

Reaktive Wände zur innovativen Altlastensanierung

– Vorstellung des BMBF-Verbundvorhabens RUBIN –

Volker Birke, Harald Burmeier und Diana Rosenau

Abstract

Als wichtigen Impuls für innovative Neu- und Weiterentwicklungen von Reinigungswandtechnologien in Deutschland hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Mai 2000 den Forschungsverbund RUBIN (= Reaktionswände und -barrieren im Netzwerkverbund) ins Leben gerufen, in dem unterschiedliche Unternehmen und Forschungseinrichtungen eng zusammenarbeiten und in dessen Mittelpunkt die Untersuchung der bau- und betriebstechnischen Probleme bei der Errichtung von Reinigungswänden steht.

1. Zum Stand der Reinigungswandtechnologien

Weltweit, insbesondere in Nordamerika und Westeuropa, räumt man in den letzten Jahren den Reinigungswandtechnologien (auch Reaktive Wände genannt, im angelsächsischen Sprachraum z.B. Permeable Reactive Barriers (PRB) oder Treatment Zones) erhebliche Zukunftschancen ein, da sie als passive in situ-Verfahren z.B. gegenüber den herkömmlichen aktiven Pump-and-Treat-Methoden deutliche Vorteile besitzen: Der Energieverbrauch ist extrem gering, es erfolgt kein massiver Eingriff in das Grundwasserregime und die Sanierungsmaßnahme findet direkt im Untergrund im kontaminierten Grundwasserleiter statt, d.h. eine aufwendige Anlagentechnik ist a priori weder einzurichten noch zu betreiben noch auf längere Zeit zu unterhalten oder vorzuhalten.

Seit ca. 1995 ist insbesondere in Nordamerika die Zahl der durchgeführten Pilotprojekte mit Reinigungswänden kontinuierlich gestiegen [1-3], wobei die prinzipielle Durchführbarkeit, Anwendbarkeit und Reinigungsleistung in den meisten Fällen eindeutig belegt wird. Vornehmlich handelt es sich um Schadensfälle mit chlorierten Ethenen, bei denen man nullwertiges Eisen als Dehalogenierungsmittel zur Anwendung bringt. Einige Pilotvorhaben weisen mittlerweile bereits eine Laufzeit von bis zu 5 Jahren auf und liefern konstante Abbauergebnisse, z.B. das Funnel-and-Gate-Pilotsystem auf dem Moffett Federal Airfield, Mountain View, südlich San Francisco (LCKW-Schaden, Behandlung mit elementarem Eisen, gebaut April 1996 [1,3]), oder das Funnel-and-Gate-Pilotsystem auf der Dover Air Force Base, Delaware (LCKW-Schaden [1, 4], ebenfalls Behandlung mit elementarem Eisen, gebaut Dezember 1997).

Allerdings haben die Reinigungswandtechnologien bisher noch nicht den Status von vollwertigen, allgemein anerkannten Sanierungsverfahren erlangt, und es gibt noch Vorbehalte, diese Techniken bereits heute oder in der nächsten Zukunft im volltechnischen Maßstab auf breiter Front einzusetzen. Für die anzutreffenden Bedenken – insbesondere auf Seiten der Administrationen und den Problem-Eignern – Reinigungswände für die Sanierung von Grundwasserschadensfällen in steigendem Maße anzuwenden, werden vor allem zwei Gründe genannt:

1. Ungenügende Kenntnisse über das Langzeitverhalten aufgrund heute noch fehlender Langzeitstudien und belastbarer Langzeitmodelle.
2. Ungenügende Kenntnisse über die Wirtschaftlichkeit.

Das Langzeitverhalten ist jedoch bei Reinigungswandtechnologien von zentraler Bedeutung, weil für die durchgreifende Abreinigung eines Schadensfalles zumeist mit einer Laufzeit in der Größenordnung von Dekaden zu rechnen ist. Das Langzeitverhalten wird im wesentlichen durch die Langzeitstabilität der Reaktormaterialien bestimmt, diese wiederum z.B. durch die Inhibierungstoleranz der Reaktormaterialien gegenüber hydraulischen und hydrochemischen Veränderungen. Zum Langzeitverhalten gehört ferner die Betrachtung des langfristigen Austrages möglicherweise grundwassergefährdender Abbau- und Umsatzprodukte aus den Reaktoren.

Der zuverlässigen Erhebung und Prognose von Langzeitdaten kommt folgerichtig eine herausragende Bedeutung zu [5]. Weil es sich um vergleichsweise junge Technologien handelt, sind aber gegenwärtig zum Langzeitverhalten überwiegend nur Daten aus Laborexperimenten und Technikumsversuchen erhältlich, die mehr oder weniger einen modellhaften Charakter aufweisen und nur Teilaspekte der realen Situation am Standort simulieren.

Die Wirtschaftlichkeit hängt, insbesondere im Vergleich mit herkömmlichen aktiven Sanierungsverfahren, stark von einem stabilen und zuverlässig prognostizierbarem Langzeitverhalten ab. Da die Investitionskosten und die anfänglichen Kosten beim Bau einer Reaktiven Wand i.d.R. hoch sind, ergeben im Idealfall die Gesamtkosten nur in der Langzeitbetrachtung über viele Jahre ein günstiges Bild, weil dann beispielsweise fast nur noch Monitoring-, dagegen aber sehr geringe Betriebskosten anzusetzen sind. Die für ökonomische Betrachtungen wesentlichen Parameter können aufgrund eines herrschenden Mangels an verlässlichen Langzeitdaten bislang nur unzuverlässig ermittelt werden; damit lassen sich aber gegenwärtig nur unzureichend Vergleiche mit herkömmlichen, etablierten Verfahren anstellen.

2. Entwicklung in Deutschland

In Deutschland sind während der vergangenen Jahre einige Pilotprojekte mit ersten vielversprechenden Ergebnissen in Bezug auf Effizienz und Wirtschaftlichkeit realisiert worden, und zwar an den drei öffentlich geförderten Modellstandorten Rheine (LCKW) [6], Tübingen (LCKW) [6, 7] und Karlsruhe (PAK) [6, 8] sowie an zwei privat finanzierten Standorten, nämlich in Edenkoben (LCKW) [6] und Denkendorf (LCKW). Weitere sind in jüngster Zeit bekannt geworden, wie z.B. das Adsorberwandprojekt in Reichenbach an der Fils (LCKW) [9].

Damit ist die möglicherweise erhebliche Bedeutung dieser Verfahren als Zukunftstechnologien für die Grundwassersanierung auch in Deutschland evident geworden [10], und es sollen nun als Alternative zum bereits in Nordamerika patentierten Einsatz von nullwertigem Eisen für die Dehalogenierung polyhalogenierter Schadstoffe und Redoxfällung bestimmter Schwermetalle schnellstmöglich auch eigene Lösungen für den nationalen und internationalen Markt entwickelt werden. Hierzu wurde zunächst im Jahr 1999 in Bitterfeld die Großversuchseinrichtung SAFIRA durch das Umweltforschungszentrum Leipzig in Zusammenarbeit mit weiteren Forschungseinrichtungen und interessierten Unternehmen in Betrieb genommen [11]. Das Projekt

dient im wesentlichen der Grundlagenforschung und wird mit Mitteln des BMBF gefördert.

3. Aufbau, Aufgaben und Ziele des Forschungsverbundes RUBIN

Um technische Neu- und Weiterentwicklungen in Deutschland zusätzlich gezielt zu fördern, hat das BMBF darüber hinaus im Mai 2000 den neuen Forschungsverbund RUBIN eingerichtet [12, 13], in dem gleichermaßen Unternehmen und Forschungseinrichtungen eng zusammenarbeiten, um vornehmlich die technischen Probleme bei der Errichtung und beim Betrieb von Reinigungswänden zu untersuchen und teilweise auch durch ganz neue, innovative Ansätze zu lösen. Die vorgesehene Laufzeit und die finanzielle Ausstattung betragen 3 Jahre bzw. ca. 4 Millionen Euro.

Insgesamt 12 Einzelvorhaben bilden den Verbund RUBIN. In 9 Projekten sind die Erstellung und der Betrieb oder wichtige grundlegende und vorbereitende FuE-Arbeiten zur Errichtung einer Reaktiven Wand oder Zone im technischen Maßstab als Hauptaufgaben vorgesehen; eine Übersicht hierzu bietet Tabelle 1.

Drei weitere Projekte widmen sich wichtigen übergreifenden Frage- und Problemstellungen. Im Vorhaben der Universität Tübingen (Prof. G. Teutsch) werden Modelle zur Kostenschätzung und Wirtschaftlichkeitsberechnung für Reaktive Wände entwickelt, die u.a. idealerweise mit Hilfe der Daten aus den 9 Einzelprojekten, bei denen Bauwerke errichtet werden, erstellt und/oder überprüft werden können. Die Universität Kiel (Prof. A. Dahmke) hat die Aufgabe, verbesserte Methoden für das Qualitätsmanagement, das Monitoring und Voruntersuchungen zu entwickeln, wobei speziell Anstrengungen zur weiteren Aufklärung der Reaktionsmechanismen und zur Ermittlung einer vollständigen Massenbilanz unternommen werden. Die Fachhochschule Nordostniedersachsen (Prof. H. Burmeier) koordiniert den Forschungsverbund in fachlicher Hinsicht und ist verantwortlich für die Erstellung eines Handbuchs und Kompendiums zur Technik der Reaktiven Wände, das u.a. schwerpunkthaft einen allgemeinen Leitfaden für Planung, Entwicklung, Genehmigung, Errichtung und Betrieb von Reaktiven Wänden im Rahmen der allgemeinen Altlastenbearbeitung in Deutschland enthalten wird.

Durch die Einrichtung von RUBIN will man im Laufe der kommenden Jahre Antworten auf Fragen zur Anwendbarkeit, Implementierung und Leistungsfähigkeit der Reinigungswandtechnologien im volltechnischen Maßstab erhalten. Dazu wurden im einzelnen mehrere Hauptaufgaben und -ziele für den neuen Forschungsverbund definiert:

1. Die RUBIN-Projekte sollen in interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Forschung (Hochschulen), Entwicklung (Hochschulen und Unternehmen), Planern (Ingenieurbüros), ausführenden Unternehmen (Spezialtiefbau) und Behörden schwerpunktmäßig auf die Errichtung volltechnischer Bauwerke gerichtet sein.
2. Die RUBIN-Projekte sollen umfangreiche Daten, Informationen, Erkenntnisse und Lösungsansätze liefern sowohl für Frage- und Problemstellungen in den Gebieten Entwicklung und Planung, Konstruktion und Betrieb, Monitoring als auch in Bezug

auf die Umweltauswirkungen, rechtliche und Genehmigungs-Aspekte und die Steigerung der Akzeptanz bei Behörden und Problem-Eignern.

3. RUBIN soll dazu beitragen, dass sich künftig die Vor- und Nachteile und die Anwendbarkeit für den konkreten Einzelfall zuverlässig prognostizieren und damit bewerten lassen.

4. Durch die Aufnahme von Projekten, die bereits bestehende Bauwerke dem Verbund beisteuern, wie z.B. die Vorhaben mit Wandbauwerken in Rheine und in Edenkoben, werden Untersuchungen zu ersten Langzeitstudien ermöglicht.

5. Es sollen Qualitätsstandards und ein möglichst allgemein anwendbares und übertragbares Qualitätsmanagement für den Bau, den Betrieb und das Monitoring ausgearbeitet werden.

6. Die tatsächlichen Investitionskosten der zu errichtenden Bauwerke bilden die Grundlage für genauere Ansätze zu Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Vergleiche mit der herkömmlichen Pump-and-Treat-Technologie.

4. Literatur

[1] U.S. Environmental Protection Agency (1999) "Field Applications of In Situ Remediation Technologies, Permeable Reactive Barriers", EPA-542-R-99-002

[2] Gavaskar, A.; Gupta, N.; Sass, B.; Janosy, R.; Hicks, J. (2000) "Design Guidance for Application of Permeable Reactive Barriers for Groundwater Remediation", Battelle, Columbus, Ohio

[3] Birke, V.; Burmeier, H.; Rosenau, D. (2000) "Mehr Kosteneffizienz bei Sanierungen gefragt", TerraTech 4, 16-17

[4] Yoon, S. W.-S.; Gavaskar, A.; Sass, B.; Gupta, N.; Janosy, R.; Drescher, E.; Cumming, L.; Hicks, J. (2000) "Innovative Construction and Performance Monitoring of a Permeable Reactive Barrier At Dover Air Force Base", Chemical Oxidation and Reactive Barriers: Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, The Second International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, Monterey, California, May 22-25, 2000, Band C2-6, Battelle Press, 409-416

[5] Puls, R.W.; Korte, N.; Gavaskar, A.; Reeter, Ch. "Long-Term Performance of Permeable Reactive Barriers: An Update on a U.S. Multi-Agency Initiative", Contaminated Soil 2000 (Proceedings of the Seventh International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil 18-22 September 2000), Leipzig, Germany, 591-594

[6] Rochmes, M. (2000) "Erste Erfahrungen mit Reaktiven Wänden und Adsorbierwänden in Deutschland", Boden und Altlasten Symposium 2000 (Hrsg. Franzius, V.; Lühr, H.-P.; Bachmann, G.), 225-245

[7] Klein, R.; Schad, H. (2000) "Results From a Full Scale Funnel-And-Gate System At the BEKA Site In Tübingen (Germany) Using Zero-Valent Iron", Contaminated Soil 2000 (Proceedings of the Seventh International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil 18-22 September 2000), Leipzig, Germany, 917-923

- [8] Schad, H., Haist-Gulde, B.; Klein, R.; Maier, D.; Maier, M.; Schulze, B. (2000) "Funnel-and-Gate At the Former Manufactured Gas Plant Site In Karlsruhe: Sorption Test Results, Hydraulic and Technical Design, Construction", Contaminated Soil 2000 (Proceedings of the Seventh International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil 18-22 September 2000), Leipzig, Germany, 951-959
- [9] Edel, H.-G.; Voigt, Th. (2001) "Aktive und passive Grundwassersanierung – ein Verfahrens- und Kostenvergleich", TerraTech 1, 40-44
- [10] Dahmke, A.; Ebert, M.; Köber, R.; Schäfer, D.; Schlicker, O.; Wüst, W. (2000) "Konstruktion und Optimierung passiver geochemischer Barrieren zur in-situ-Sanierung und Sicherung CKW-kontaminierter Aquifere", Abschlußbericht BMBF-Forschungsvorhaben 02-WT9546/2
- [11] Weiß, H.; Daus, B.; Teutsch, G. (1999) "SAFIRA 2. Statusbericht; Modellstandort, Mobile Testeinheit, Pilotanlage", UFZ-Bericht Nr. 17, ISSN 0948-9452
- [12] Birke, V.; Burmeier, H.; Rosenau, D. (2000) "Startschuß für BMBF-Forschungsverbund", TerraTech 4, 14-15
- [13] Birke, V.; Burmeier, H.; Rosenau, D. (2000) "Startschuß zum BMBF-Forschungsvorhaben 'Anwendung von Reinigungswänden für die Sanierung von Altlasten' gefallen", Altlasten Spektrum 6, 367-369

Anschrift der Autoren

Prof. Dipl.-Ing. Harald Burmeier
Dipl.-Chem. Dr. Volker Birke
Dipl.-Ing. Diana Rosenau
Fachhochschule Nordostniedersachsen
Bauingenieurwesen (Wasserwirtschaft u. Umwelttechnik), Suderburg, Büro Hannover
Steinweg 4
30989 Gehrden
Tel. 05108/9217-30, Fax 05108/9217-39
E-mail: birke@fhnon.de, rosenau@fhnon.de, h.burmeier@t-online.de

Abbildungsverzeichnis

Der vollständige Beitrag – mit Abbildungen – wird in Kürze unter <http://www.rubin-online.de> im Internet verfügbar sein

Abb. 1. Aufnahmen vom Standort Bernau im Dezember 2000 (2 Grundwasserleiter kontaminiert mit TCE), Foto oben: das projektierte Funnel-und-Gate-System ist grob mit Holzpflocken markiert, am linken Bildrand erkennbar die ehemaligen TCE-Lagertanks, Foto unten: während einer Meßkampagne wurde das Gelände mit neuartigen Verfahren untersucht, z.B. CPT-Spitzendrucksondierung (Geoprobe Systems), Vorstellung des MLPS-Packersystems zur horizontalen Pumpprobennahme (IMW GmbH, Tübingen, ohne Abb.). Seit März 2001 finden Bauarbeiten zur Errichtung des Reinigungswandsystems statt.

Abb. 2. Projekt Bernau: Aufsicht des geplanten, speziell ausgestalteten Funnel & Gate-Systems, geschlossener Funnel mit Schlitzwand (unregelmäßiges Sechseck, die ehemalige Lagerfläche der TCE-Tanks wird vollständig umschlossen), daran anschließend Eisen-Reaktor (rechteckiges Gate, Spund- und Dichtwand).

Abb. 3. Bernau: Aufriß des geplanten Reaktors mit horizontaler Durchströmung und rückholbaren Segmenten; im Bereich der Dichtwand erfolgt eine Grundwasseranhebung durch Förderung belasteten Grundwassers aus dem 2. Grundwasserleiter (links), um beide kontaminierten Grundwasserleiter mit einem Reaktor zu fassen. Beide Abbildungen: BBG mbH, Dipl.-Geol. Freygang, Waldstadt; INGAAS GmbH, Dipl.-Geol. Hein, Berlin; TU Berlin, Dipl.-Ing. L. Vigelahn.

Abb. 4. Edenkoben (Nähe Neustadt/Weinstraße, Pfalz), oben: Standort mit Lage des Funnel & Gate-Bauwerkes (insgesamt 6 Gates, Fertigstellung Ende 2000/Anfang 2001) im Überblick, unten: Aufriß eines Reaktors (entspricht Pilotreaktor) mit vertikaler Durchströmung; Abbildungen: Peschla + Rochmes GmbH, Dipl.-Geol. M. Rochmes, Kaiserslautern.

Abb. 5. Projekt Offenbach: Prinzipskizze des geplanten Reaktors auf dem Gelände der ehemaligen Teerfabrik Lang; HIM ASG GmbH, Dipl.-Ing. Kayser, Wiesbaden.

Abb. 6. Projekt Rheine, Westfalen (ca. 40 km westlich von Osnabrück): Prinzipskizze der gebauten Reinigungswand (ausgelegt als überschnittene Bohrpfehlwand); Abbildung: Mull und Partner Ingenieurgesellschaft mbH, Dr. Möller, Garbsen.

Tab. 1. Zusammenstellung der 9 RUBIN-Projekte mit geplanten/errichteten Wandbauwerken, nach Standorten alphabetisch geordnet.

	Bernau	Denkendorf	Dresden	Edenkoben	Hanau	Nordhorn	Offenbach	Rheine	Wiesbaden
Thema, Kontamination	In-situ-Abreinigung von TCE auf dem Gelände einer ehemaligen Großwäscherei der führenden Westgruppe der sowjetischen Streitkräfte nach dem Funnel-and-Gate-Prinzip mit regenerierbaren Fe ⁰ -Reaktoren und horizontaler Durchströmung	Innovative Abstromsanierung einer LCKW-Kontamination auf dem Gelände des Gewerbeparks Denkendorf	Untersuchungen zur Errichtung einer Sorptionswand für uranbelastete Grundwässer am Beispiel des Standortes Coschütz-Gittersee	Monitoring und Erstellung eines Betriebshandbuchs am Beispiel eines volltechnischen Funnel-and-Gate-Systems auf dem Gelände eines Automobilzulieferungsunternehmens zur Sanierung eines LCKW-Schadens	Entwicklung und Erprobung von reaktiven/sorptive Zonen aus Huminstoffen zur Sicherung von Grundwasserschäden im Abstrom von Teerölschäden auf dem Gelände des Schwellenimprägnierwerkes Hanau der VFT AG	Entwicklung eines Kombireaktors zur Sanierung von komplexen GW-Mischkontaminationen (u.a. org. Farbstoffe, arom. Amine, DNAPL) aus der ehemaligen Textilveredlung NINO, Nordhorn	Entwicklung und Erprobung einer Reinigungswand zur Abreinigung von BTEX und PAK auf dem Gelände der ehemaligen Teerfabrik Lang	Auswertungen zum Langzeitverhalten einer bestehenden kontinuierlichen Fe ⁰ -Reinigungswand (Pilotmaßstab) zur Sanierung eines LCKW-Schadens	Entwicklung und Erprobung von Reaktionswandsystemen zur Sanierung eines Arsen-Schadens (Arsenit, Arsenat) in einem Rhein-Aquifer, Wiesbaden, aus einer alten Fuchsin-Produktion
Antragsteller	Bundesland Brandenburg, BBG mbH, Waldstadt, Dipl.-Geol. Freygang	IMES GmbH Amtzell, Dr. Schad	TU Berlin Prof. Rotard, Dipl.-Ing. Borrmann	Peschla + Rochmes GmbH, Kaiserslautern, Dipl.-Geol. Rochmes	VFT AG, Hanau, Dr. Blümer	Landkreis Grafschaft Bad Bentheim, Dipl.-Ing. Zwartsholten	Hessische Industriemüll GmbH, -ASG-Wiesbaden, Dipl.-Ing. Kayser	Mull und Partner Ing.-Gesellschaft mbH, Garbsen, Dr. Möller	Hessische Industriemüll GmbH, -ASG-Wiesbaden, Dipl.-Ing. Kayser
Wandsystem	Funnel-and-Gate (horizontale Durchströmung), bis zu 11 m tief	Drain-and-Gate, bis zu 6 m tief	Auf der Grundlage der Ergebnisse des FuE-Vorhabens noch zu planen	Funnel-and-Gate (6 Gates, vertikale Durchströmung), ca. 15 m tief	Permeable reaktive/sorptive Zone (Huminstoffbarriere)	Planung erfolgt nach Vorversuchen während der Projektlaufzeit	Funnel-and-Gate (Mikrobiologie + Aktivkohle)	Vollflächig durchströmte Wand, etwa 6 m tief	Reaktionswand im Zustrom, Funnel & Gate im Abstrom, ca. 3-5,5 m tief
Reaktives Material	Fe ⁰	Palladiumdotierte Zeolithe, pelletiert und hydrophob Zudosierung von Wasserstoff oder Fe ⁰ -Zugabe erforderlich	Alternative Adsorbentien (z.B. Braunkohle, Braunkohlekoks), Zeolithe Natürliche Komplexbildner (z.B. Huminsäuren) Technische Komplexbildner (z.B. EDTA)	Fe ⁰ -Späne Ausnahme: Im bereits bestehenden Gate wird nur der Zustrombereich gefüllt Aktivkohle: Im Abstrombereich des vorhandenen Gates	Huminstoffe zur sorptiven Fixierung der Schadstoffe im Grundwasser; Herstellung der Barriere durch Injektion gelöster Huminstoffe und anschließende Immobilisierung im Aquifer	Noch zu ermitteln; möglicherweise: Mikrobiologie kombiniert mit adsorptiven Materialien und Fe ⁰	Zudosierung der notwendigen Elektrodenakzeptoren für mikrobiellen Abbau Aktivkohle	Eisenschwamm Graugußeisen-Perlkies-Gemisch	Leicht oxidable C _{org} -Phasen, evtl. Sulfat-Festphasen (beides Sulfidemittierend); Eisenoxid zur adsorptiven Bindung von Arsenat (V)