

In-situ Tiefenverdichtung als Quellbehandlung am Beispiel einer Bergbahnhinterlassenschaft der Wismut SDAG

Friedemann Grafe und Thomas Wilsnack

IBeWa-Ingenieurpartnerschaft, Freiberg/Sachs.

Abstract

Durch die Tätigkeit der Wismut SDAG entstanden umfangreiche Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus auf dem Gebiet der ehemaligen DDR. Standorte, die vor 1961 ihren Betrieb einstellten, unterliegen nur bedingt der Sanierungsverantwortung der Wismut GmbH. Industrielle Absetzanlagen (IAA), wie z. B. in Lengenfeld (Vogtland), Schneckenstein, Zobes-Mechelsgrün, Johannegeorgenstadt, Aue (Erzgebirge), zählen zu diesen aktiven Schadstoffquellen, aus denen auf Grund fehlender Abdichtungen über den Grundwasserpfad Uran, Radionuklide und z. T. Arsen direkt in die Vorfluter gelangen. Aus diesem Grund wurde für den Freistaat Sachsen nach alternativen und kostengünstigen Behandlungskonzepten gesucht, die zu einer naturnahen und nachhaltigen Reduzierung des Schadstoffaustrages dieser Flächenquellen führen.

Die in-situ Tiefenverdichtung soll in einem modifizierten Verfahren als Möglichkeit der Quellbehandlung vorgestellt werden. Mit diesem Verfahren ist nach Modellrechnungen eine Reduzierung der Schadstofffracht im Abstrom der IAA Lengenfeld möglich. Die technisch und technologisch realisierbare Quellbehandlung über Tiefenverdichtung ausgewählter Bereiche eine Schadstoffquelle bildet damit, im Vergleich zur betriebskostenintensiven Abstrombehandlung, eine langzeitstabile betriebskostenfreie Alternative.

Durch das technologisch einfache Prinzip einer in-situ Tiefenverdichtung als Schadstoffquellbehandlung ist das Verfahren nicht auf eine Kategorie von Schadstoffflächenquellen beschränkt, sondern lässt sich auch für andere Altlasten einsetzen.

Keywords

in-situ Tiefenverdichtung, Altlasten, Quellbehandlung, Grundwasserpfad, Schadstoffreduzierung, Betriebskostenreduzierung

in situ deep soil compaction, contaminated sites, spring remediation, groundwater path, pollutant reduction, decrease of operating expenses

1 Problemstellung

Viele der umfangreichen Bergbahnhinterlassenschaften aus den Zeiten der Tätigkeit der ehemaligen SDAG Wismut unterliegen nur bedingt der Sanierungsverantwortung des direkten Rechtsnachfolgers, der Wismut GmbH. Aus diesem Grunde wurde in einem Forschungsverbund nach alternativen und kostengünstigen Behandlungskonzepten für den Freistaat Sachsen gesucht. Hierbei konzentrierten sich die Arbeiten auf die Entwicklung von geotechnischen in-situ Sanierungskonzepten, die zu einer naturnahen und nachhaltigen Reduzierung des Schadstoffgemisches im Grundwasser führen. Im Folgenden wird ein alternatives, technologisch einfaches und somit kostengünstiges Ver-

fahren der Quellbehandlung vorgestellt, das auf der in der Baugrundstabilisierung verwendeten in-situ Tiefenverdichtung basiert.

2 Mögliche Behandlungskonzepte

Bei der in-situ Sanierung von Altlastenstandorten lassen sich die Behandlungsverfahren prinzipiell nach den Ort der Behandlung in: A) Quellbehandlung und B) Abstrombehandlung unterteilen. Klassisch kommen bei der Quellbehandlung Isolationsverfahren wie z. B. Oberflächenabdichtungen, Schlitz- bzw. Spundwände, Horizontalbohr- in Kombination mit Injektionsverfahren zum Einsatz. Die Abstrombehandlung fokussiert hingegen immer auf die Entfernung, Immobilisierung oder Transformierung von Schadstoffen aus dem Grundwasser. Hierbei wird vermehrt auf Verfahren der natural attenuation (NA), monitored natural attenuation (MNA) und enhanced natural attenuation (ENA) gesetzt.

Trotz der fortschreitenden Entwicklung der technologischen Anwendung dieser Methoden der Abstrombehandlung sind sie zum Teil an spezifische Standortgegebenheiten gebunden bzw. sind, insbesondere ENA-Methoden, mit erheblichen Investitions- und vor allem Folgekosten verbunden. Die konventionellen Verfahren zur Quellbehandlung sind in ihren Investitionskosten oft wesentlich intensiver, haben jedoch den Vorteil geringer bzw. keiner Folgekosten.

Mit dem entwickelten alternativen Verfahren einer modifizierten in-situ Tiefenverdichtung scheint es möglich den wesentlichen Vorteil geringer Folgekosten mit dem von überschaubaren Investitionskosten zu verbinden und eine Reduzierung des Schadstoffaustrages sicherzustellen.

3 Standortsituation und Behandlungskonzept

Die IAA Lengenfeld wurde im Zeitraum 1947 bis 1961 für die Ablagerung der aus der überwiegend sodaalkalischen aber auch sauren Laugung der Uranerze stammenden Aufbereitungsrückstände durch die SDAG Wismut genutzt. Sie wurde in einem Seitental des Plohnbaches ohne Basisabdichtung eingerichtet. Es wurden ca. $8,9 \cdot 10^5 \text{ m}^3$ Uranerz-Tailings in das ca. 14 ha große Absetzbecken eingespült (SCHALL, 1995).

Nach Einstellung der Uranerzaufbereitung wurde die IAA durch den VEB Fluss- und Schwerspat Lengenfeld im Zeitraum von 1968 bis 1991 zur Ablagerung von ca. $7,8 \cdot 10^5 \text{ m}^3$ Fluss- und Schwerspat-Tailings nachgenutzt (C&E, 2000). Dadurch wurde das radioaktive Spülgut mit einer bis zu 10 m mächtigen Sandschicht überdeckt.

Der Standort Lengenfeld wird durch die Gesellschaft zur Verwahrung und Verwertung von stillgelegten Bergwerksbetrieben mbH (GVV) Lengenfeld, verwaltet und in Teilen saniert.

Die geohydraulische Situation am Standort ist durch eine NO-SW gerichtete Hauptgrundwasserströmung gekennzeichnet, die den gesättigten Spülkörper um- und durchströmt. Dabei fließt das Grundwasser sowohl durch die unterlagernde Verwitterungsschicht des Kirchberger Granitmassivs als auch durch den Spülkörper. Aus der gravitativ bedingten Korngrößenfraktionierung bei der Verspülung, vorwiegend aus westlicher Richtung, resultieren abnehmende hydraulische Durchlässigkeiten mit zunehmender Entfernung vom Einspülstrand. Die An- bzw. Durchströmung des Spülkörpers und der damit verbundene Austrag von Radionukliden, Arsen und Metallen erfolgt maßgeblich im Bereich der Sedimentation gröberer/schwerer Tailings am Westrand. Der aus dem Verlauf der Grundwasserisohypsen abgeleitete Abstrom in westlicher und südlicher Richtung bestätigt dies.

Durch den Schadstoffaustrag infolge der Durchströmung erfolgt ein flächenhafter Eintrag in die unterlagernde Verwitterungsschicht des Granits. In der Summe führt dies im Abstrom zu erhöhten Konzentrationen u. a. an Uran, Arsen, und Radium.

Bereits geringfügige Verringerungen der Permeabilität in den höher permeablen Bereichen des Spülkörpers (Spülstrand) führen zu deutlichen Reduzierungen der Schadstofffracht. Durch eine standortbezogene Konzipierung einer in-situ Tiefenverdichtung wird sowohl die laterale Durchströmung als auch der vertikale Austrag reduziert. Dabei kommt es, neben der Verringerung des Austrags aus dem behandelten Bereich, auch zu einer Barrierewirkung gegenüber der lateralen und vertikalen Durchströmung.

4 Standortuntersuchungen

Der Kenntnisstand zum Standort ist nicht nur für die direkte Sanierung von entscheidender Bedeutung, sondern auch bei der Entwicklung neuer Behandlungsansätze. Dies gilt besonders, wenn numerische Modelle dabei eingesetzt werden.

Zur Einschätzung des Potentials einer in-situ Tiefenverdichtung, zu einer signifikanten Verringerung der hydraulischen Permeabilität beizutragen, ist es erforderlich, die bodenmechanischen Eigenschaften (z. B. Korngrößenverteilung, Krümmungszahl, Ungleichförmigkeit, Lagerungs- bzw. Proctordichte, Wassergehalt, Durchlässigkeitsbeiwert) des zu verdichtenden Lockersedimentes zu kennen. So lassen sich anhand dieser Kennwerte vorab Aussagen zur generellen Anwendbarkeit des Tiefenverdichtungsverfahrens treffen. Aus diesem Grund wurden die bodenmechanischen Kennwerte der Uranerz-Tailings in Spülstrandnähe bestimmt.

Die Permeabilitätsverringerng ist in jedem Fall im Laborexperiment zu quantifizieren.

Für den Aufbau eines Standortmodells zur numerischen Simulation zur Grundwasserströmung und des Schadstofftransports sind umfangreiche Daten erforderlich. Tabelle 1 zeigt die z. T. während des Projektverlaufs durchgeführten Standortuntersuchungen und ihre Verwendung.

Tabelle 1: Standortuntersuchungen und Bestimmung

Standortuntersuchungen	Zweck/ Ziel
Bohrerkundung ⁽²⁾	Eingangsdaten zur Geometrie des Schichtenaufbaus
Auswertung der Topographie ⁽¹⁾	Eingangsdaten zur Geometrie der Oberfläche (Erstellung - DGM)
GW-Spiegelhöhenmonitoring ⁽³⁾	Anfangsspiegelhöhenverteilung im Modell, Kalibrierungsvorgabe, Festlegung von Randbedingungen
Pump-, Auffüllversuche, Slag-Tests, bodenmechanische Laboruntersuchungen ⁽²⁾ , etc.	Modellparametrisierung (k_f -Werte, Porositäten, Speicherkoeffizienten, etc.)
Auswertung meteorologischer, historischer Daten ⁽¹⁾ , Niederschlagsmessungen ⁽¹⁾ und Abflussmonitoring ⁽¹⁾	Wasserhaushalt, Verteilung der Grundwasserneubildung im Modell (Gebietsniederschlag, Evapotranspiration, Oberflächenabfluss, etc.)
OW-Spiegelhöhenmonitoring ⁽¹⁾ , Kartierung von Gewässertiefen ⁽¹⁾ , Kolmationsabschätzung ⁽¹⁾ , etc.	Belegung der Gewässerrandbedingung im Modell
Isotopengeochemische Traceruntersuchungen ⁽¹⁾	Charakterisierung der Standorthydraulik (Fließwege, Verweilzeiten, etc.)
⁽¹⁾ von IBeWa durchgeführt ⁽²⁾ zu einem gewissen Teil von IBeWa durchgeführt ⁽³⁾ nicht von IBeWa durchgeführt	

5 Laborexperiment und alternativer Behandlungsansatz

Um die Permeabilitätsverringering durch das geotechnische Verfahren der Tiefenverdichtung für den Altlastenstandort genauer zu quantifizieren, wurden drei Modellsedimente, welche das Korngrößenverteilungsspektrum des zu verdichtenden Uranerz-Tailings im Westteil des Spülkörpers repräsentieren, im Labormaßstab verdichtet. Probenpaare des unverdichteten und des verdichteten Modellsedimentes wurden anschlie-

ßend auf ihre hydraulische Durchlässigkeit hin untersucht. Die Abbildung 1 zeigt die Durchlässigkeitsbeiwerte in Abhängigkeit von der Trockenrohdichte

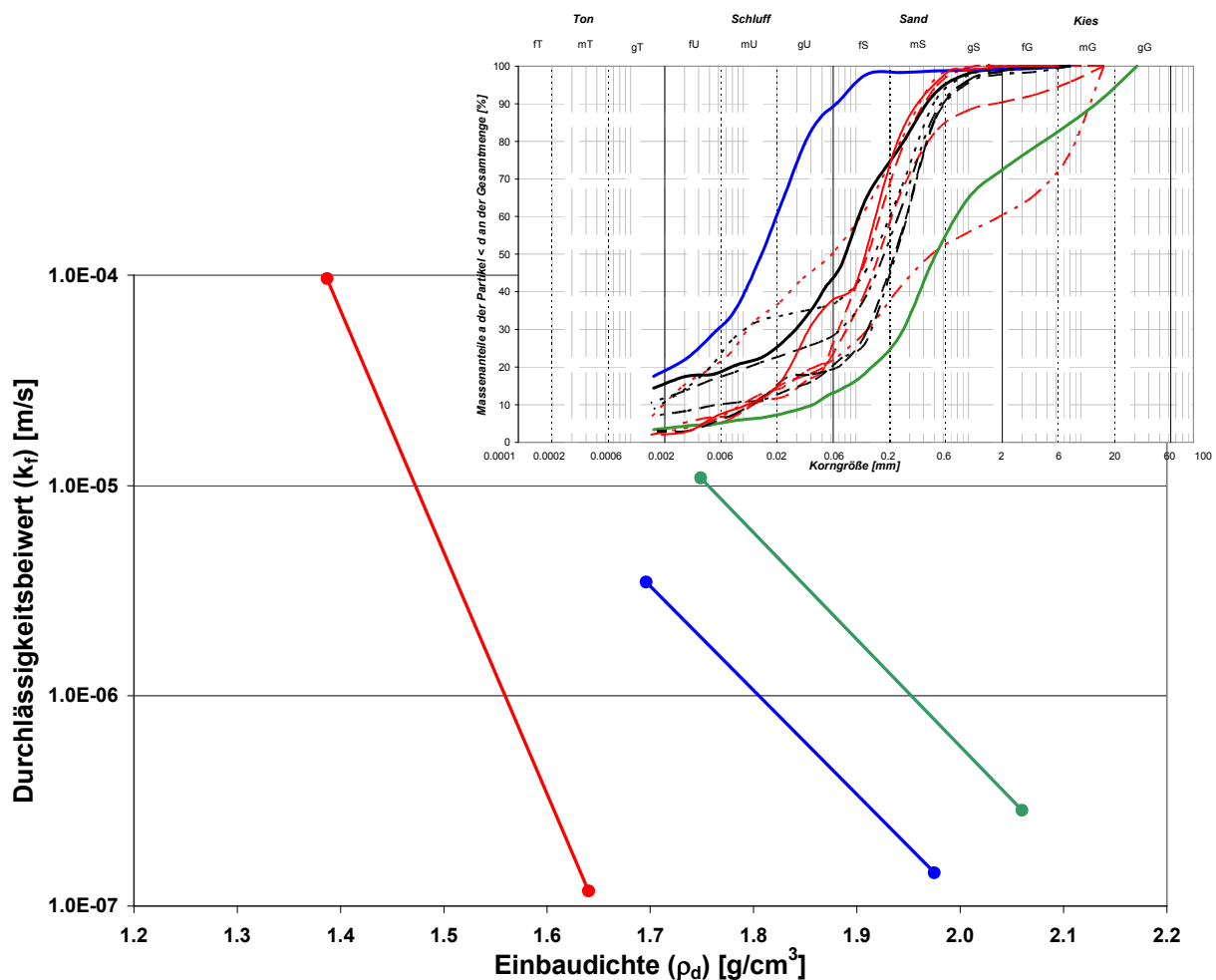


Abbildung 1: Verringerung des Durchlässigkeitsbeiwertes infolge von Verdichtungsarbeit im Laborexperiment für den Referenzstandort IAA (oberer Einschub: Korngrößenverteilung der Modellsedimente und der sandigen Uranerz-Tailings)

Je nach den bodenmechanischen Eigenschaften des jeweiligen Modellsedimentes ergeben sich k_f -Wert-Verringerungen im Mittel auf ein Zehntel bis ein Hundertstel der Ausgangspermeabilität als Ergebnis der mechanischen Bodenverdichtung.

Um zusätzlich zur mechanischen Bodenverdichtung die Verringerung der Gesamtpermeabilität im behandelten Bereich zu steigern, wurde konzeptionell eine modifizierte Rüttelstopfverdichtung als Verfahren der in-situ Tiefenverdichtung entwickelt. Im Gegensatz zur klassischen Rüttelstopfverdichtung wird bei dem modifizierten Verfahren über einen Schleusenrüttler anstelle grobkörnigen, stark durchlässigen Schüttguts ein quellfähiges Bentonitgemisch als Schüttgut eingebracht. Die Vorteile dieses Vorgehensweise sind die sehr geringe Eigenpermeabilität (10^{-6} bis 10^{-10} m/s), hohe Langzeitbeständigkeit, hohe Sorptionskapazität (z. B. gegenüber Radionuklide, Schwermetalle)

und die Sekundärverdichtung durch das Quellvermögen (Quelldruck im MPa-Bereich) des Füllmaterials.

Die Abbildung 2 stellt das Verfahren der modifizierten Rüttelstopfverdichtung schematisch dar. Hierbei ist der Einsatz von qualitativ niedrig bis sehr hochwertigen Bentonitwerkstoffen mit verzögertem Quellverhalten, wie sie im Sanierungsbergbau eingesetzt werden, denkbar.

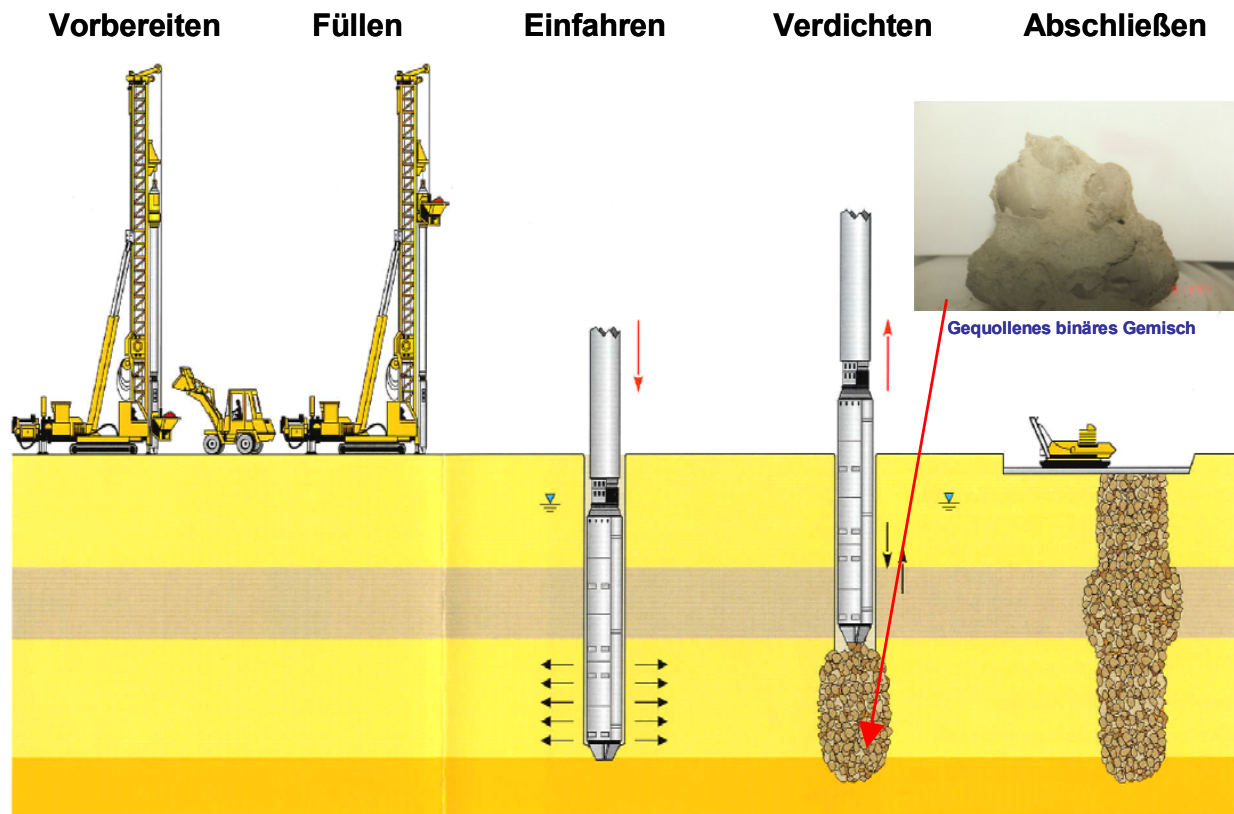


Abbildung 2: Prinzipskizze der Verfahrensdurchführung der modifizierten Rüttelstopfverdichtung (Abbildung nach KELLER GRUNDBAU, 2002)

6 Behandlungserfolg

Die standortbezogene Anwendung des Behandlungsansatzes setzt vorab eine Quantifizierung des Behandlungserfolges und dessen Betrachtung in Relation zum Behandlungsaufwand voraus. Beides erfordert großmaßstäbliche Technikumsversuche und schließlich den Praxistest im Feldeinsatz. Dies ist unumgänglich und letzteres stellt das härteste Prüfkriterium für das neue Sanierungskonzept dar.

Numerische Standortsimulationen können im Vorfeld der technischen Erprobung helfen, eine Prognose zum zu erwartenden Behandlungserfolg zu geben. Außerdem sind sie Hilfsmittel für die Beantwortung von Fragen zur Positionierung und Dimensionierung der Behandlungsmaßnahme und können somit wichtige Eckdaten für eine Abschätzung des

Behandlungsaufwandes liefern. Allerdings geschieht dies immer in Abhängigkeit des Kenntnisstandes der Standorthydraulik, d. h. der Datenlage am Standort.

Zu diesem Zweck wurde ein Prognosemodell des Standortes IAA Lengenfeld entwickelt. In Auswertung der in Abschnitt 3 dargestellten Datenbasis wurde ein geologisches Strukturmodell (Schichtenaufbau) des Standortes entwickelt (Abb. 3).

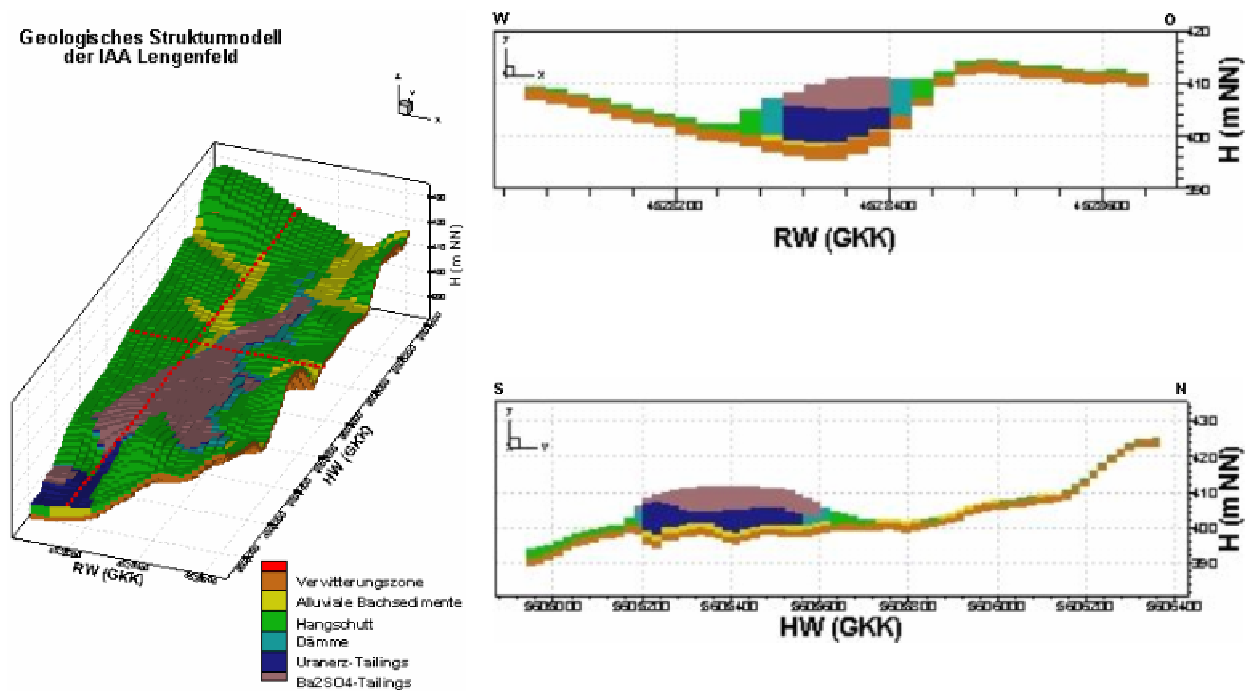


Abbildung 3: Geologisches Strukturmodell des Referenzstandortes (links: 3D-Ansicht, rechts: Profilschnitte)

Es folgte die Parametrisierung der Modellschichten mit geohydraulischen Daten sowie die Festlegung von Randbedingungen. Einer ersten Simulation der Standorthydraulik folgte die Kalibrierung der Modell- an den Messergebnissen. Zur Identifizierung und Quantifizierung des lateralen Anstroms der Uranerz-Tailings wurde ein Volumenstrom-Budget vorgeben und am kalibrierten Prognosemodell gerechnet (Abb. 4A). Für die Strömungs- und Stofftransportrechnungen wurde das Programmsystem MODCALIF (Boy et al., 2001) verwendet, welches die 3dimensionale Simulation von dichtebeeinflussten Strömungs- und Stofftransportprozessen in porösen Materialien ermöglicht.

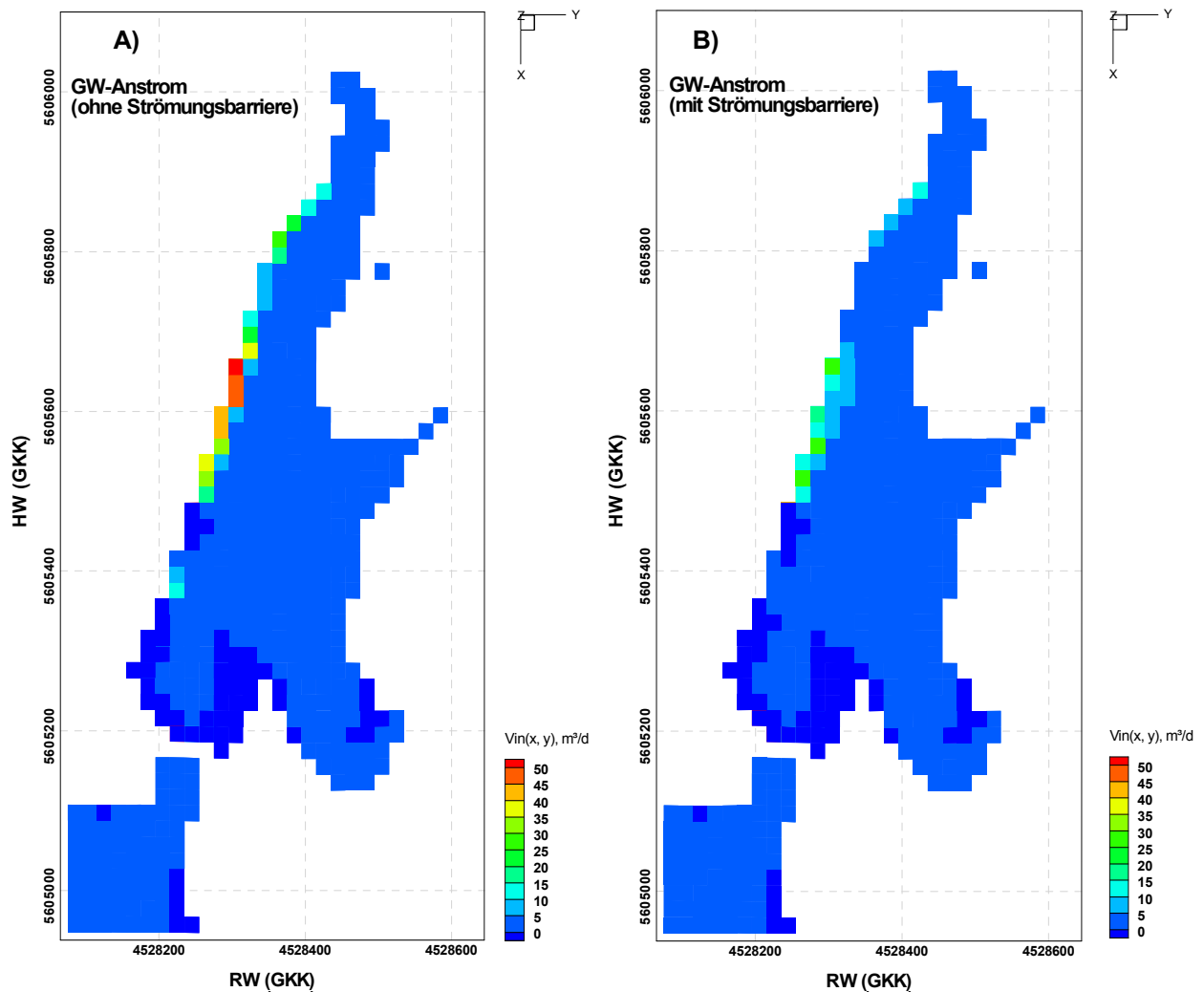


Abbildung 4: Volumenstrom-Budget des Uranerz-Spülkörpers (A: ohne Behandlungsmaßnahme, B: mit Behandlungsmaßnahme)

Da es bei der Stofftransportsimulation nur um eine Aussage zur Verringerung der integralen Stofffracht im Abstrom in Abhängigkeit der Behandlungsmaßnahme ankam, wurde der Transport einer Beispielkomponente (Chlorid) am kalibrierten Prognosemodell simuliert. Hierzu wurden die Uranerz-Tailings als Flächenquelle mit hohem Retardationsvermögen definiert. Zur Bilanzierung von Stofffrachten und Volumenströmen wurden Fracht-/Volumenstrom-Budgets eingerichtet.

Da standortbedingt der Großteil des lateralen Anstroms über den Westdamm in die Schadstoffquelle gelangt, wie in Abbildung 4A zu erkennen ist, wurde hier mit einer Abdichtung die Behandlung im Sinne einer in-situ Tiefenverdichtung simuliert. Die Darstellungen in Abbildung 5 zeigen die Positionierung und Dimensionierung der Abdichtung im Modell. Die resultierende Verringerung im Volumenstrom des westlichen Anstroms ist in Abbildung 4B graphisch dargestellt.

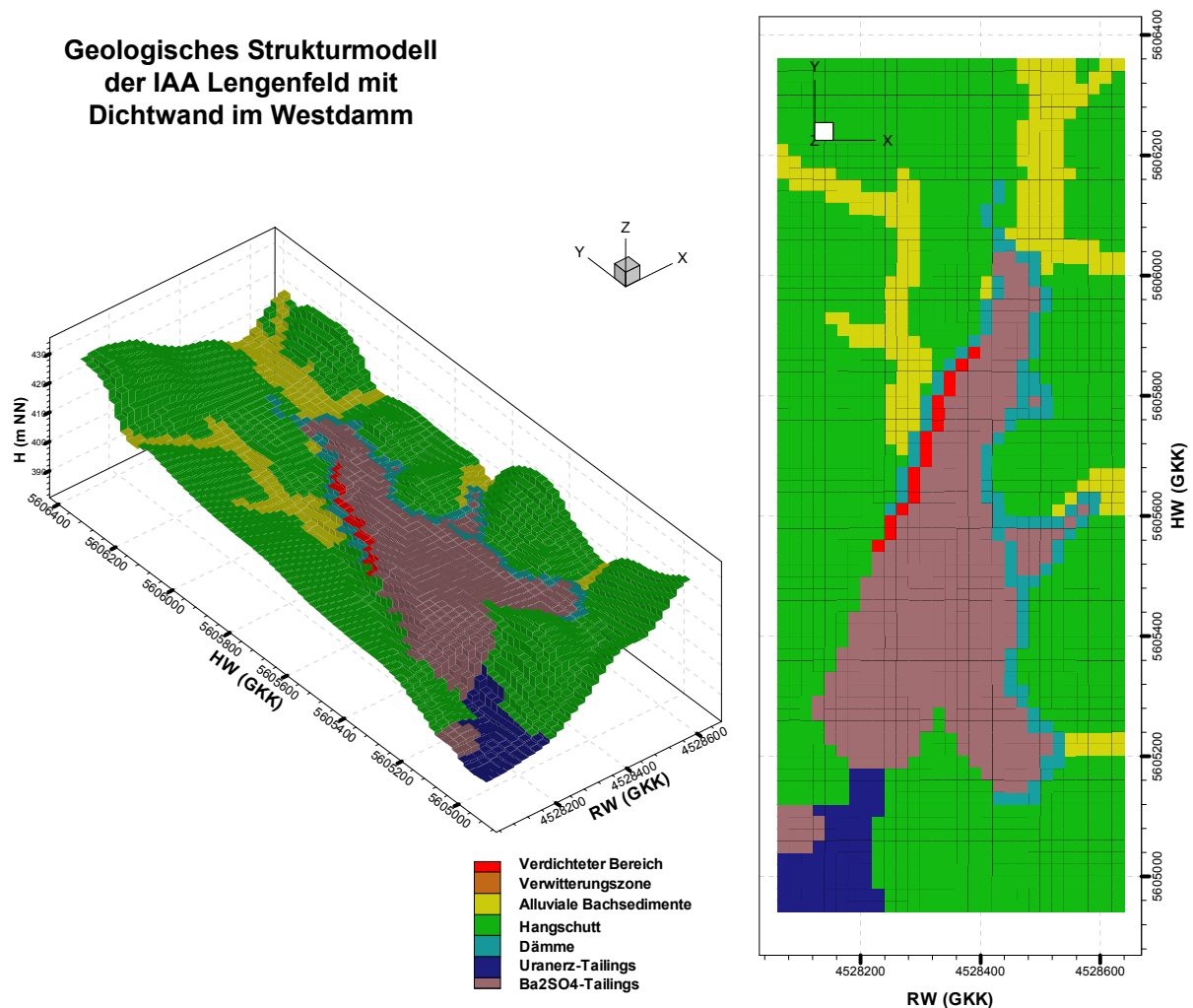


Abbildung 5: Prognosemodell IAA Lengenfeld (links: 3D-Ansicht des Modells mit behandeltem Bereich, rechts: x,y-Schnitt mit behandeltem Bereich)

Aus Variantenrechnungen bei gleich bleibender Positionierung und Dimensionierung der Abdichtung bei veränderter Permeabilität der Abdichtung in Anlehnung an die Ergebnisse der Laborexperimente (Abschnitt 5) ergaben sich mäßige Reduzierungen der Stofffracht im Abstrom. Bei einer vollständigen Behandlung der gutdurchlässigen Uranerz-Tailings mit dem Ziel der volumenhaften Permeabilitätsverringerung sind höhere Frachtreduzierungen erreichbar. Diese Ergebnisse sind eng an die im Modell simulierte Standorthydraulik gebunden.

Im Ergebnis der Arbeiten ist hervorzuheben, dass

- 1) ein erfolgreiches Bearbeitungskonzept sowohl zur Entwicklung, Positionierung und Dimensionierung alternativer Behandlungsmethoden als auch zur Prognose des erreichbaren Behandlungserfolges entwickelt wurde,
- 2) für den gewählten Referenzstandort der Behandlungserfolg bei der aktuellen Datenlage zur Standorthydraulik nachgewiesen werden konnte,

- 3) die in-situ Tiefenverdichtung ein hoch einzuschätzendes Potential zur signifikanten Schadstofffrachtverringering (Quellbehandlung) besitzt und auf andere Altlastenstandorte anwendbar ist.

7 Literatur

- | | | |
|--|------|---|
| C&E | 2000 | Zusammenfassung von Feld- und Laborarbeiten zur Standortanalyse UG 09 "Lengenfeld". unveröffentlichter Bericht, C&E Consulting & Engineering GmbH, Chemnitz |
| KELLER GRUNDBAU | 2002 | Die Tiefenrüttelverfahren. Firmenprospekt, 10 - 02D |
| SCHALL, I. | 1995 | Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen im Bereich der ehemaligen Uranerzaufbereitungsanlage Lengenfeld (Vogtland). unveröffentlichte Diplomarbeit, Rheinisch-Westfälische Technischen Hochschule Aachen, Aachen |
| BOY, S.; HÄFNER, F.; HOTH, N.; WILSNACK, TH. | 2001 | Simulation dichtebeeinflusster und reaktiver Stofftransportprozesse. Zeitschr. Grundwasser, Heft 1, Band 6, März 2001 |

Anschrift der Verfasser

Dr. rer. nat. Dipl.-Geol. Friedemann Grafe
IBeWa-Ingenieurpartnerschaft, Freiberg/Sachs.
Lessingstr. 46
D-09599 Freiberg
Telefon +49 3731 3005819
Email f.grafe@ibewa.de
Website: www.ibewa.de

Dr.-Ing. Thomas Wilsnack
IBeWa-Ingenieurpartnerschaft, Freiberg/Sachs.
Lessingstr. 46
D-09599 Freiberg
Telefon +49 3731 213973
Email th.wilsnack@ibewa.de
Website: www.ibewa.de