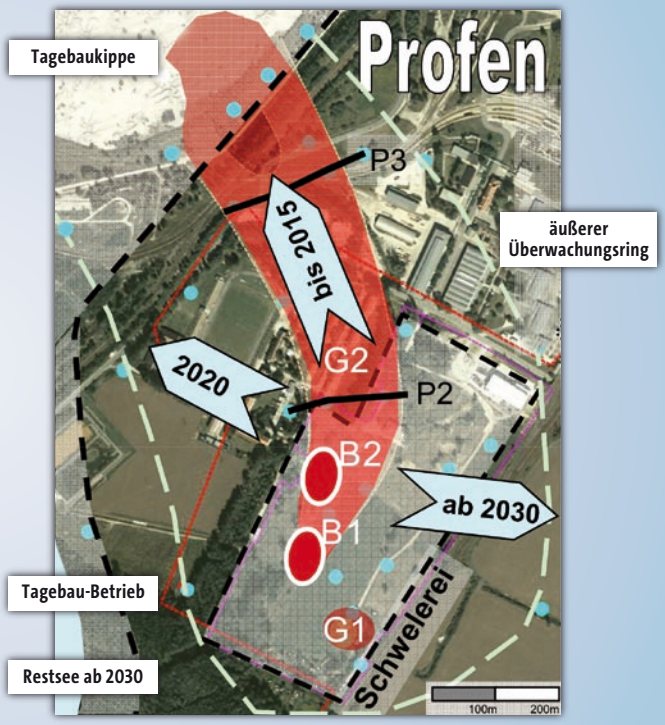
Sicherung eines MNA-Konzeptes im Bergrecht

Teil 1: Kontrolle und Fortschreibung von bergrechtlich zugelassenen MNA-Prognosen

Ronald Giese, Anett Thomas, Jörg Schmidt, Matthias Uhlig, Peter Tropp

Für die am Altstandort Schwelerei Profen in Sachsen-Anhalt verbliebenen Boden- und Grundwasser-Gemeinschäden trägt die Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) die Sanierungs- und Nachsorgeverantwortung. Nach einer Machbarkeitsstudie einer überwachten natürlichen Schadensminderung (MNA) am Standort und der Einstellung aktiver Sanierungsmaßnahmen wurde 2004 ein MNA-Konzept in einem bergrechtlichen Abschlussbetriebsplan (ABP) vom Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB) zugelassen.



Das MNA-Konzept wurde 2005 mit quantitativen Prognosen der Schadens- und Gefahrenentwicklung untersetzt [1]. Die LMBV wurde im Abschlussbetriebsplan verpflichtet, ihre Prognosen im Fünf-Jahres-Zyklus, erstmals Ende 2010, einer behördlichen Prüfung zu unterziehen (Hauptkontrollzeitpunkte). Die Prognosen waren gemäß dem aktuellen genehmigungsrechtlichen und wissenschaftlich-technischen Stand ([3], [4], [5], [6]) zu qualifizieren und langfristig gegen Versagen zu sichern. Dabei war Sorge zu tragen, dass der benachbarte Tagebaubetrieb der Mitteldeutschen Braunkohlegesellschaft mbH (Mibrag) auch in seiner künftigen Entwicklung nicht beeinträchtigt wird. Dieser Tagebaubetriebsplan sieht vor, den Kohleabbau bis ca. 2022 und die Flutung des herzustellenden Bergbaufolgesees bis ca. 2030 abzuschließen.

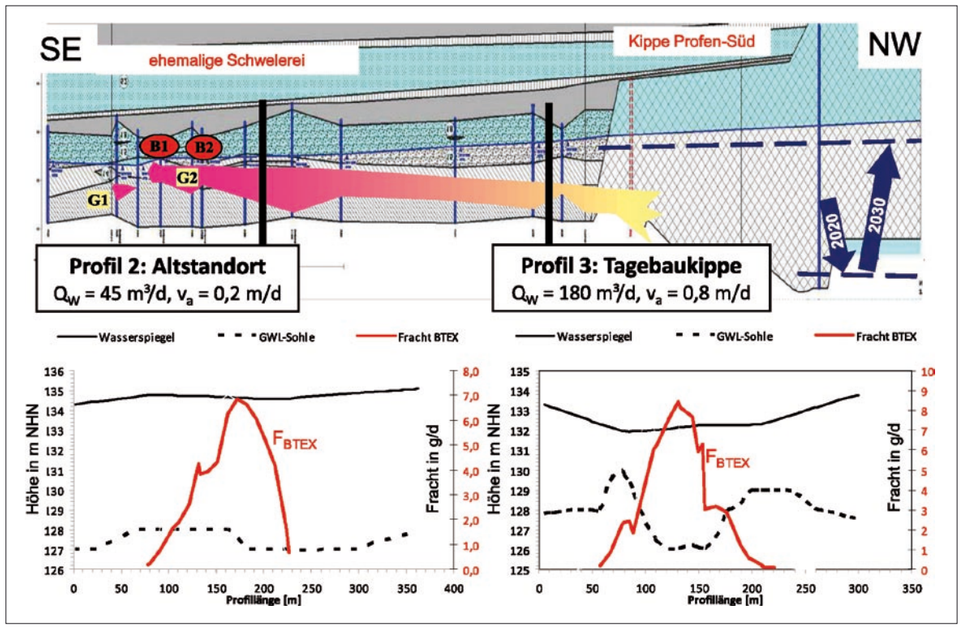
Maßnahmen zur Präzisierung

Die notwendigen Maßnahmen zur Präzisierung des MNA-Konzeptes ergaben sich aus den Nebenbestimmungen der Zulassung und umfassten:

- die Qualifizierung der Modellstützung zur Ausgrenzung des MNA-Wirkraumes und Verkopplung der Prognosen mit der Planung des Braunkohlenabbaus
- die Verdichtung der Prognosen des Schadstoffabbaus in den Grundwasserschäden
- die Überprüfung von Gefahren durch Ausgasung flüchtiger Schadstoffe aus dem geschädigten Grundwasser
- den Nachweis der Forcierbarkeit der NA-Prozesse und die Bereitstellung einer Rückfalltechnologie gegen Prognoseversagen sowie zum Schutz des Tagebaubetriebes

Für den Altstandort wurde ein dreidimensionales Lupenmodell zur Prognose der regionalen Grundwasserströmung und des Stofftransports bereitgestellt, das in ein hydrogeologisches Großraummodell zur Entwässerungsplanung der Braunkohlengewinnung eingebunden ist. Ein MNA-Prognosemodell für die Kriterien der Schadensentwicklung wurde hydraulisch aus dem Lupenmodell für den geschädigten Grundwasserleiter (GWL) 1.5 parametrisiert. Mit dem gekoppelten Modellwerkzeug wurde ausgewiesen, dass ungeschädigtes Grundwasser aus südöstlicher Richtung von einer Grundwasser-Hochlage der Schadstofffahne G 2 zuströmt. Das in die Tagebaukippe eintretende geschädigte Grundwasser formiert einen begrenzten „Reaktionsraum Kippe“, von dem aber keine Gefahr für den laufenden Tagebaubetrieb ausgeht. Die Lagestabilität der Grundwasserschäden wurde gesichert.

Die Verdichtung des Nachweises des biologischen Schadstoffabbaus im Grundwasserschaden G 2 erfolgte in den Schritten: Abgrenzung von Verdünnung, Indizienauswertung des Monitorings und Ermittlung von Abbauraten aus einem ENA-Feldversuch. Vom Altstandort ausgehend prägt sich eine bevorzugte Abstromrinne zwischen den Profilen P 2 und P 3 verstärkt aus. Ein Zutritt ungeschädigten Grundwassers generiert eine Verdünnungswirkung von ca. 3 : 1 und vermindert die Grundwasser-Aufenthaltszeit. Er verbessert mit seiner Fracht an Sulfat und Nährstoffen die anaeroben Abbaubedingungen am Fahnenrand und engt die Abstromfahne weiter ein. Dies wird aber von Elutionswirkungen in Sekundärquellbereichen überlagert, die in der Fracht



Schnitt durch die Boden- und Grundwasser-Gemeinschäden – oben: Kopplung des Abstroms an den Tagebaubetrieb mit Grundwasser-wiederanstieg; unten: aktuelle Hydraulik- und Frachtkennwerte an den MNA-Abstrom-profilen

an P 3 sichtbar werden. Ein Mangel an Sulfat und ein eingeschränkter anaerober Abbau werden im Fahnenzentrum an der Sequenz der Verfügbarkeit der Schadstoffe (BTEX/Phenole → Naphthalin → PAK/MKW) sowie an biologischen Aktivitätskennwerten deutlich. Für eine aerobe Stimulierung des Schadstoffabbaus durch Sauerstoffeintrag während eines ENA-Feldversuchs wurden modellgestützt Feldparameter des biologischen Abbaus identifiziert.

Ein einjähriger Feldversuch zur Standortanpassung einer ENA-Rückfallmaßnahme als Sauerstoff-Direktgasinjektionstechnologie ([7], [8], [9]) wurde im Bereich des Abstromprofils Kippe durchgeführt. Die Ergebnisse belegen, dass die NA-Potenziale in der Schadstofffahne durch Sauerstoffeintrag wirksam stimuliert werden können. Dabei wird das natürliche Abstromregime im Untergrund nicht gestört. Die Direktgasinjektionstechnologie ist somit für eine Unterstützung eines MNA-Konzeptes einsetzbar, um einem Prognoseversagen oder einer eventuellen Abdrift von Schadstoffen aus der Fahne wirksam zu begegnen.

Kontrolle nach fünf Jahren

Die Gefahren- und Schadensprognosen wurden 2005 im Ergebnis einer Risikoanalyse gestellt. Hierbei wurden Sanierungszielwerte für integrale (Schadstofffrachten, Inventarmengen) und singuläre Schadenskriterien (Konzentrationsmesswerte) des Haupt-Grundwasserschadens G 2 sowie der untergeordneten Boden- und Grundwasserschäden B 1, B 2 und G 1 zeitlich-örtlich festgeschrieben. Das Ergebnis der Kontrolle der Prognosen nach fünfjähriger Überwachung lässt sich in nachstehenden Punkten zusammenfassen:

Der Aufwand und das Risiko der bergrechtlichen Nachsorge konnten erheblich gemindert werden

1. Die Zielwerte der Grundwasserschäden G 1 und G 2 wurden im Kontrollzeitraum nicht überschritten bzw. verletzt. Die nachgewiesene Abnahme der Schadstofffrachten an den Profilen P 2 (Schwelereiabstrom) und P 3 (Kippenabstrom) sowie des Stoffinventars im Schaden G 2 war signifikant größer als die prognostizierte Schadensminderung. Von den Grundwasserschäden gingen keine Gefahren aus.
2. Die Zielwerte der Bodenschäden B 1 und B 2 wurden im Wesentlichen nicht verletzt. Die Sickerwasserfracht für PAK und Naphthalin aus B 2 war 2005 aufgrund einer geringen Datenlage nicht ausreichend prognostizierbar. Die nachgewiesene Konstanz aller Sickerwasserfrachten mit Tendenz zur Abnahme entspricht der prognostizierten Schadensentwicklung. Von den Bodenschäden gingen im Kontrollzeitraum keine Gefahren aus.
3. Die Grundwasserschäden in GWL 1.5 haben den MNA-Kontrollraum weder lateral noch vertikal verlassen (Messnetz des äußeren Überwachungsringes und des Liegend-GWL). Der Kontrollraum wurde dahingehend präzisiert, dass am Eintrittsbereich der Schadstofffahne G 2 in eine Tagebaukippe ein „Reaktionsraum Kippe“ mittels Erkundung und Strömungsmodellierung ausgegrenzt und in das Monitoring integriert wurde. Die Mibrag hat als Betroffene Dritte bestätigt, dass sie keine Beeinträchtigung ihrer Bergbautätigkeit im benachbarten Tagebaufeld besorgt.

Fortschreibung und Sicherung

Die Modellwerkzeuge erlaubten eine auf einer Mengenbilanz und Strömungskorrektur beruhende Präzisierung der Prognosekennwerte des Schadens G 2 für den Zeitraum bis 2015. Es hat sich gezeigt, dass infolge des Fremdwasserzutritts die Frachten am Profil P 3 (Kippenabstrom) mit den verfügbaren Daten bisher unterschätzt wurden. Eine Differenzierung der Stofffrachten an den Profilen trägt einer Hauptabstromrinne in der Schadstofffahne nunmehr Rechnung.

Erstmals wurde eine langfristige Prognose der Schadensentwicklung unter Berücksichtigung der Planung der Braunkohlengewinnung gestellt. Für den Zeitraum bis 2030 wurde prognostiziert, dass voraussichtlich kein Schadstoffabstrom aus dem MNA-Kontrollraum in Richtung des fortschreitenden Braunkohletagebaus zu erwarten ist. Eine Transportmodellierung weist aus, dass auch im Zuge des Grundwasser-Wiederanstiegs nach Flutungsabschluss des Restsees Gefährdungen durch Abstrom kontaminierter Wässer weitgehend auszuschließen sind. Die Dimensionierung einer Rückfall- bzw. Schutzmaßnahme konnte zeitlich und räumlich eingeengt werden.

Basierend auf Feldtestergebnissen erfolgte eine Entwurfsplanung nach HOAI zur Vorhaltung der ENA-Technologie als Rückfallmaßnahme (Sauerstoff-Direktgasinjektion) für den weiteren MNA-Betrieb. Gestützt auf die Langfristprognosen und abgestimmt mit der Mibrag wurden ein Ort (Vorhaltefläche), die notwendige Dimension (ca. 100 m × 35 m) und der notwendige Zeitraum (ab 2020 für zehn Jahre) fixiert. Die Bemessung der technischen Anlage und die Betriebsplanung wurden unter wirtschaftlichen Aspekten geprüft.

Schlussfolgerung

In der Umsetzung eines bergrechtlich zugelassenen MNA-Konzeptes war neben dem Grundwasser-Monitoring ein Programm ergänzender Maßnahmen und Untersuchungen durchzuführen. Hierbei erfolgten eine vertiefende Quantifizierung der NA-Wirkungen und eine planerisch-genehmigungsrechtliche Absicherung gegen ein mögliches Prognoseversagen. Der Arbeitsfortschritt wurde mit den zuständigen Behörden und betroffenen Dritten kommuniziert. Der Kontrollbericht einer fünfjährigen Schadens- und Gefahrenentwicklung mit präzisierten Prognosen wurde von der Bergbehörde bestätigt. Die Entwurfsplanung einer im Feldmaßstab bei laufendem MNA-Betrieb getesteten Rückfalltechnologie (Direktgasinjektion) gegen Prognoseversagen und zum Schutz des Betriebes eines Braunkohlentagebaus wurde als Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan bei der Bergbehörde eingereicht. Mit der Zulassung dieser Ergänzung zum ABP wird das MNA-Konzept für den Altstandort langfristig gesichert. Der Aufwand und das Risiko der bergrechtlichen Nachsorge konnten für den Zeitraum bis 2015 und darüber hinaus erheblich gemindert werden.

Die Erfahrungen des nunmehr zehnjährigen MNA-Betriebes am Standort Profen haben gezeigt, dass eine behördliche Akzeptanz von MNA auch nach der Erstzulassung bzw. -genehmigung mit schrittweisen, vertiefenden Untersuchungen zur Absicherung und Fortschreibung der Prognosen verbunden ist. Während dieses Prozesses konnten die notwendigen innerbetrieblichen Rückstellungen für Rückfallmaßnahmen im Versagensfall entscheidend präzisiert und gemindert werden. Der von der LMBV eingeschlagene Weg, ehemalige Kohleveredlungsstandorte mit Grundwasser-Gemeinschäden schrittweise in eine NA-basierte Nachsorge als mildestes Mittel gemäß WHG und GrwV zu überführen, hat sich im Fall von Profen fachtechnisch, genehmigungsrechtlich und wirtschaftlich als tragfähig erwiesen. ▮

Literaturhinweise
siehe Seite TT 15

AUTOREN DIESER AUSGABE

Hans Joachim Schmitz
Pressebüro HJS
Buntspechtweg 19
55442 Stromberg
Tel.: 06724/602869
Fax: 06724/602871
E-Mail: hjschmitz43@web.de

Dr.-Ing. Ronald Giese, Dr.-Ing. Peter Tropp, Dr.-Ing. Dietrich Swaboda
Grundwasser-Zentrum Dresden
Meraner Str. 10
01217 Dresden
Tel.: 0351/4050670
Telefax: 03514050679
E-Mail: info@dgfz.de
Internet: www.dgfz.de

Dipl.-Ing. Mark Zittwitz
Sensatec Berlin GmbH
Johanna-Tesch-Str. 8
12439 Berlin
Tel.: 030/8094-1576
Telefax: 030/8094-1578
E-Mail: berlin@sensatec.de
Internet: www.sensatec.de

Dr. Anett Thomas
Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
Walter-Köhn-Str. 2
04356 Leipzig
Tel.: 0341/2222-0
E-Mail: a.thomas@lmbv.de
Internet: www.lmbv.de

Dipl.-Geol. Jörg Schmidt
Jena-Geos Ingenieurbüro GmbH
Saalbahnhofstr. 25c
07743 Jena
Tel.: 03641/4535-0
Fax: 03641/442806
E-Mail: info@jena-geos.de
Internet: www.jena-geos.de

Dipl.-Phys. Matthias Uhlig
Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH
Nonnenstr. 9
04229 Leipzig
Tel.: 0341/22561-0
Telefax: 0341/22561-29
E-Mail: info@ibgw-leipzig.de
Internet: www.ibgw-leipzig.de

Dipl.-Geol. Gerhard Kastner
IGK Projektmanagement und Consulting
Neuendorfstraße 18a
16761 Hennigsdorf
Tel.: 03302/2057923
E-Mail: Kastner@IGK-Management.de
Internet: www.igk-projektmanagement.de

Dipl-Ing. Jürgen Lehmann
IBL – Ingenieurtechnische Beratung
Grevesmühlener Straße 22
13059 Berlin
Tel.: 030-92045171
E-Mail: IBLehmann.berlin@t-online.de

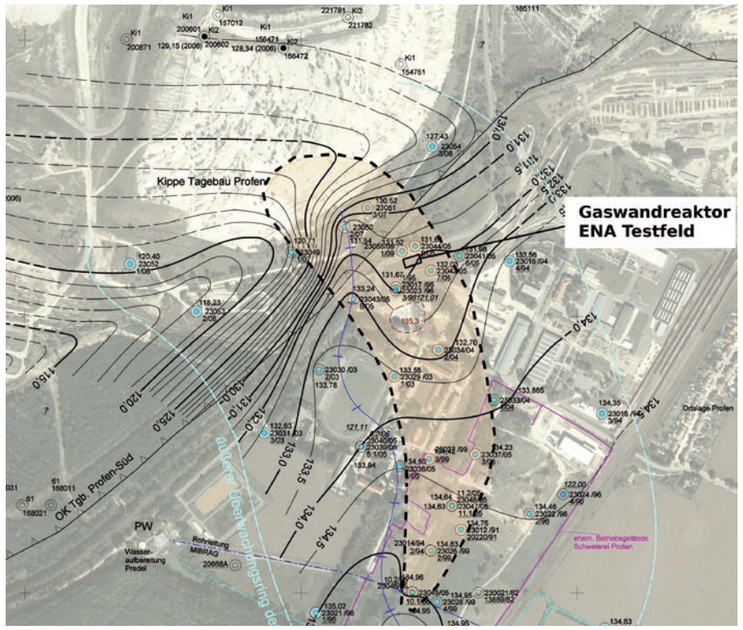
Dipl.-Ing. Angela Rümler
Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin
Ref. IX C
Brückenstr. 6
10179 Berlin

Sicherung eines MNA-Konzeptes im Bergrecht

Teil 2: Technologiebereitstellung zur MNA-Rückfallvorsorge

Mark Zittwitz, Dietrich Swaboda, Jörg Schmidt, Anett Thomas

Für die Bereitstellung einer Rückfallmaßnahme am Altstandort Schwelerei Profen wurde das Verfahren der Biooxidationszone durch den Planer, die ARGE DGFZ/ Jena Geos, ausgewählt und ein Feldversuch zur Erprobung der Technologie geplant. Das Verfahren sieht den Eintrag von Sauerstoff mittels Direktgas-injektion in den Aquifer vor und zielt auf die Einstellung oxischer, den aeroben Abbau befördernder Bedingungen ab.



Das Injektionsverfahren bedarf einer standortspezifischen Anpassung. Im Rahmen eines einjährigen Probebetriebs waren technische Anpassungen vorzunehmen und bezüglich Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit, Betriebssicherheit und Flexibilität die günstigste technische Lösung zu eruieren. Der Probebetrieb wurde durch die Istev GmbH (heute Sensatec Berlin GmbH) fachtechnisch durchgeführt.

Das ca. 450 m² große ENA-Testfeld befand sich innerhalb der vom Standort der ehemaligen Schwelerei Profen ausgehenden Schadstofffahne im GWL 1.5. Dieser Grundwasserleiter wird durch Sedimente der Saalehauptterrasse gebildet (feinsandige Mittel- bis Grobkiese, Steine). Die Kiese der Saalehauptterrasse liegen unmittelbar einem etwa 2–10 m mächtigen Kohleflöz auf. Im Hangenden des Grundwasserleiters sind saalekaltzeitliche Geschiebemergel und Löß bzw. Lößlehm mit einer Mächtigkeit bis zu 12 m verbreitet. Die von den verbliebenen Schadstoffquellen ausgehende Schadstofffahne G 2 misst etwa 500 m in ihrer Längserstreckung und ist durch eine Vielzahl von Messstellen gut abgegrenzt. Sowohl die Matrix selbst, als auch das Grundwasser weisen im Bereich der Schadstofffahne die höchsten Schadstoffgehalte auf. Typische Schadstoffkonzentrationen des Grundwassers können mit BTEX: 1500 µg/l; PAK: 800 µg/l; MKW: 3 mg/l angegeben werden. Die wassererfüllte Mächtigkeit des GWL 1.5 im Testfeldbereich beträgt in Abhängigkeit von der Stauermorphologie 5–7 m. Der GWL 1.5 entwässert ca. 200 m nördlich des ENA-Testfeldes in die Tagebaukippe Profen-Süd. Der mittlere hydraulische Gradient im Betriebszeitraum des Testfeldes betrug 0,006, die mittlere Strömungsgeschwindigkeit 0,13 m/d (entspricht einer Abstandsgeschwindigkeit von 0,8 m/d).

Der Betrieb des Testfeldes fiel in einen Zeitraum temporären Grundwasseranstieges im GWL 1.5. Von Juli 2010 bis April 2011 stieg der Grundwasserspiegel im Testfeldbereich kontinuierlich um insgesamt 1,5 m an. Bei steigendem Grundwasserstand blieb die Grundwasserfließrichtung weitgehend unverändert nach NNW gerichtet. Weitere Informationen zum Standort können [1] und [2] entnommen werden.

Erprobung der Direktgas-injektionstechnologie

Neben der Ausbreitung des Injektionsgases und der daraus resultierenden Prozesse im Gaswandreaktor einer Biooxidationszone führen die Einlösung des Gases in das Grundwasser, dessen Transport mit der Strömung und die dadurch ausgelösten Prozesse zur Formierung eines Abstromreaktors (vgl. [7; 8]). Zur Durchführung und Überwachung des Verfahrens wurde der Betrieb mit einem Injektionslanzen- und Messstellennetz, bestehend aus

- Gasinjektionslanzen (DIL1, DIL2, BIL 2/09),
- Messstellengruppen innerhalb des Gaswandreaktors zur Entnahme von Grundwasser über in situ installierte Minidruckpumpen im verlorenen Einbau in zwei Teufen (MDP A 1–5, MDP B 1–5) sowie zur Entnahme von Bodenluft (BL 1 .. 5),
- 1"-HDPE-Mikromessstellen am Rand des Gaswandreaktors mit Minidruckpumpen und Festpacker im nicht verlorenen Einbau (MDP 6, MDP 7),
- Peilrohre zur Überwachung des Grundwasserstands (PR 1, PR 2, PR 4),
- Grundwassergüte-Messstellen im Anstrom (GWM 2/04, GWM 7/05) und Abstrom (GWM 1/09, GWM 9/05)

untersetzt. Somit standen neben Bodenluft-Messstellen auch Grundwasser-Messstellen zur punktuellen (MDP-Messstellen im verlorenen Einbau), zur teilintegralen (MDP-Messstellen im Mikromessstellen-Einbau) und zur integralen (Grundwassergüte-Messstellen) Erfassung der Auswirkung der Gasinjektion zur Verfügung. Mit dem Ausbau des Messstellennetzes wurde den besonderen verfahrensspezifischen Anforderungen und Merkmalen mit einer heterogenen Gasverteilung im Gaswandreaktor und einer integralen Wirkung im Abstromreaktor Rechnung getragen.

Für den Feldversuch wurde eine Anlage zur Direktgasinjektion (Prozessgas Sauerstoff sowie Tracergase Helium und Neon) konzipiert und am Standort installiert. Durch eine qualifizierte Anlagentechnik waren die einzelnen Injektionspunkte unabhängig voneinander mit variablen Volumenströmen, Vordrücken und Zeittakten ansteuerbar. Es erfolgte eine automatisierte Betriebsführung mit Datenfernübertragung der Mess- und Steuergrößen.

Insgesamt wurden über die Dauer von einem Jahr ca. 8500 kg Sauerstoff eingebracht, dabei wurden Injektionsraten von 0,2 bis 2,0 Nm³/h je Injektionslanze sowie die Einbringung als Permanent- und Impulsinjektion angewendet.

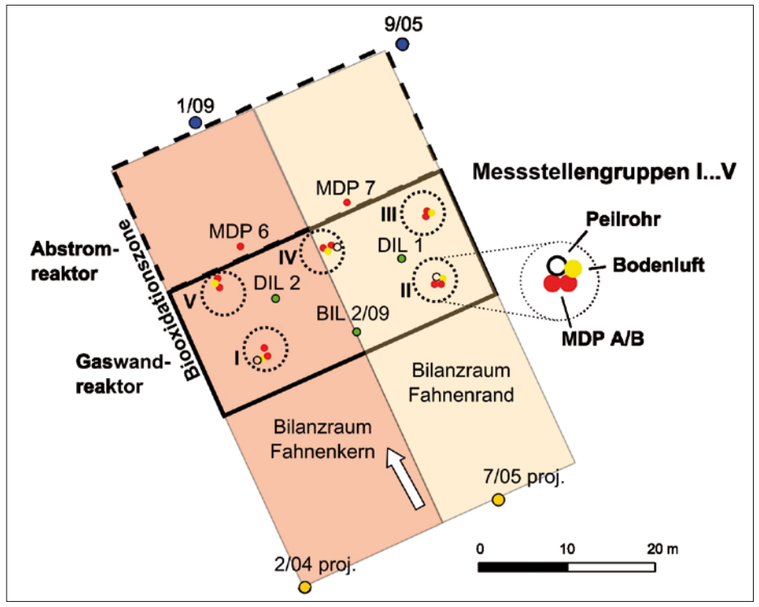
Nach einer Einfahrphase (38 Tage), in der v.a. die Prüfung der Funktionsfähigkeit der Anlagentechnik und der implementierten Steuerungsalgorithmen sowie die Durchführung von Gastracerversuchen und die Optimierung des Injektionsregimes im Mittelpunkt der Betrachtung standen, wurden folgende Betriebsregimes in Dauerbetriebsphasen getestet:

- Betriebsphase I (116 Tage): 0,25 Nm³/h·Lanze kontinuierlich bzw. 26 kg O_2/d
- Betriebsphase II (77 Tage): 0,35 Nm³/h·Lanze kontinuierlich bzw. 37 kg O_2/d
- Betriebsphase III (128 Tage): 0,50 Nm³/h·Lanze diskontinuierlich bzw. 21 kg O_2/d

Der vom Injektionsregime abhängige, mit Tracerversuchen nachgewiesene Einflussradius (Kohärentgastransport) je Injektionslanze betrug 5–8 m. Das im Versuchsverlauf optimierte Injektionsregime belegte eine - durch Tracerversuche und integrale Messungen im Testfeldabstrom belastbar nachgewiesene – raumgreifende Sauerstoffversorgung von gesättigter und ungesättigter Zone im 450 m² großen Testfeld (Gelöstgastransport). Aufgrund einer hinreichenden Grundwasserüberdeckung und der geringmächtigen, zur Atmosphäre hin abgedichteten ungesättigten Bodenzone im teilentwässertem GWL 1.5 konnte zudem ein effizienter Gaseintrag realisiert werden. Für die Bilanzierung des Sauerstoffeintrags wurde ein Bilanzmodell entwickelt. Als Bilanzgrößen gingen der Sauerstoffeintrag, der Sauerstoffverbrauch im Grundwasserbereich und in der Bodenzone sowie Verluste über den Grundwasserstrom und durch Ausgasung ein. Die mit dem Bilanzmodell berechnete Eintragseffizienz betrug in Abhängigkeit der Randbedingungen (Grundwasserstand, Injektionsregime) zwischen 50 und 60 %.

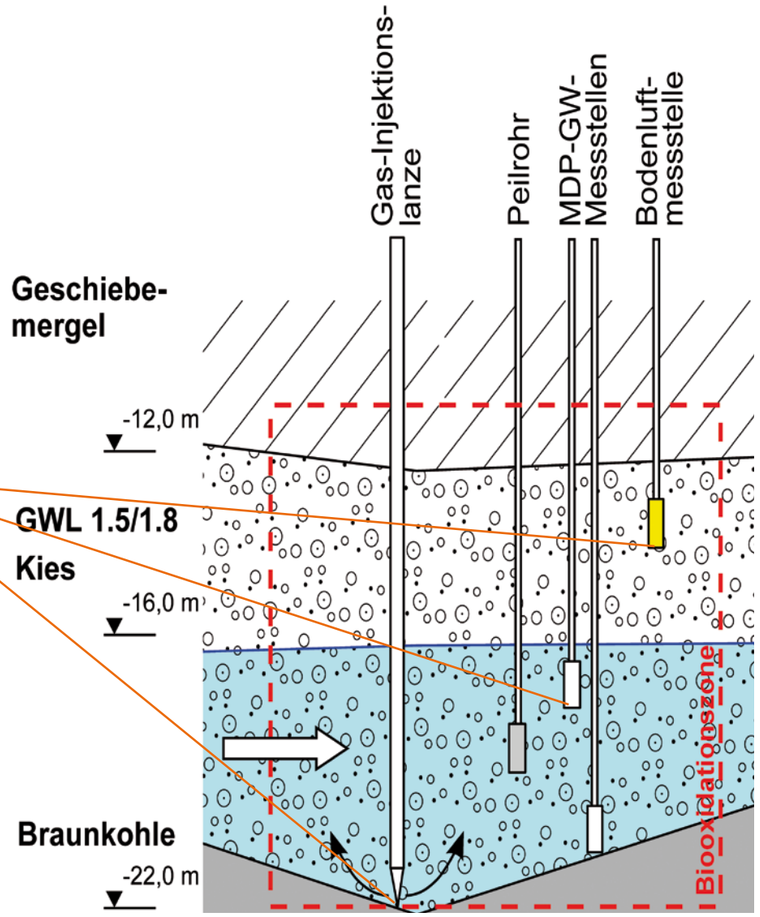
In der Schadstofffahne und somit auch im westlich gelegenen Teilbereich des Testfeldes lagen zu Beginn des Feldversuches unter reduzierenden Bedingungen Schwefelverbindungen (Pyrit) als Sekundärminerale vor (EH: –100 mV; Eisen: < 5 mg/l; Mangan: < 3 mg/l). In Folge der Sauerstoffinjektion in den Aquifer wurde das Redoxpotenzial im Gaswandreaktor und im Abstromreaktor deutlich und kontinuierlich angehoben. Es wurde beobachtet, dass in Folge der Sauerstoffinjektion und der dadurch ausgelösten Festbettoxidation in der ersten Versuchshälfte sowohl Eisen als auch Mangan (Eisen bis max. 30 mg/l; Mangan bis max. 50 mg/l) temporär freigesetzt wurden.

Die beobachteten Freisetzungen von Eisen und Mangan waren allerdings nur im Abstromreaktor deutlich zu erkennen. Die mit der Pyritverwitterung einhergehende Freisetzung von Acidität bewirkte bei steigendem Grundwasserspiegel temporär eine Zehrung des Karbonatpuffers des Grundwassers (Konzentrationsminderung HCO_3^-: von 700 mg/L auf 200 mg/L, Rückgang des pH-Wertes von pH 7,3 auf pH 6,0). Unter den Bedingungen der nachfolgenden Betriebsphase III wurde das pH-Milieu des Grundwassers bei Passage der Biooxidationszone mit Limitierung der Begasungsmenge auf Werte pH ≥ 6,5 stabilisiert. In der zweiten Versuchshälfte wurde – wahrscheinlich infolge von Fällungsprozessen –



Schematische Zeichung des Gaswandreaktors im ENA-Testfeld

Foto des Testfeldes



Lage des ENA-Testfeldes und Anordnung der Überwachungselemente

ein Rückgang der Gehalte an Eisen und Mangan auf Werte deutlich unterhalb des Ausgangsniveaus beobachtet.

Mit dem Rückgang der Konzentrationen von Eisen und Mangan im Grundwasser wurde eine umfassende Abnahme der Schadstoffgehalte (BTEX, Naphthalin, MKW) im Abstrom des Testfeldes (GWM 1/09 und GWM 9/05) bei gleichzeitig geringfügig ansteigenden Anstromgehalten (GWM 7/05) beobachtet. Der Maßnahme bedingte Rückgang der Schadstoffgehalte im Grundwasser wird auch durch den Vergleich der Ergebnisse des Feldversuchsbetriebes mit den Daten des langjährigen Monitorings (2005–2010) belegt. Zudem kann die Veränderung der Schadstoff-Verteilungsmuster als Indiz für die Wirksamkeit mikrobiologischer Abbauprozesse angesehen werden. Signifikante Veränderungen der Schadstoff-Verteilungsmuster bei den BTEX waren sowohl im Gaswand- als auch im Abstromreaktor festzustellen. Durch Monitoring von Grundwasser-Messstellen im Umfeld der Feldversuchsfläche wurde nachgewiesen, dass eine Verdrängung von Schadstoffen in das Umfeld sicher ausgeschlossen werden konnte.

Mithilfe des für den Standort entwickelten Bilanzmodells wurde die Steigerung der Abbauleistung der Hauptschadstoffe abgeschätzt. Die Steigerung des Stoffumsatzes im Grundwasser wurde überschlägig wie folgt ermittelt:

- BTEX von 33 g/d auf 50 g/d
- Naphthalin von 2,4 g/d auf 4,8 g/d
- MKW von 0 g/d (bzw. nicht nachweisbar) auf 40 g/d

Die während des Probebetriebs erzielten Stoffumsätze entsprechen ca. 96 % (BTEX), 80 % (Naphthalin) und 86 % (MKW) der aktuellen Gesamtschadstofffracht im Testfeldbereich.

Bewertung und Up-Scaling

Gegenstand eines einjährigen Probebetriebs einer Biooxidationszone war es, standortspezifische Anpassungen des Verfahrens vorzunehmen und Verfahrenskenngrößen, wie die Reichweite der Gasinjektion zu ermitteln. Es war sicherzustellen, dass mit der Gasinjektion ausreichend Elektronenakzeptoren für den Schadstoffabbau (Zielprozess) sowie für parallel ablaufende sauerstoffzehrende Prozesse (Sekundärprozesse) bereitgestellt wurden. Die Injektionsrate war so zu wählen, dass dabei übergebührlich hohe Gasverluste (einschließlich des Strippens von Schadstoffen) sowie eine Überbeanspruchung der Pufferkapazität des Grundwassers (einhergehend mit einer Versauerung des Grundwassers) vermieden werden.

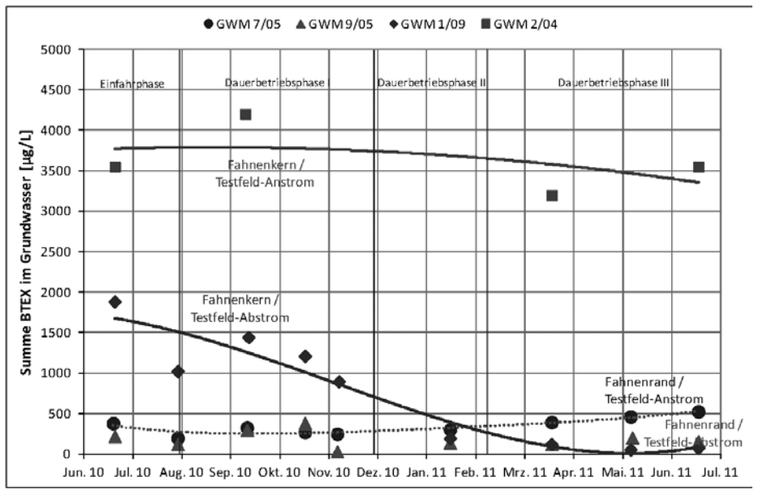
Im Versuchsverlauf konnte gezeigt werden, dass bei gleicher Eintragsmenge ein zyklischer Impulseintrag mit erhöhter Injektionsrate einen besseren Gastransfer in das Grundwasser bei gleichzeitig höherer Reichweite ermöglicht als eine Permanentinjektion mit geringerer Eintragsrate. Damit konnten prinzipiell die Ergebnisse vergleichbarer Studien [8] bestätigt werden. Es wurde bestätigt, dass mit der Erhöhung der Injektionsrate neben einer verbesserten Reichweite höher Gasverluste verbunden sind und somit stets eine Einstellung des Verfahrens entsprechend der standortspezifischen Gegebenheiten unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgen muss. Auch für großtechnische Anwendungen erscheint das im Feldversuch angewendete flexible Anlagenkonzept, das jederzeit eine Anpassung der Injektionsregimes (Permanent- und Impulsinjektion) an den jeweiligen Verfahrensfortschritt ermöglicht, bestmöglich geeignet zu sein.

Die Verteilung des Reaktanten Sauerstoff im Untergrund über die Gasphase ohne relevante Wasserverdrängung kann als wesentlicher Vorteil der Technologie gegenüber Konkurrenzlösungen angesehen werden. Die Integrierbarkeit der Technologie in ein laufendes MNA am Standort konnte somit gesichert werden. Durch den Eintrag gasförmigen Sauerstoffs werden ausreichend Elektronenakzeptoren zur Verfügung gestellt, um auch Sekundärprozesse bedienen zu können und um eine Pufferwirkung des Untergrunds gegen Schadstoffdurchbruch aufzubauen. So konnte belastbar nachgewiesen werden, dass das Verfahren bei ausreichender Dimensionierung in der Lage ist die Schadstoffe aus dem Grundwasser sicher zu entfernen.

Die Ergebnisse des Probebetriebs zeigten, dass für die Einarbeitung des Festbetts ein Zeitraum von ca. sechs bis acht Monaten zu veranschlagen ist. Die Initiierung der Sekundärprozesse als frühestes Anzeichen einer sich abzeichnenden erfolgreichen ENA-Stimulation lieferte in der Einfahrphase für die Steuerung technisch gut nutzbare Feedbacksignale. Es ist davon auszugehen, dass in einer großtechnischen Anwendung die sauerstoffzehrenden Redoxprozesse zudem einen Speicher formieren und somit die Pufferfähigkeit der Biooxidationszone im weiteren Abstrom erhöhen (anaerober Abstromreaktor, vgl. [7]). Für die Abdeckung der Umsatzprozesse im Grundwasser im laufenden Betrieb einer Biooxidationszone wird voraussichtlich nur noch ein temporäres Nachladen des Gaswandreaktors mit Sauerstoff unter gemindertem Überwachungsaufwand erforderlich. Die Betriebskosten für das Verfahren können somit zur Sicherung der Wirtschaftlichkeit weiter gesenkt werden.

Auf der Grundlage der Ergebnisse eines geohydraulischen Strömungsmodells wurden Bilanzräume der Biooxidationszone und maßgebende Strombahnen ausgewiesen und parametrisiert. Die Ergebnisse der Feldversuchsüberwachung und des Monitorings angrenzender Grundwasser-Messstellen wurden genutzt, um Haupttechnologieparameter der Biooxidationszone zu ermitteln und die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse auf die Randbedingungen einer späteren Technologieanwendung sicherzustellen. Mittels einer 1-D-Stromröhrenmodellierung wurden aerobe Abbauraten für BTEX (z. B. Benzol: 0,07 d^{-1}; Ethylbenzol: 0,05 d^{-1}) und Naphthalin: 0,04 d^{-1} ermittelt und damit die Ergebnisse aus Labortests (Batchversuche zum Schadstoffabbau mit Grundwasserleitermaterial) sehr gut bestätigt. Die durch Modellierung ermittelten Abbauraten sind als konservativ anzusehen und wurden für eine Reaktionslänge von 50 m ermittelt. Der Abbau der Schadstoffe auf kleiner 10 % der Anstromkonzentration der Biooxidationszone war sicher belegbar. Hierfür ist die Biooxidationszone mit einer Aufenthaltszeit von ca. 120 Tagen zu dimensionieren.

Mit dem Probebetrieb war die planmäßige Anwendung des Verfahrens am Standort im bergrechtlichen Verfahren vorzubereiten und die dafür notwendigen Nachweise und Planungsgrößen zu erbringen. Diese Arbeiten konnten mit dem Probebetrieb und einer Entwurfsplanung fristgerecht abgeschlossen werden. Für die Abstromsicherung am Standort Profen wurde ein 100 m Mustersegment einer Biooxidationszone mit zweireihigem Lanzenfeld als Entwurf geplant. Für die ggf. erforderliche Umsetzung wird im potenziell gefährdeten Bereich eine Fläche für die technischen Einrichtungen zum Betrieb einer Biooxidationszone in Abstimmung mit dem Flächeneigentümer und Tagebaubetreiber Mibrag vorgehalten. ▮



BTEX-Gehalte des Grundwassers im Zu- und Abstrom der Biooxidationszone

Literaturhinweise

[1] Giese, R.; Tropp, P.; Luckner, L.; Thomas, A.; Schmidt, J. und Schendzielorz, R. (2008): Altstandort Schwelerei Profen – Umsetzung eine MNA-Konzeptes im Bergrecht. TerraTech, H 3/2008.

[2] Thomas, A.; Giese, R. und Schmidt, J. (2005): Umgang mit den betriebsbedingten Boden- und Grundwasserrestschäden der Schwelerei Profen. Proceedings des DGFZ e.V.:, H. 27, S.143-159, ISSN 1430-0176.

[3] Umweltbundesamt (2006): Handlungsempfehlung zur Beurteilung des natürlichen Schadstoffabbaus und –rückhaltes in der ungesättigten Bodenzone. Umweltbundesamt Texte 02/2006, ISSN 0722-186x, www.umweltbundesamt.de.

[4] Bund-/Länder-arbeitsgemeinschaft Bodenschutz, LABO (2009): Positionspapier des ad-hoc Unterausschusses Natural Attenuation „Berücksichtigung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse bei der Altlastenbearbeitung". www.labo-deutschland.de.

[5] Wasserhaushaltsgesetz WHG vom 31.07.2009 mit Grundwasserverordnung GrwV vom 11.11.2010.

[6] Luckner, T. und Luckner, L. (2008): Modellierung und Prognose von Natural Attenuation Prozessen. Synopse TV 7 des BMBF-FuE-Vorhabens „Kontrollierter Natürlicher Rückhalt und Abbau" (KORA). Gemeinsame Mitteilungen des DGFZ e.V. und seiner Partner, ISSN 1611-5627.

[7] Ehrecht, H. und Luckner, L. (2004): Entwicklung und Erprobung einer Bio-Oxidationswand im Abstrom eines hoch mit Ammonium kontaminierten Grundwasserleiters – Bioxwand". Schlussbericht zum FuE-Vorhaben der Berliner Wasserbetriebe, BMBF-FKZ 02 WT 0091.

[8] Beckmann, A.; Gerhardt, M.; Zittwitz, M.; Martienssen, M.; Krieger, R.; Geistliner; H. und Schirmer, M. (2010): Das Oxywall-Projekt: Anwendung eines Verfahrens zur Direktgasinjektion von Sauerstoff zur in situ Sanierung von organisch kontaminierten Grundwässern. Altlastenspektrum, H. 4/2007.

[9] Giese, R; Engelmann, F.L; Swaboda, D.; Uhlig, U. and Luckner, L. (2012): Reactive Gas Barrier and Zone Technologies. In: Naidu, Birke (Eds.): Advanced Permeable Reactive Barrier Technologies for Sustainable Groundwater Cleanup. in preparation.