

Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ? Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung

Hans-Peter Koschitzky

VEGAS, Versuchseinrichtung zur Grundwasser-
und Altlastensanierung, Universität Stuttgart
ITVA Fachausschuss H1: *Technologien und Verfahren*
Arbeitskreis *Innovative In-situ-Sanierungsverfahren*



GAB – Altlastensymposium 2010
30. Juni – 01. Juli 2010, Ingolstadt



Weshalb und für wen eine ITVA Arbeitshilfe ?

- Identifikation Erfolg versprechender und bereits erfolgreich angewandter innovativer In-situ-Sanierungsverfahren
- Analyse und Bewertung ihrer Einsatzmöglichkeiten
- Darstellung in Form von systematischen Datenblättern
- Verfahren mit mindestens einer dokumentierten Pilotanwendung
- Arbeitshilfe = unabhängige und wertfreie Darstellung der Verfahren
- Anwendung und Akzeptanz der Verfahren verbessern
- Auswahl eines geeigneten In-situ-Sanierungsverfahrens erleichtern

Zielgruppe: Fachleute und Sachverständige aus dem Umweltbereich, Behördenvertreter sowie Sanierungspflichtige

Aufzeigen / Hilfestellung:

Was können innovative In-situ-Sanierungsverfahren leisten

© VEGAS



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt

2

Was ist innovativ ?

Ein **innovatives Sanierungsverfahren** ist ein Verfahren, das einen Entwicklungsstand erreicht hat, der seine **praktische Eignung** im Sinne einer **umweltverträglichen, effizienten Anwendung** gesichert erscheinen lässt, aber das **noch nicht** dem Stand der Technik und/oder den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht

- **Innovativ kann auch eine Kombination mehrerer Verfahren sein**
- **Innovative Verfahren sollten zum Stand der Technik bzw. zu allgemein anerkannten Regeln geführt werden**

**Sanierungsverfahren die
Schadstoffe biologisch, chemisch oder physikalisch aus dem Boden
oder Grundwasser entfernen, in unschädliche Stoffe umwandeln oder
ggf. deren Ausbreitung langfristig verhindern**

© VEGAS



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt

3

Wie und was ? - Aufbau und Gliederung der Arbeitshilfe

1. **Veranlassung und Zielsetzung**
 2. **Einführung**
 3. **Begriffe und Definitionen**
 4. **Rechtliche Rahmenbedingungen**
 5. **Anwendungsvoraussetzungen**
 6. **Beurteilungskriterien**
 7. **Physikalische Verfahren**
(für die ungesättigte Bodenzone und die gesättigte Bodenzone)
 8. **Biologische Verfahren**
 9. **Chemische Verfahren**
 10. **Durchströmte Reinigungswände (PRB)**
 11. **Fazit und Ausblick (Empfehlungen)**
 12. **Literatur**
 13. **Glossar**
- Anhang:** Zusammenfassung der Verfahrensbewertungen
Verzeichnis relevanter Rechtsnormen und Regelwerke
Arbeitsschutz bei Arbeiten in kontaminierten Bereichen

© VEGAS



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt

4

Welche Verfahren ? - Verfahrenssystemantik

- Physikalische Verfahren
- Chemische Verfahren
- Biologische / Mikrobiologische Verfahren
- Durchströmte Reinigungswände (PRB)

© VEGAS



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt

5

Physikalische Verfahren

- Physikalische Vorgänge führen zu einer Änderung der Lage und der äußeren Form eines Stoffes
- Änderung des Aggregatzustandes (flüssig – gasförmig)
- Mobilisierung oder die Solubilisierung (in Lösung gehen von Stoffen)
- Physikalische Verfahren für die **ungesättigte Bodenzone**
Thermisch unterstützten Boden-Luft-Absaugung TUBA (Dampf-Luft-Injektion), Feste Wärmequellen (THERIS), Multi-Phase- & Dual Phase Extraction und Elektrokinetik
- Physikalische Verfahren für die **gesättigte Bodenzone**
Airsparging, Dampf-Luft-Injektion (DLI) insbesondere zur Sanierung von CKW-Schadstoffquellen, Alkoholspülung (Alkohol-Cocktail), Tensidspülung

© VEGAS



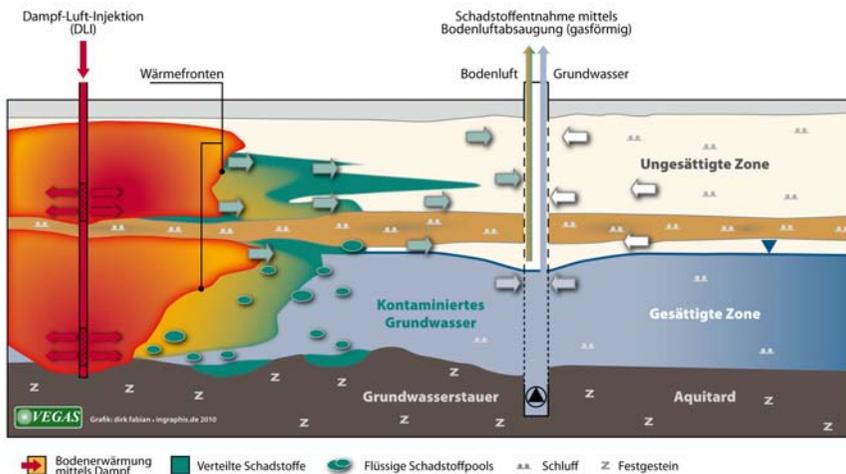
Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt

6

Physikalische Verfahren



Thermische Verfahren für die ungesättigte und gesättigte Bodenzone

© VEGAS



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt

7

Biologische Verfahren

- Schadstoffe werden durch die Mikroorganismen im Grundwasser direkt abgebaut
- Keine Extraktion (Förderung) von Schadstoffen mit anschließender On-site-Reinigung (Wasseraufbereitung etc.)
- Zugabe (Injektion) von Nährstoffe oder speziellen Mikroorganismen
- Aerobe und anaerobe Verfahren
- Stimulierung des Abbaus nicht chlorierter Kohlenwasserstoffe: Biosparging, Wasserstoffperoxid (H₂O₂)-Zugabe, ORC®, iSOC™, Oxywall (aerober Abbau), Nitratzugabe zum anaeroben Abbau
- Stimulierung des Abbaus chlorierter Kohlenwasserstoffe (CKW): Zugabe von Melasse, organischen Säuren, Alkohole und HRC® für den anaeroben LCKW-Abbau, (reduktive Dechlorierung), Methan-Biostimulation (aerober LCKW-Abbau)

© VEGAS



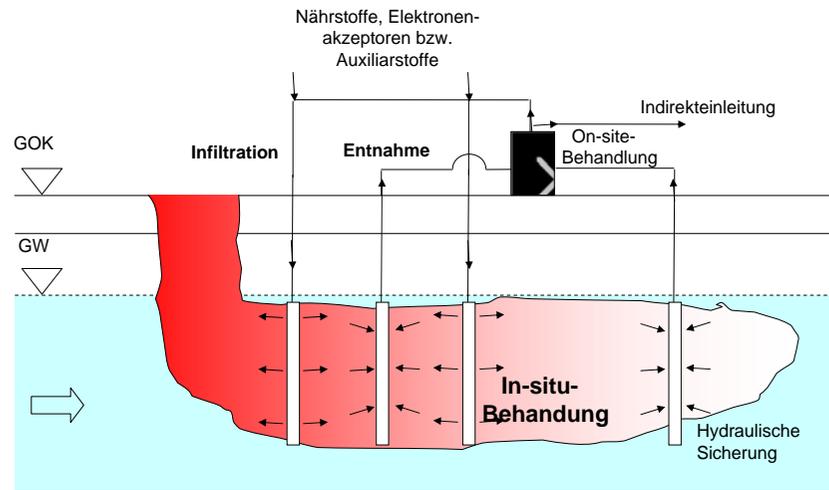
Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt

8

Biologische Verfahren



Kombination aus hydraulischer Förderung mit physikalischer On-site-Wasserreinigung und biologischem In-situ-Sanierungsverfahren

© VEGAS



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt

9

Chemische Verfahren

- Schadstoffe werden durch Zugabe eines chemischen Oxidationsmittels durch „kalten Verbrennung“ abiotisch zerstört
- Ziel ist die vollständige Umsetzung zu umweltneutralen Stoffen
- Oxidations-Reaktion erfolgt im Grundwasserleiter sehr schnell, sobald/sofern wirksamer Kontakt Oxidationsmittel und organischer Schadstoff hergestellt
- In-situ-chemische-Oxidation – ISCO
technische Machbarkeit und Realisierbarkeit unterscheidet sich je nach Oxidationsmittel: Kalium-/Natriumpermanganat, Fentons Reagenz, Persulfat und Ozon
- In-situ-chemische-Reduktion - ISCR
Metallisches Eisen als wirksames Reduktionsmittel, In-situ-Einsatz über Nano- und Mikroisen-Injektion, ISCR von Chrom VI

© VEGAS



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt

10

Chemische Verfahren

ISCO-Verfahren	Schadstoff		Boden-/Prozessparameter	
	geeignet	ungeeignet	Günstig	ungünstig
Fentons Reagenz	CKW BTEX niedermolekulare PAK Kurzketttige Aliphaten Freie Cyanide	PCB hoher molekulare) PAK Langkettige Aliphaten Cyanid-Komplexe	2 < pH < 6 Org. Subst. gering Permeabilität hoch Heterogenität gering	pH > 6 Org. Subst. hoch Permeabilität gering Heterogenität hoch
Ozon	CKW (Halogen- Alkene) BTEX niedermolekulare PAK	Halogen- Alkane PCB hoher molekulare PAK	pH niedrig Bodenfeuchtigkeit gering Permeabilität hoch Heterogenität gering	pH hoch Bodenfeuchtigkeit hoch Permeabilität gering Heterogenität hoch
Permanganat	CKW (Halogen- Alkene) Toluol, Xylol Ethylbenzol,	Halogen- Alkane Benzol MKW PAK, PCB, Cyanide	Permeabilität hoch Heterogenität gering Permeabilität hoch Heterogenität gering	Permeabilität gering Permeabilität Gering Heterogenität hoch
Persulfat (nicht aktiviert)	CKW (Halogenalkene) Toluol, Xylol Ethylbenzol, kurzketttige MKW	Halogen- Alkane Benzol langkettige MKW PCB	Permeabilität hoch Heterogenität gering	Permeabilität gering Heterogenität hoch
Persulfat (aktiviert)	CKW (Halogenalkene u. -alkene) BTEX kurzketttige MKW niedermolekulare PAK	Halogen- Alkane PCB langkettige MKW hoher molekulare PAK	Permeabilität hoch Heterogenität gering	Permeabilität gering Heterogenität hoch



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt

11

Durchströmte Reinigungswände (PRB)

- Schaffung definierter reaktiver Zonen (Reaktor) im Untergrund zur In-situ-Dekontamination des durchströmenden Grundwassers
- Passives Verfahren, natürlicher „Grundwasserfluss“ durchströmt Reaktor
- Alternative zu aktiven hydraulischen Sicherungsmaßnahmen (P&T)
- Langzeitsicherung bei Schadstoffquellen, bei denen eine Dekontamination innerhalb eines überschaubaren Zeitrahmens nicht möglich ist
- Prinzipiell auch zur Sanierung von „abgerissenen“ Fahnen oder als Vorsorge-Maßnahme zum Schutz von sensiblen Grundwassernutzungen

Erfahrungen aus / Bezug zu RUBIN, Details RUBIN-Handbuch

© VEGAS



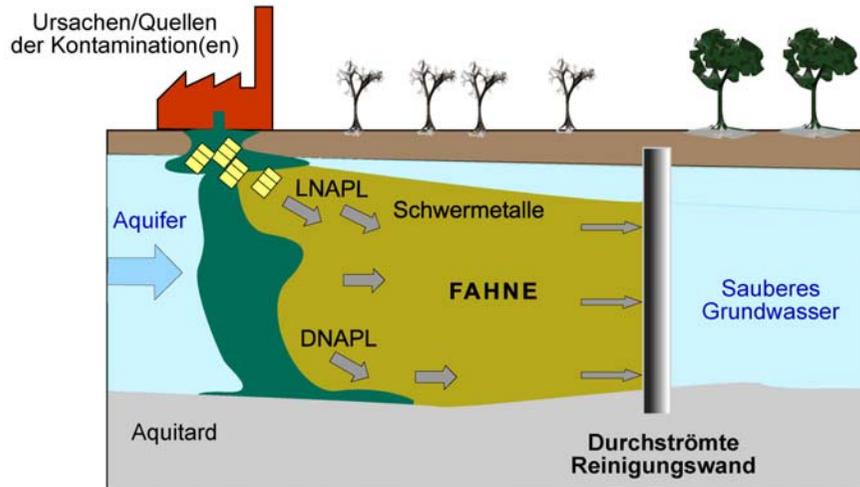
Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt

12

Durchströmte Reinigungswände



Prinzip Permeable Reaktive Wand (PRB) (aus RUBIN-Handbuch)

© VEGAS



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt

13

Auskunft und Hilfestellung - Verfahrensblätter der Arbeitshilfe

Verfahrensname	
Prinzip	(ggf. Bild, Skizze o.ä.)
<i>Beschreibung der wirksamen Prozesse</i>	
Aufbau und Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Verbale technische Beschreibung des Verfahrens und</i> - <i>ggf. Verfahrensschema mit vollständiger Quellenangabe</i> - <i>Verfahrenskomponenten, besondere Verfahrenscharakteristik</i> - <i>Begleitende, erforderliche Komponenten wie Grundwassersicherung, BLA, etc.</i>
Verfahrensspezifischen Planungsgrundlagen	<i>Untersuchungsergebnisse (z.B. Erkundung, Voruntersuchungen), die über die im Kap. 5 genannten (OU, DU, etc.) zwingend erforderlich sind</i>

© VEGAS



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt

14

Verfahrensblatt der Arbeitshilfe (2)

Anwendungsbereich

- *Quelle oder Fahne*
- *Bodenzone (ungesättigte Bodenzone, GW-Schwankungsbereich, gesättigte Bodenzone)*
- *Geologie und Hydrogeologie des Standortes*
- *Geochemische und hydrochemische Standortbedingungen*
- *Art und Umfang der Kontamination - Schadstoffe (gut, bedingt, ungeeignet)*
- *Art des Aquifers Poren-GWL, Kluftaquifer*
- ...

Anwendungsgrenzen

Grenzen mit Bezug auf den Anwendungsbereich, Einschränkungen des Anwendungsbereichs z.B. Leichtphasen, Schwerphasen, Einzelsubstanzen aus Stoffgruppe des Anwendungsbereichs, K_f -Werte, Grundwasserchemismus, Schluffschichten, starke Inhomogenitäten, etc.

© VEGAS



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt

15

Verfahrensblatt der Arbeitshilfe (3)

Besonderheiten, Hinweise, Risiken

- *Unkontrollierte Schadstoffmobilisierung*
- *Explosionsfähige Gemische*
- *Methabolitenbildung*
- *Besonderer Arbeitsschutz*
- etc.

Entwicklungsstand

- *Pilotphase, Entwicklungsphase*
- *Stand der Technik etc. in Deutschland / Europa (?) / USA (??)*

Rechtliche Hinweise

Besonderheiten die über Kap. 4 hinaus gehen

Hinweis: Die Genehmigungsvoraussetzungen und die Art der erforderlichen Genehmigungen sind im Einzelfall mit den zuständigen Behörden abzustimmen.

© VEGAS



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt

16

Verfahrensblatt der Arbeitshilfe (4)

Referenzprojekte / zuständige Behörde

- Konkrete Referenzbeispiele (Namen, Schadstoff, Ort)
- (Sanierungspflichtiger) und zuständige Behörde

Bei genannter Behörde kann im Bedarfsfall nachgefragt werden

Ausgewählte Literatur

- bis max. 5 aktuelle Stellen der letzten 3 Jahre
- konkrete, vollständige Literaturzitate, nicht nur Hinweis auf Internet
- Gesamt-Literaturverzeichnis am Ende der Arbeitshilfe
- keine Firmenwerbung

Bewertung durch den Arbeitskreis

Aspekte u.a. Wirtschaftlichkeit, Genehmigungsfähigkeit, Sanierungsdauer, Risiken, Entwicklungsstand



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt 17

© VEGAS

Beispiel Verfahrensblatt (DLI)

ITVA Innovative In-situ-Sanierungsverfahren

Innovative In-situ-Sanierungsverfahren ITVA

7.2.2 Dampf-Luft-Injektion in der gesättigten Bodenzone (DLI)

Dampf-Luft-Injektion in der gesättigten Bodenzone (DLI)

Prinzip
Bei der Injektion des Wasserdampf-Luft-Gemisches in die gesättigte Bodenzone breitet sich - in Abhängigkeit von der injizierten Dampfleistung und der Durchlässigkeit - ein geschlossener Dampfhaum (in idealer Radialsymmetrie) mit Radius zwischen 1 - 5 m um die Injektionsstelle aus. Durch die Abgabe seiner Verdampfungswärme wird der zu sanierende Bereich erwärmt. Im dampferfüllten Bereich werden die flüchtigen, sowie bis mittelboigigen organischen Schadstoffe verdunstet und in die Gasphase überführt. Die mit dem Dampf injizierte Luft strömt als inertes Trägergas von der Injektionsstelle bis zum Dampfhaum, damit die flüchtigen Schadstoffe auf und transportiert werden aus dem Grundwasserleiter (Aquifer) nach oben in die ungesättigte Bodenzone, ähnlich dem Air-Sparging, jedoch mit erheblich größerer Belastung. Die gasseitige Entfernung der Schadstoffe erfolgt über eine Bodenluftabsaugung.

Aufbau und Beschreibung
Anlagentechnik ist neben einem Dampfzueger und einem Kompressor zur Erzeugung und Injektion des Dampf-Luft-Gemisches eine Anlage zur Bodenluftabsaugung erforderlich. Mit der Bodenluftabsaugung (BLA) werden die Kontaminanten aus der ungesättigten Zone abgezogen. Die BLA beinhaltet einen Wärmehauser mit Kondensatabscheider, einen Verdichter sowie die Abluftbehandlung (zum Beispiel Luftkühlvorrichtung, thermische Nachverbrennung (TNV), katalytische Verbrennung (KATV)). Einflüchtiges Kühlwasser kann über die hydraulische Sickerung im Aquifer zur Rückwechsellösung des Bodensandes mit Wasserinjektion aufbereitet werden. Eine entsprechende Wasserabsaugung wird zur Behandlung des anfallenden wässrigen Kondensats aus der heißen Bodenluft eingesetzt. Dem Kondensatabscheider sollte ein Phasentrenner zur Trennung der wässrigen und in der Regel anfallenden organischen Flüssigkeit nachgeschaltet werden. Die getrennte organische bzw. wässrige Phase ist gesondert zu behandeln bzw. zu entsorgen. Der Betrieb einer Grundwasserabsaugung sichert die Entnahme der verdunstungswegigen Schadstoffe und schützt vor einer abströmigen Verfrachtung.

Verfahrensspezifische Planungsgrundlagen
Informationen zur Infrastruktur am Standort (Wasser-, Strom-, Gas-, Abwasseranschluss), zur Gründung von Gebäuden, Leitungen und Kanälen im Untergrund und zu temperaturprophatischen Belastungen, Informationen zur vertikalen Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit im Aquifer zur Rückwechsellösung (Pumpversuche, Fließwegmessungen), Grabenversuche für UZ-empfehlungen.

Anwendungsbereich

- Schadstoffverlei in der gesättigten Bodenzone
- Lokale, begrenzte Feinabdichtung bis Schicht mit hydr. Durchlässigkeit 5×10^{-10} bis 1×10^{-12} m/s
- organische Schadstoffe (LNAPL und DNAPL, leicht- und mittelschwer bis Siedepunkt bis 180°C)
- Sanierung unter Gebäuden bei Erhalt der Gebäudenutzung während der Sanierung

Dampf-Luft-Injektion in der gesättigten Bodenzone (DLI)

Anwendungsgrenzen

- Auf Grund der Phasentransportvorgänge kann bei anstreichenden Schichtungen und Durchlässigkeiten im Bereich zwischen 1×10^{-5} bis 1×10^{-10} m/s durch ein etwaiges Restwasser von 2 - 5 m Radius bei einer Injektionsrate von 150 kg Sättigung (1 m Filterströmung) ausgegangen werden.
- Bei BTU-Kontaminanten sollte die Injektion zusätzlich in die ungesättigte Zone und insbesondere in den Grundwasserleiterschichtbereich erfolgen.

Besonderheiten, Hinweise, Risiken

- Keine Fließgeschwindigkeiten von Schadstoffen (DNAPL und LNAPL).
- Kontrolle der Sanierung über Temperaturmessungen im Sanierungsgebiet online für effektive Steuerung der Sanierung und Nachweis der Dampfplatzbildung und der Sanierungserfolge.
- Hydraulisch schlecht durchlässige Schichten, wie zum Beispiel Schluff- oder Tonen, können bis zu mehreren m Mächtigkeit, können thermisch mittels konduktiver Aufheizung saniert werden.
- Platzanforderung zur Rückwechsellösung wird empfohlen.
- Geringe Sanierungsdauern bei vollständiger Reinigung der über die Gemischtemperatur der entsprechenden Schadstoffe hinaus erwärmten Bereiche.
- Da sich der Dampf in der gesättigten Zone horizontal und vertikal nach oben im Aquifer ausbreitet, können die gesättigte und die ungesättigte Zone simultan gereinigt werden.
- Bei Zweiseitigkeit, zum Beispiel Schluff- oder Tonen, strömt der Dampf unterhalb der hydraulisch schlecht durchlässigen Bereiche (Laternen) und wärmt den darüber anliegenden Boden über flächenhafte Konduktion auf. Die Schadstoffe werden verdunstet und gelangen gasförmig in die darüber liegenden Bereiche und können über die BLA erfasst werden. Einzig kondensiertes Schadstoffe werden durch die nachgeschaltete Wärme wieder verdunstet.
- Durch Kombination mit dem TNV/RS-Verfahren werden gut leitende Schichten größerer Mächtigkeit in der ungesättigten Zone über Wärmeeinleitung auf die Gemischtemperatur aufgebracht, die Schadstoffe verdunstet und die schlecht durchlässige Schicht thermisch saniert.

Entwicklungsstand

- Mehrere wissenschaftlich begleitete Pilot-Anwendungen in Referenzen in Deutschland
- Prozess im Pilotgrundwasserleiter in Erprobung im KÜB-System

Rechtliche Hinweise
Wasserschutz, Erdbeben, Immissionsvorschriften, Arbeitsschutz, Die Genehmigungsverordnungen und die Art der erforderlichen Genehmigungen sind im Einzelfall mit den zuständigen Behörden abzustimmen.

Referenzprojekte / zuständige Behörde

- Thermische Sanierung eines GWA-Schadens in Albstadt mittels Dampf-Luft-Injektion (September 2003 - Februar 2004), Auftraggeber: Metter-Toledo / Landratamt Zollern-Alb
- Platzanforderung Dampf-Luft-Injektion im Katasterbereich eines Betriebsbereichs mittels Dampf-Luft-Injektion (Juni 2005 - Oktober 2005) / Stadt Karlsruhe Umweltamt
- Thermische In-situ-Sanierung ehemaliger Hydrothermale Zelle (Testfeld I) (Mai 2007 - Dezember 2007) / Landratsamt Burglengenfeld
- Platzanforderung, GWA-Sanierung im gekühlten Festlager (einem Verwertungszentrum Bismarck, März - Oktober 2003) / Stadtamt Völklingen-Schweinsberg

Ausgewählte Literatur

- Köhler, G., Köhler, H.-P., Ochs, S.O., Demmel, S., Böck, K. (2006): Dampf-Luft-Injektion in der gesättigten Zone: Platzanforderung zur Sanierungsplanung an einem modellhaften Standort im Testfeld I (Bismarck, 1. Teil), S. 60-70. ISBN 3-93781-63-0
- Köhler, H.-P., Trötschel, O., Limburg, B., Heisk, M., Wöhl, H. (2007): Platzanforderung DLZ-Zelle: Erste Ergebnisse der Bemessnung des Kernbereichs eines Betriebsbereichs mittels Dampf-Luft-Injektion. In: Braun, J., Köhler, H.-P. & M. Blumhagen (Hrsg.), Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, 9/2007 - Nr. 195, S. 52 - 58. ISBN 3-93781-66-7
- Köhler, H.-P., Trötschel, O. (2009): Thermische In-situ-Sanierungsverfahren: Einsatzbereich, Dimensionierung und erdseismische Anmerkungen. In: Franke, V., Albrecht, M. & Demmel, S. (Hrsg.) VWA 55, 2009, 3. Aufl., C.F. Müller Verlag, S. 278 ff. ISBN 978-3-14-63700-9

Bewertung durch den Arbeitskreis
Das Verfahren hat sich in der Erprobung als praxistauglich erwiesen und kann unter entsprechenden Bedingungen als zuverlässiges, gut kontrollierbares, schnelles und kostengünstiges Verfahren eingesetzt werden. Zur zuverlässigen Dimensionierung ist allerdings Expertenwissen erforderlich. Allgemein verfügbare Dimensionierungsberechnungen liegen noch nicht vor, werden jedoch in naher Zukunft erarbeitet.

© VEGAS



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt 18

Beispiel Verfahrensblatt Nano-Partikel

ITVA Innovative In-situ-Sanierungsverfahren

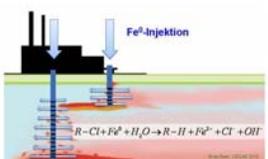
Innovative In-situ-Sanierungsverfahren ITVA

9.2.1 Eisen-Partikel

Eisen-Partikel

Prinzip
Reduktion von LCKW: Elementares Eisen (Fe⁰) wird als kolloidale Suspension in den Kontaminationsbereich (Schadstoffquelle) eingebracht, wo es aufgrund seines niedrigen Redox-Potentials sowie der großen spezifischen Oberfläche zu einer spontanen reduktiven Umsetzung bestimmter organischer Verbindungen führt. Hierbei werden durch die Oxidation des Fe⁰ zu Fe²⁺ Elektronen direkt an das organische Molekül übertragen. Direkter reagiert das nulwertige Eisen direkt mit Wasser unter Erhaltung von Wasserstoff. Mit dem so entstehenden Wasserstoff kommt es parallel zur oben genannten chemischen Dreireaktion zu einer reduktiven Dechlorierung, das heißt Chloroacetate werden schrittweise durch Wasserstoff ersetzt. Die chemische Dreireaktion hat bis zum Eisen als dominierend.

Reduktion von Schwermetallen: Grundsätzlich können Schwermetalle mit Hilfe von Eisen reduziert werden. Beispielsweise wird Chromat (Cr(VI), enthält schwerwertiges Chrom) über die Reaktion mit Nano-Eisen zu Chrom(III) reduziert, das anschließend ausfällt. Ausfallprodukt ist Chromit (vgl. Kap. 9.2.2).



Aufbau und Beschreibung
Nulwertiges Eisen-Partikel, die in der Regel Durchmesser im Nano- bis Mikrometerbereich aufweisen, werden in einer stabilisierten Suspension angefertigt und mittels von Injektionsaggregat (z.B. Mischstrahlrohr) über Packungssysteme in den kontaminierten Grundwasserleiter eingebracht. Ziel ist eine gleichmäßige Verteilung der Partikel im Grundwasser und eine Vermischung mit dem Schadstoff.

Verfahrensspezifische Planungsgrundlagen

- Detaillierte Erkundung des Schadensbereichs mit kleinskaligem Raster im Meterbereich
- Laborversuche zur Ermittlung des Reduktionsmittelbedarfs, des Stoffumsatzes und der Metabolite sowie zur Transportbestimmung (Reichweitenbestimmung im Feld) zur Bestimmung der Reichweiten und Infiltrationsparameter, des Stoffumsatzes, der Rekontaminationsrisiko und der möglichen Freisetzung von Metaboliten oder anderen Stoffen. Weitere Feinversuche, z.B. auch Transportversuche, sowie verschleißbegleitende Feldversuche sind Ansatzpunkte für die Optimierung.

Anwendungsbereich

- Nach Literaturangaben umfasst das behandelbare Schadstoffspektrum leicht- und schwerflüchtige halogenierte organische Schadstoffe (LHKW, chlorierte Aromaten, organisch chlorierte Pestizide), Nitroaromaten, Perchlorate sowie Schwermetalle (Cr(VI), Cd, Pb, Ni, Hg, As etc.), anorganische Ionen (Ammonium, Arsenit, Selenit, Molybdat, Technetium), TNT, Lindan, DDT, Pentachlorophenol sowie Radioisotope. In Deutschland liegen aus einem Pilotversuch Erfahrungen in der Behandlung von LHKW vor. Die jeweilige Eignung ist anwendungsspezifisch zu prüfen.

Eisen-Partikel

Eisen-Partikel

Anwendungsgrenzen
Detailliert liegen nur bedingt Erfahrungswerte über das Transportverhalten der Eisen-Partikel im Grundwasser vor. Anwendungsgrenzen ergeben sich durch die Reaktion von Nano-Eisen mit Nitrat, Sulfat und Sauerstoff sowie durch die geringe Lebensdauer im Grundwasser im Zeitraum von Monaten.

Besonderheiten, Hinweise, Risiken

- Die Reaktivität der (Nano-)Eisen-Partikel ist nicht eindeutig bekannt (Aggregatbildung). Mit unbedeutenden Nano-Eisen lassen sich Injektionsdauern von nur wenigen Dezimetern erreichen. Praktische Erfahrungen zeigen, dass die zusätzliche Anwesenheit von - biologisch unbedenklichen - organischen Polycarbonaten zu einer deutlichen Steigerung der Reichweite führen kann. Bei dem so behandelten Nano-Eisen sollen sich im Plasmawasserleiter (U. Injektionskanal) von einigen Metern erreichen lassen, ein direkter Nachweis jedoch fast bis zum heutigen Zeitpunkt. Veränderungen der hydraulischen Durchlässigkeit im behandelten Grundwasserleiter durch die Wasserstoffbildung (fein Bläschen) sind möglich.
- Die hohe Reaktivität des Nano-Eisens ist zeitlich begrenzt. Verschiedene Anbieter von Nano-Eisen agieren auf dem Markt, eine Qualitätskontrolle des gelieferten Materials wird unbedingt empfohlen.
- Durch die Reaktion mit Wasser entsteht Wasserstoff (H₂), der bei Anreicherung in geschlossenen Bereichen explosionsfähige Atmosphären (Knallgas) bilden kann. Die Suspension hat basische Eigenschaften (pH 11) und kann Augen und Haut reizen. Nano-Eisen-Lösungen müssen unterhalb von 35°C und außerhalb der Reichweite von Zündquellen gelagert werden. Eine Zusammenlagerung mit Oxidationsmitteln ist zu vermeiden. Nano-Eisen ist der Wassergefährdungskategorie WGK 1 zuzuordnen, die Zubereitung ist kein gefährliches Produkt gemäß RL 1992/45/EG.
- Nach demzeitigem Kenntnisstand sind bei einer Anwendung von Nano-Eisenpartikeln zur Schadstoffreduktion im Grundwasser keine konkreten negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu erwarten, sofern keine unmittelbare Grundwasserentnahme vorliegt. Abschließende Untersuchungen liegen jedoch nicht vor.
- Die US-EPA betreibt eine Website, die Informationen über innovative Sanierungs- und Standortcharakterisierungs-Technologien liefert und ein Forum alle Stakeholder bietet (http://www.dum.org).

Entwicklungsstand

International mehrere großskalige Feldversuche, z.B. in Italien, Kanada und Tschechien, in Deutschland ein Pilotversuch am Standort Bornheim-Roadford zur Grundwasseranreicherung eines GWA-Schadensfalls.

• Hoch in der Entwicklung

Rechtliche Hinweise

Wasserschutz, Erdbeben, Immissionsvorschriften, Arbeitsschutz, Die Genehmigungsverordnungen sind im Einzelfall mit den zuständigen Behörden abzustimmen.

Referenzprojekte / zuständige Behörde

Ehemalige chemische Reinigung, AAV-Pilotanlagen Bornheim / Rhein-Steig-Kreis

Ausgewählte Literatur

- Köhler, H.-P., Köpcke, F.D., Limburg, B., Ochs, S.O., Demmel, S., Böck, K. (2007): Aggregation und Sedimentation of Aquosous Nanoscale Zerovalent Iron Dispersions. Environmental Science & Technology, 41(1): 284-290.
- Köhler, H.-P., Köpcke, F.D. (2007): Sanieren mit Nanoeisen. Nulwertiges Eisen in Form kolloidaler Partikel zur Quell- und Füllwasseranreicherung im Grundwasser. In: vW Wasser, Luft und Boden, 51(8): 1717-1720.
- Braun, J., de Beer, C. (2007): Injektion von Nano-Eisen zur LHKW-Sanierung - Ergebnisse aus VEGAS Laboruntersuchungen. In: Braun, Köhler, Blumhagen (Hrsg.), Mittelungen Heft 195, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart 2007, ISBN 3-93781-66-7, S. 64-74.
- Reising, P. (2007): Grundwasseranreicherung mittels Nano-Technologie - ein innovatives Sanierungsprinzip des AAV in NRW. Fachtagung Boden und Grundwasser, Abwasseranreicherung- und Abwasseranreicherungsbereich, NRW, Ingolstadt.

Bewertung durch den Arbeitskreis

Aussetzt auf eine erfolgreiche Sanierung mithilfe von (Nano-)Eisen-Partikeln werden momentan sehr kritisch betrachtet, da die homogene Verteilung der Eisen-Partikel bei der Injektion noch nicht gewährleistet werden kann.

© VEGAS

Stand der Arbeitshilfe und Dank

- Arbeitshilfe Herbst 2009 fertig gestellt, vom AK, Fachausschuss H1 und ITVA-Vorstand verabschiedet
- Gelbdruckverfahren am 15.05.2010 abgeschlossen
- Veröffentlichung anlässlich GAB - Symposium 2010 in Ingolstadt
- Dank an die Mitglieder des AK für die Ausarbeitung der verschiedenen Verfahrensblätter und Textbausteine, die konstruktiven und kritischen Diskussionen in den 13 Sitzungen des AK
- Dank an die alle „Externe“ für die wertvollen Hinweise und die positiven Reaktionen im Rahmen des Gelbdruckverfahrens
- Besonderer Dank an Frau Sabine Gier (GF ITVA), für die intensive und unermüdliche Bearbeitung der Arbeitshilfe

© VEGAS



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt 19



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt 20

Zum guten Schluss

Danke für Ihr Interesse

Gerne beantworte ich Ihre Fragen

hans-peter.koschitzky@iws.uni-stuttgart.de

<http://www.vegasinfo.de>

Dr.-Ing. Hans-Peter Koschitzky, Technischer Leiter
VEGAS, Versuchseinrichtung zur Grundwasser-
und Altlastensanierung, Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 61, 70569 Stuttgart
Tel.: 0711 685-64716, Fax: 0711 685-67020

© VEGAS



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt 21

In eigener Sache

VEGAS - Kolloquium 2010
In-situ-Sanierung
Stand und Entwicklung Nano und ISCO

Donnerstag, 07. Oktober 2010
Universität Stuttgart, Campus Stuttgart-Vaihingen
Ingenieurwissenschaftliches Zentrum IWZ
Pfaffenwaldring 9, Hörsaal V 9.01

anschließend
Young Scientists´ Workshop
Nano / Micro-Fe

Thursday / Friday , October 07-08, 2010
VEGAS-Laboratory, Pfaffenwaldring 61

© VEGAS



Was steckt in den innovative In-situ-Sanierungsverfahren ?
Die neue ITVA-Arbeitshilfe gibt Auskunft und Hilfestellung



Altlastensymposium 2010
30.06-01.07. Ingolstadt 22