



# MONITORINGMAßNAHMEN FÜR NACHHALTIGE GRUBENWASSERANSTIEGSPROZESSE

Prof. Dr. Ch. Melchers, Bochum (Projektleiter)

H. Jasnowski-Peters (wiss. Mitarbeiter)

Projektdauer: 2017 – 2022

## Kurzfassung der Projektergebnisse

### EINLEITUNG

Innerhalb des FBW beschäftigte sich die Arbeitsgruppe Melchers/Jasnowski-Peters mit der „Konzeption von Monitoringmaßnahmen für nachhaltige Grubenwasseranstiegsprozesse“ in allen Steinkohlerevieren der RAG. Ein besonderes Interesse gilt dabei der geologisch-hydrologisch-bergbaulichen Situation im Ruhrrevier, auf das sich in den letzten drei Jahren fokussiert wurde. Diese Monitoringmaßnahmen sind Teil eines Risikomanagements, das auf zwei Grundsätzen beruht: Conformance & Containment. „Conformance“ beschreibt eine langfristige Integrität des Vorhabens, was durch Modellierungen und ihre Anpassungen durch das Monitoring („Benchmarking“) erreicht wird, und „Containment“ den derzeitigen Zustand des Vorhabens und eine Bewertung hinsichtlich der Geschlossenheit des Systems.

Übertragen auf einen nachhaltigen Grubenwasseranstieg bedeutet das: (a) keine Infiltration von Grubenwasser in Trinkwasserreservoirs oder bewirtschaftete Aquifere sowie (b) ein genaues Augenmerk auf bereits bestehende und zukünftige Infiltrationen in den regionalen Grundwasserleiter des Cenomanium/Turonium.

Der Ansatz des Monitoringkonzeptes nach dem Schema des „BOW-TIE“ - Verfahrens orientierte sich in Anlehnung an Risikomanagement-Initiativen von internationalen Großprojekten.

Grundelemente des Monitorings sind dabei:

- (a) die Parameterauswahl und deren gesicherte Messbarkeit, die sich in Zielwerten (sog. „Baselines“) und ausgedehnten Messnetzen manifestiert,
- (b) Indikatoren zur Beurteilung und Steuerung der jeweiligen Prozesse im Untergrund, sog. präventive und korrigierende Safeguards, die die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß eines Ereignisses betreffen,
- (c) ein Bewertungssystem in Form einer Ampel-Farbgebung zur Kategorisierung der Ereignisse in Alarmstufen und die sich daraus zwangsweise ergebenden
- (d) Handlungsoptionen, um den Eintritt eines Schadensfalles zu verhindern.

Eine erhebliche Erweiterung und Herausforderung für das Monitoring spielt dabei das Einbeziehen der speziellen hydrologischen, hydrochemischen und isotopengeochemischen Eigenschaften der verschiedenen Grundwasserleiter in das Monitoringkonzept. Der Fokus der hydrogeochemischen Arbeiten in dem Zeitrahmen des FBW (2017-2022) lag auf (a) der belastbaren, eindeutigen Unterscheidung der oberkarbonischen Grubenwässer von Formationswässern im Deckgebirge und regionalen Aquiferen und (b) dem Verständnis der hydrologischen Vorgänge innerhalb der Grubenbaue und der Wasserbilanzierung für Grubenwasserströme in den einzelnen Wasserprovinzen des Ruhrreviers, was letztendlich zu einem hydrologischen Prozess-/Systemverständnis beiträgt.

Es gibt bei der Vorgehensweise der Auswahl hydrogeochemischer Tracer keinen singulären Ansatz, sondern vielmehr wurde eine Kombination von hydrochemischen Parametern, die aufgrund ihres unterschiedlichen geochemischen Verhaltens indikativ für Prozesse oder ihren lithologischen Ursprung sind, angestrebt.

### METHODIK

Die hydrogeochemischen Analysewerte beinhalten eigene Analysen, Fallstudien sowie interne hydrochemische Referenzdatenbestände der RAG (2013-2020) und publizierte Literaturdaten aus Balneologie und Grundwassermessstellennetzen von Wasserversorgern und Behörden.

Insgesamt beinhaltet der Analyse-Pool an unterschiedlichen Standorten der Probenahme (Mehrfachbeprobungen ausgeschlossen) 135 eigene Analysen, 60 interne Analysen, 30 Analysen von Wasserversorgern

und 326 Literaturdaten. Insgesamt sind somit über 550 Probandensätze berücksichtigt.

Bei den eigenen Analysen übertage (Dichteschichtung, Fallstudien) wurden Leitfähigkeit, der pH-Wert, Redox-Spannung, Temperatur und Sauerstoffgehalt jeweils vor Ort bestimmt.

Die hydrochemische Analyse der Hauptkationen, -anionen und Spurenelemente wurde in den analytischen Laboren von Umwelt Control Lünen (UCL) mit dem Verfahren der optischen Emissionsspektroskopie mittels induktiv gekoppelten Plasmas (ICP-OES) und Ionenchromatographie durchgeführt. Es wurden Kationen und Anionen nach DIN-Normen (DIN 11885, DIN 10304-1 und DIN 38409-7) gemessen. Die Lithium-Messungen wurden in Kollaboration mit dem GD NRW in den Laboren des GD mittels axialer Plasmabetrachtung an der ICP-OES durchgeführt.

## RESULTATE

Nach intensiver Recherche und einer Qualitätskontrolle der vorhandenen Literaturdaten sowie interner Datenquellen, die auf ihre Ionenbilanz untersucht wurden, wurden diese Daten mit aktuellen, eigenen hydrogeochemischen Daten verschnitten.

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

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

Weitere erhobene, hydrochemische Daten, die Aussagen über die Herkunft der Wasserkörper und deren Salinität erlauben, sind:

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

Die erste geochemische Fragestellung, die innerhalb des geplanten Grubenwasseranstiegs im Ruhrrevier eine Besonderheit darstellte, sind die Unterscheidung zweier im Untersuchungsraum vorkommender, hoch-salinarer Formationswässer, die elektrische Leitfähigkeiten bis zu 200 mS/cm erreichen:

Cenomanium/Turonium Aquifer vs. Formationswasser Oberkarbon.

Bislang gab es keinen eindeutigen und belastbaren geochemischen Beweis der klaren Unterscheidung beider Wasserkörper. Die Herkunft der Salinität für den Cenomanium/Turonium Aquifer durch Ablaugung von Steinsalz konnte durch die Verschneidung der „Wasserisotope“ mit dem molaren Na/Cl Verhältnis und letztendlich eindeutig durch das Chlorid/Bromid Verhältnis  $\text{Cl}/\text{Br} > 1450$  nachgewiesen werden (Abb.1). Für den Cenomanium/Turonium Aquifer ergaben die Daten die Herkunft durch rein meteorische Wässer, die von den nördlichen Bereichen des Münsterländer Beckens durch steinsalzführende Formationen perkolieren, hier ihre Salinität erhöhen und in einem hydrologisch gekoppelten System am Südrand des Münsterländer Beckens vor der bergbaulichen Zeit als Solen zu Tage traten. Beim Durchteufen der Deckgebirgsschichten wird dieses gespannte Salinar regelmäßig angetroffen. Die Formationswässer des Oberkarbons konnten eindeutig als konnate Wässer mit dem charakteristischen marinen molaren Na/Cl Verhältnis, resultierend aus einer starken Wasser-Gesteins-Wechselwirkung identifiziert werden. Diese Wässer besitzen ein moderates Bromid/Chlorid-Verhältnis zw.  $450 < \text{Cl}/\text{Br} < 1450$  (Abb. 1).

Ein weiteres, wichtiges Unterscheidungskriterium ähnlicher Formationswässer, die es bei einem prognostizierten Grubenwasseranstieg zu beachten gibt, sind die Formationswässer mit ausgeprägter Sulfidoxidation. Hierzu zählt das Formationswasser der Emscher-Formation, in der sehr viel vorhandener framboidaler Pyrit oxidiert wird und damit ein potentiell Grubenwasser imitieren könnte.

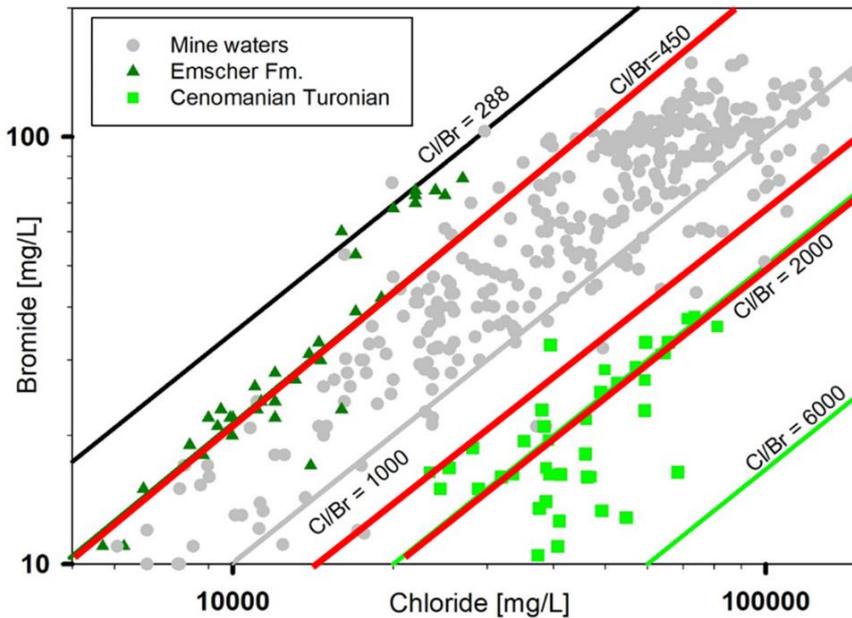


Abbildung 1: Log-Log-Diagramm der Chlorid (Cl-) zu Bromid (Br-) Verhältnisse von Literaturdaten (Puchelt, 1964, Michel, 1974 und Wedeward, 1995) im Vergleich zu Daten der Heilbäder des Hellwegs und Osnings sowie interner Datenquellen; Linien stellen definierte Cl/Br (mg/mg) Verhältnisse dar

Die Chlorid/Bromid Verteilung ist bei diesen Wässern ebenfalls ein sehr gutes Unterscheidungskriterium, da von einem erhöhten Bromeintrag durch organisch gebundenes Brom ausgegangen wird. Eine erst noch im Detail zu verifizierende Verteilung weist hier den Wert von Cl/Br > 450 auf. Meerwasser besitzt ein Verhältnis von Cl/Br = 288 (Abb. 1).

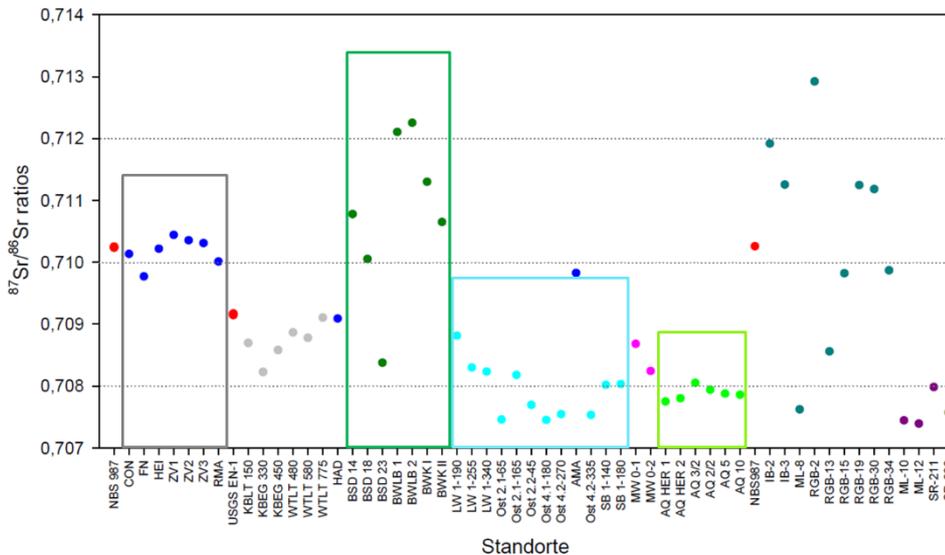


Abbildung 2: Strontiumisotope ausgewählter Probenstandorte. Besonderes Augenmerk wird auf die Zentrale Wasserhaltung (blaue Punkte) im Vergleich zu den Deckgebirgsproben aus den TiefenGWMS (hellblaue Punkte) gelegt; die Schachtprofilmessungen im Bereich Waltrup und Königsborn (graue Punkte) zeigen eine Mischungsreihe beider Wasserkörper

Als weiteres Kriterium in diesem Fall dienen die Strontiumisotope. Sie weisen für die oberkretazischen Formationswässer zudem die typischen Meerwasserkonzentrationen von 0,708-0,709 auf, die für die oberkarbonischen Wässer hier anhand der Wasserhaltungs-Mischproben deutlich über 0,709 liegen. Eine Mischungreihe beider Wasserkörper mit unterschiedlichen Strontiumisotopie-Signaturen zeigen die Schachtprofilmessungen in Königsborn und Waltrop (Abb. 2).

Lithium reagiert im Vergleich zu Bromid geochemisch unterschiedlich, obwohl sie bei bei Evaporationsvorgängen als konservativ und inkompatibel gelten. Lithium substituiert sehr gering Natrium in Kristallen – eine Parallele zum Anion Bromid vs. Chlorid.

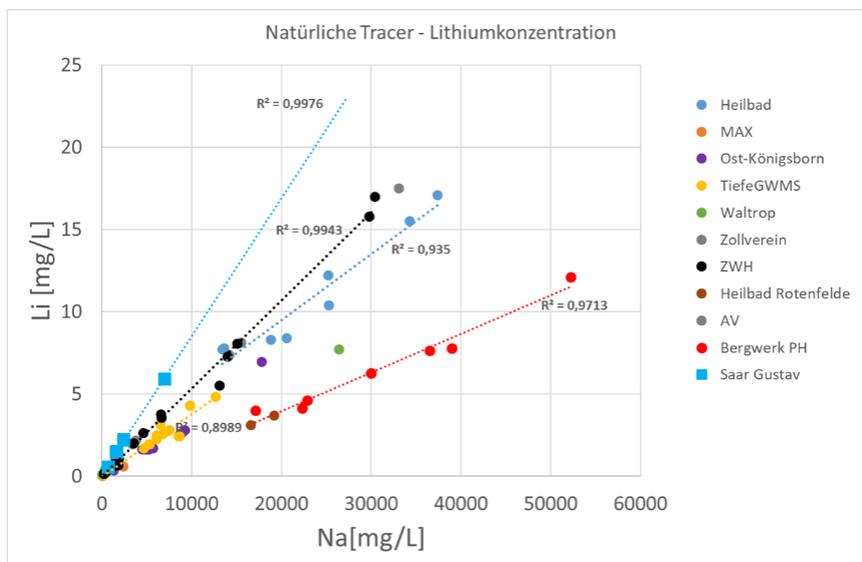


Abbildung 3: Lithiumkonzentrationen [mg/L] im Vergleich zu Natriumkonzentrationen [mg/L] ausgewählter Grundwässer; Grubenwässer (schwarze Punkte) im Vergleich zu den TiefenGWMS (gelbe Punkte) und Heilbädern (blaue Punkte).

Auffällig in der Auflistung der Lithiumkonzentrationen am Beispiel „Ruhrrevier“ sind hier die niedrigeren Li/Na-Verhältnisse für das Deckgebirge/ TiefeGWMS und die Heilbäder im Vergleich zu den Grubenwässern der Zentralen Wasserhaltung.

Die Bandbreite der natürlichen Tracer gepaart mit ihren unterschiedlichen geochemischen Eigenschaften liefern Hinweise auf vielfältige Prozesse bestehend aus Lösungsverhalten und Herkunft der Tracer.

#### AUSBLICK

Das Verhalten der als geochemische Tracer identifizierten Parameter wird nun im Detail für die einzelnen Wasserprovinzen untersucht. Statistisch werden hierzu die Clusteranalyse und multivariate Statistikverfahren herangezogen, um kausale Zusammenhänge zu identifizieren. Es wird im Bereich der stabilen isotope-geochemischen Tracer weitere Forschungen geben, die das Spektrum der vorhandenen Tracer noch sensitiver machen werden.

#### Veröffentlichungen aus dem Projekt

Aus dem Projekt sind acht Veröffentlichungen bereits publiziert oder zur Publikation eingereicht. Details finden sich im Publikationsverzeichnis ab Seite 71 unter den Referenznummern [15], [16], [17], [18], [19], [20] [21] und [26].