

GAB Altlastensymposium am 4. und 5. Juli 2018 in Würzburg

**In-situ Sanierungstechnologien für schwierige geologische
Untergründe**

Daniel Ruech¹, Stephan Hüttmann², Gordon Bures³

¹Sensatec GmbH NL Süd, Ulm

²Sensatec GmbH Hauptsitz, Kiel

³Sensatec GmbH NL Berlin, Berlin

Sensatec GmbH

Friedrichsorter Straße 32

24159 Kiel

+49 431 389 009 10

Sensatec GmbH NL Ulm

Im Lehrer Feld 30

89081 Ulm

+49 731 206 462 89

1. Einleitung

Die Sanierung von gering durchlässigen Sedimenten (hohe Schluff- und Tonanteile) sowie von Festgesteinen (Kluftgrundwasserleiter) stellt eine besondere Herausforderung für die in-Situ Technologie dar. Mit Methoden aus dem Bereich gut durchlässiger Lockersedimente lässt sich hier oft nur eine geringe Reichweite beispielsweise von Wirkstoffinjektionen erzielen. Eine Sanierung dauert in diesen Fällen aufgrund der langsamen Verteilung entsprechend lange, weist erhebliche Kosten aufgrund von sehr engen Eingaberastern (Bohrkosten) auf oder ist im schlechtesten Fall nur in Teilen erfolgreich.

Parallel nehmen aber eben solche schwierigen Standorte immer mehr zu und sind von Behördenseite als sanierungsbedürftig bzw. sanierungspflichtig eingestuft.

Zu berücksichtigen bei der Sanierung von Standorten mit gering durchlässigen Untergrund sind einerseits Methoden der Sanierungskonzeptionierung (dies beginnt teils schon bei der Auswahl geeigneter Erkundungstechniken), andererseits neue technologische Angebote in der Umsetzung.

Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen, soll ein Überblick über diese möglichen innovativen Methoden und Technologien der in-Situ Sanierung auf schwierigen Standorten gegeben bzw. Werkzeuge einer effizienten Herangehensweise an solche Herausforderungen vorgestellt werden. Ergänzt wird dieser Überblick durch Praxisbeispiele aus dem süddeutschen Raum.

2. Konzeptionierung und Methodik

Im Zuge der Sanierungskonzeption sind insbesondere zwei Bereiche für den späteren Sanierungserfolg ausschlaggebend, die Erkundung des Standortes sowie die Nutzung von state-of-the-art Methoden zur, wie z.B. im Falle einer Grundwassersanierung, Abschätzung der hydraulischen Standortcharakteristika/Fließ- und Strömungswege.

Dieser klassischer Weise durch die gutachterliche Betreuung eines Sanierungsbereiches abgedeckte Bereich wird in vielen (Groß-)Projekten umfassend abgedeckt, in anderen Fällen liegt aber immer noch der Ansatz „keine Erkundungsbohrung zu viel“ im Sinne einer (fälschlicherweise) strikten Kostenersparnis in dieser Phase vor. Um ein Projekt wirklich umfassend kosteneffizient abwickeln zu können, sind gute Grundlagen aus Sicht des Sanierers unbedingt notwendig und ein höherer finanzieller Input in dieser Projektphase beugt großen finanziellen Überraschungen in der Ausführungs- und Planungsphase (hier muss oft mit hohem Risiko bei nicht Vorliegen ausreichender Daten agiert werden) vor. Auch wenn festzuhalten ist, dass auch eine solche umsichtige und umfassende Erkundung nicht alle Eventualitäten der Sanierung berücksichtigen bzw. beantworten kann.

Die Erkundung von kontaminierten Standorten ist heutzutage jedoch nicht mehr unbedingt nur durch unzählige langwierige Einzelaufschlussbohrungen mit einer x-fachen Anzahl an Laboranalytik umsetzbar, verschiedene Technologien ermöglichen hier einerseits schnelles Arbeiten, andererseits in Verbindung mit vor-Ort Schadstoffbestimmung (Direct Sense) eine Information zum Schadstoffinventar bzw. zur Schadstoffausbreitung bzw. auch eine Abfrage der Standortcharakteristika (z. B. Information zur Durchlässigkeit). Diese Verfahren sind nachstehend kurz aufgelistet und beschrieben.

2.1 Sanierungskonzeptionierung - Erkundungsphase

Einsatz Hydraulic Profiling Tool (HPT-Sondierung):

Ermittlung von hydraulischen Kennwerten & Parametern direkt am Standort möglich, welche im nächsten Schritt Eingang in die Sanierungsplanung sowie auch in ein Standortmodell finden.

Einsatz Electrical Conductivity (EC-Sondierung):

Standortspezifische Informationen zum tatsächlichen Untergrundaufbau, Erarbeitung eines detaillierten geologischen Untergrundmodells möglich, Informationsgewinn zur Verteilung von bindigen bzw. nicht-bindigen Strukturen.

Einsatz Membrane Interface Probe (MIP), Laser Inducted Fluorescence (LIF), Optical Image Profiler (OIP):

Ermittlung der Schadstoffverteilung, detaillierte Abgrenzung inkl. Informationsgewinn zur potentiellen Schadstoffbelastung. Je nach Schadstoffart (z.B. MIP für leichtflüchtige Schadstoffe) sind dabei unterschiedliche Sonden-Typen zu wählen.

2.2 Sanierungskonzeptionierung - Methodenberücksichtigung

Die Nutzung von Grundwassermodellen und die Ausarbeitung von Schadstoffverteilungs- bzw. Transportmodellen ermöglicht eine effiziente Sanierungsplanung, insbesondere im Hinblick auf geeignete Infiltrations- oder Entnahmebrunnen (Wirkstoffverteilung) – unabhängig, ob vorhandenes Inventar genutzt werden soll oder Sanierungsinfrastruktur erst errichtet wird. Prognosen ermöglichen zusätzlich die Optimierung der in-Situ Sanierung. Diese klassischen Betätigungsfelder der gutachterlichen Überwachung sollten von den Sanierern entsprechend genutzt und in die eigenen Planung integriert werden.

Zusätzlich zu diesen Modellen kann (muss) eine permanente Überwachung wichtiger Parameter im Feld durch Sensorik o.ä. erfolgen um eine entsprechend umfassende Kontrolle über das Sanierungsvorhaben zu haben und laufend auf Änderungen im Milieu reagieren zu können.

3. Innovative Sanierungstechnologien – Innovation in der Ausführung

Neben den o.g. vorbereitenden Arbeiten ist bei der Sanierung von Standorten mit schwieriger Untergrundzusammensetzung besonders auf die Wahl der richtigen in-Situ Sanierungstechnologie acht zu geben. Nachstehend sollen einige Technologien vorgestellt werden, die sich für den Einsatz in einem solchen Umfeld bewährt haben.

3.1 Innovative Wirkstoffeinbringung – Sauerstoffanreicherung bei hydraulisch schwierigen Bedingungen

In Verbindung mit einer methodisch ausgereiften Sanierungsplanung ist oft auch eine spezielle Verfahrenstechnik für die bestmögliche Sanierung von schwierigen Standorten ausschlaggebend. Im Hinblick auf die aerobe Sanierung von bestimmten Schadstoffen, ist ein reines Einbringen von gasförmigem Sauerstoff in den Untergrund mittels Gaslanzen oftmals aufgrund von drohender Verblockung der ohnehin schon gering durchlässigen Sedimente problematisch. Um diesem Umstand zu begegnen ist die Nutzung spezieller Anreicherungstechnologien (Druckreaktoren mit feinperligem Gaseintrag) eine gute Lösung. Dies ermöglicht eine Einbringung von stark O₂ gesättigten Wässern in den Untergrund, die Gefahr der Blasenbildung besteht nicht.

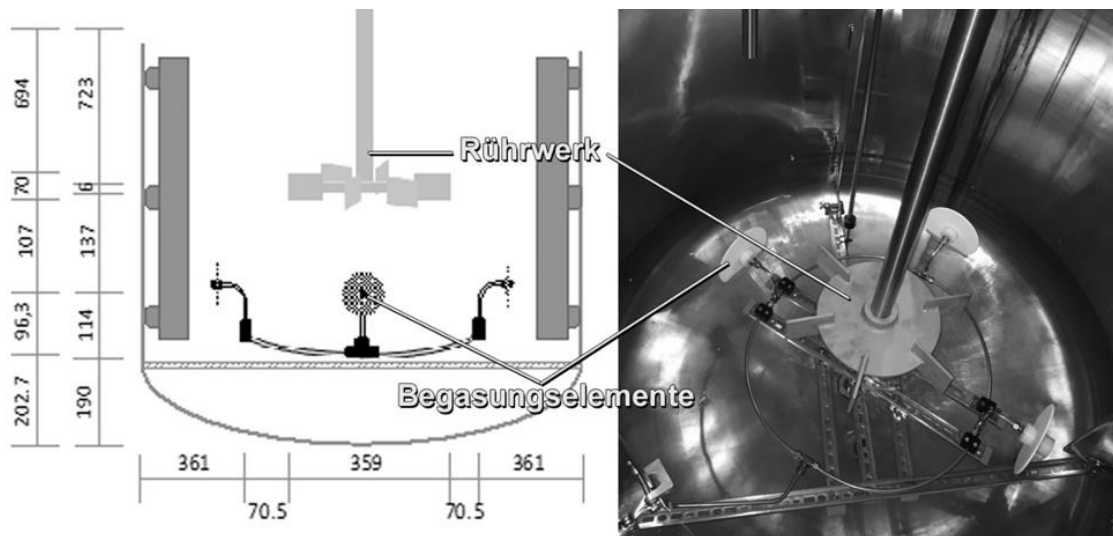


Abbildung 1: Schnitt durch das Rührwerk mit Darstellung des Begasungselementes zur O₂ Anreicherung des geförderten Grundwassers sowie fototechnische Aufnahme aus dem Inneren des Tanks.

So angereichertes Grundwasser kann dann im Sanierungsfeld injiziert werden und bei Nutzung von aktiven hydraulischen Zellen auch noch eine möglichst gute Verteilung erreicht werden (wenn die Hydraulik des Standortes das zulässt).

Der Verbrauch an O₂ kann dabei gleichzeitig als Indikator für die Abbauleistung im Untergrund genutzt werden. Insbesondere bei Nutzung von technischem Sauerstoff kann eine hocheffiziente Anreicherung des Förderwassers erreicht werden.

3.2 Dynamische Druckimpuls Technologie (DDI)

Schaffung neuer Fließwege im Untergrund durch impulsive Eingabe von Wirkstoffen und Reagenzien. Durch wiederkehrende Eingabe in Abwechslung mit Ruhephasen werden laufend neue Schwachstellen im Untergrund angeregt, an denen sich Wegsamkeiten für die eingebrachten Wirkstoffe bilden. Die Technologie ist kompakt und voll mobil und ermöglicht die Erweiterung des ROI (Radius of Influence) um Injektionsstellen herum deutlich.

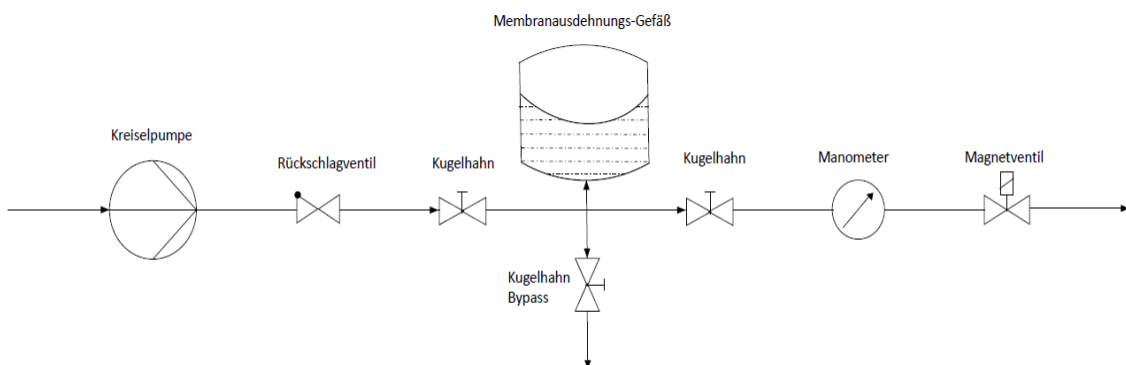
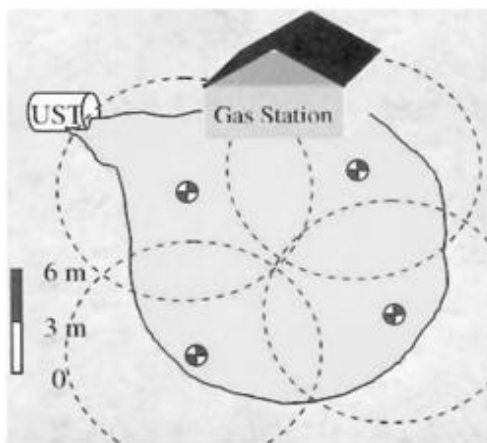
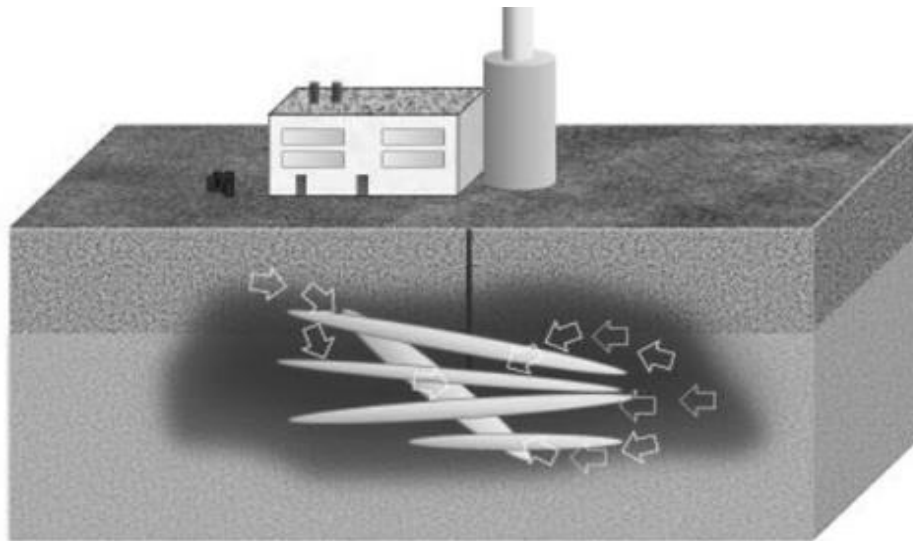


Abbildung 2: Fließbilddarstellung der Dynamischen Druck Infiltrationstechnologie

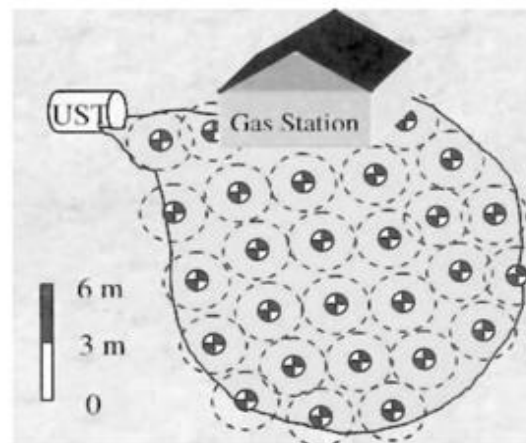
2.3 Feststoffinjektion – Targeted Solids Emplacement (TSE ®)

Das TSE ® Verfahren beruht auf der zielgerichteten Injektion einer hochviskosen Wirkstoff suspension mittels hydraulischem Druck direkt über ein Bohrgestänge in den schadstoffbehafteten Untergrund. Als Injektionssuspension sind Oxidationsmittel, Biosubstrate oder Stützmittel einsetzbar, es können somit verschiedene in-Situ Verfahren (chemisch, biologisch, Kombinationen daraus) mittels dieser Technologie umgesetzt werden.

Durch die Hochdruckinjektion wird ein Netzwerk von feinen Schichten in einem großen Wirkradius um den Injektionspunkt herum erzeugt. Innerhalb dieser Schichten erfolgt dann die Ausbreitung der Wirkstoffe, welche somit direkten Kontakt zu den Kontaminanten haben. Durch Adsorptionseffekte kommt es zusätzlich zu einer Migration zwischen den einzelnen Schichten, dies führt zu einer sehr umfassenden Versorgung des Untergrundes mit Wirkstoff.



**TSE hydraulisch injizierte
Eingaben**



Direct Push Injektionen

Abbildung 3: Schematische Darstellung des TSE © Wirkprinzips (oben) und der erhöhten Reichweite im Untergrund im Vergleich zu anderen Injektionsverfahren (hier am Beispiel DP, unten)

4. Praxisbeispiele zu innovativen Sanierungstechnologien in Süddeutschland

4.1 Kluftgrundwasserleitersanierung bei Stuttgart

Bei der Durchführung dieses Projektes wurden einerseits innovative Methoden bei der Konzeptionierung (Modellbetrachtung), andererseits eine spezielle Verfahrenstechnik zur optimalen Sauerstoffbeaufschlagung des Grundwasserleiters angewandt. Hierbei gelang es, den aerob-produktiven TCE-Abbau gezielt in-situ zu stimulieren und den biologischen TCE-Abbau mit geeigneten Monitoring-Methoden sichtbar zu machen.

Zur Anreicherung mit Sauerstoff wurde das aus max. 25m Tiefe geförderte Grundwasser in einen Edelstahl-Druckbehälter geleitet und über ein spezielles Gasinjektionssystem feinst blasig technischer Sauerstoff zugeführt. Nach Erreichen des Sauerstoff-Zielniveaus wurde das angereicherte Wasser durch ein Rohrsystem geleitet, in welchem mögliche

Schwebstoffe absedimentieren und verbleibende Luftblasen vom Wasser getrennt werden. Über ein künstliches Gefälle wurde das Sauerstoff-angereicherte Wasser in einen Reinfiltrations-Brunnen geleitet. Entnahme- und Reinfiltrations-Brunnen sind identisch ausgebaut, so dass sich ein geschlossener Kreislauf (Zirkulationszelle) mit einem kontrollierten Wirkraum ausbildet. Das Grundwasser wurde mit den darin enthaltenen, schadstoffabbauenden Mikroorganismen und dem Restsauerstoff im Kreislauf geführt, um keine abbauaktive Biomasse über Kluffstrukturen mit hoher Strömungsgeschwindigkeit aus dem In-situ-Reaktionskörper zu verlieren.

Die Wirksamkeit der Sauerstoff-Einbringung zur Aerobisierung des Testfeldes und die Stimulation des aeroben TCE-Abbaus wurden anhand von Analysen aus mehreren Monitoring-Pegeln innerhalb des Testfeldes mittels verschiedener geochemischer Monitoring-Techniken nachgewiesen.



Abbildung 4: Anlagencontainer mit Sauerstoffversorgung auf dem Pilotstandort

Die Umsetzung des Pilotversuchs erfolgte unter enger Zusammenarbeit mit dem TZW Karlsruhe, Fr. Dr. Schmidt sowie dem begleitenden Gutachterbüro BGU, Hr. Dr. Hansel.

4.2 Feststoffinjektion Projektstandort Franken (TSE ® Verfahren)

Ein weiteres Praxisbeispiel zeigt die Herangehensweise bei einer LCKW bzw. BTEX Kontamination im Bereich eines Kluffgrundwasserleiters in Franken. Der Standort wurde seit den 1920er Jahren als Produktions- und Handelsstandort anschließend als Tanklager genutzt. Heute besteht eine Nachnutzung durch einen internationalen Konzern.

Die Kontamination selbst ist seit 1998 bekannt, nach umfangreichen Sanierungsmaßnahmen der ungesättigten Bodenzone (Bodenluftabsaugung und Aushub des Schadenszentrums) war die Sanierung des Grundwassers der nächste durchzuführende Schritt.

Aufgrund der schwierigen Bedingungen wurde hier ein Pilotversuch unter Nutzung der TSE ® Technologie in Kombination mit einer in-Situ chemischen Oxidation (ISCO) durchgeführt.

Betroffen waren 2 Grundwasserstockwerke (Schicht- bzw. Stauwasserhorizont sowie ein rund 4 m mächtiger Grundwasserleiter innerhalb des Keupers bzw. des Blasensandsteins). Ein noch tiefer liegendes drittes Grundwasserstockwerk wurde in der Pilotphase nicht betrachtet.

Das durchgeführte TSE ® -Programm bestand aus jeweils 5 Hochdruckinjektionen pro Bohrloch in unterschiedlichen Tiefen (d.h. 15 Stück insgesamt), um die vorgesehene Menge des Oxidationsmittels, in diesem Fall 1.350 kg Kaliumpersulfat, in einer Suspension in den Blasensandstein einzubringen.

Im Zuge des Pilotversuchs konnte eine deutliche Abnahme der Schadstoffe festgehalten werden. Die Daten dienen nun der weiteren Sanierungsplanung.

Die Nutzung neuer bzw. innovativer Sanierungstechnologien sowie die Berücksichtigung innovativer Methodik bei der Betrachtung von Altlastensanierungen macht die in-Situ Technik somit auch fit für den Einsatz im Bereich schwieriger Standorte.

Quellen:

Held T. (2014): In-Situ-Verfahren zur Boden- und Grundwassersanierung, Verfahren, Planung und Sanierungskontrolle, Darmstadt

Schmidt K., Hüttmann S. et al (2017): Abschlussbericht ZIM B109, Karlsruhe/Kiel