Sanierung von Schwermetallkontaminationen prinzipiell möglich ist, das Material aber entsprechend aufbereitet werden muss, da das Rohprodukt schon in hohem Maße „kontaminiert“ ist. In diesem Zusammenhang und mit der Frage der optimalen Aufbereitung werden aktuell noch Versuche durchgeführt.

Ganz allgemein führt aber die starke Sorption diverser Metalle und organischer Phasen an den Ockern dazu, dass es möglich ist, diese Stoffe im Feststoff nachzuweisen, auch wenn sie in der Flüssigphase unterhalb der Nachweisgrenze liegen können. Beim Monitoring des zukünftigen Grubenwasseranstieges liegt daher in solchen Feststoffanalysen enormes Potential, da RFA Analysen relativ kostengünstig durchzuführen sind und sich eine Änderung des Wasserchemismus auch dort in hoher Sensitivität niederschlägt. Eine Publikation der Ergebnisse dieser Studie ist derzeit in Bearbeitung.

## **LITERATUR**

Bässler, R., 1970. Hydrogeologische, chemische und Isotopen-Untersuchungen der Grubenwässer des Ibbenbürener Steinkohlereviere. Zeitschrift der Dtsch. Geol. Gesellschaft 209–286.

Bedoya-Gonzalez, D., Hilberg, S., Redhammer, G., Rinder, T., 2021. A Petrographic Investigation of the Carboniferous Sequence from the Ibbenbüren Mine: Tracing the Origin of the Coal Mine Drainage. Miner. <https://doi.org/10.3390/min11050483>

Rinder, T., Dietzel, M., Stammeier, J.A., Leis, A., Bedoya-González, D., Hilberg, S., 2020. Geochemistry of coal mine drainage, groundwater, and brines from the Ibbenbüren mine, Germany: A coupled elemental-isotopic approach. Appl. Geochemistry 121, 104693. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104693>

Yousefi, N. 2021. Entwicklung von Grubenwasser in aufgelassenen Steinkohlebergwerken. Fallbeispiel Hausham – Bayrische Pechkohlenmulde. Masterarbeit, Salzburg.

## **Veröffentlichungen aus dem Projekt**

Aus dem Projekt sind zwölf Veröffentlichungen bereits publiziert oder zur Publikation eingereicht. Details finden sich im Publikationsverzeichnis ab Seite 71 unter den Referenznummern [1], [4], [5], [7], [14], [26], [38], [39], [40], [41], [43] und [44]. Sechs Vorträge wurden auf internationalen Konferenzen gehalten.