

Innovative In-situ-Sanierungsverfahren

- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -

Hans-Peter Koschitzky *

1. Weshalb eine ITVA Arbeitshilfe ? – *Veranlassung und Zielsetzung*

In den letzten Jahren werden zunehmend „innovative“ In-situ-Sanierungsverfahren angeboten, um insbesondere bereits lang laufende Sanierungen mit konventionellen Verfahren und nicht absehbarem Sanierungserfolg in überschaubaren, kurzen Zeiträumen erfolgreich zu beenden. Diese innovativen Verfahren machen sich komplexe physikalische, chemische und biologische Vorgänge zu Nutze und stellen einen hohen Anspruch an den Planer und an die Genehmigungsbehörden. Sie bieten – einen sorgfältigen und sachgerechten Einsatz vorausgesetzt – ein hohes und Sanierungspotential. Sie stellen jedoch keine Patentlösungen dar, vielmehr müssen die Auswahl und der Einsatz in jedem Einzelfall sorgfältig erfolgen. Dies ist häufig auf Grund der Firmenunterlagen der Anbieter und mangelnder nachvollziehbarer Referenzen nicht möglich. Die Anwendungsbereiche, Anwendungsvoraussetzungen und -grenzen der Verfahren sind nicht eindeutig beschrieben, eventuelle Risiken werden nicht erkannt oder genannt. Auch muss der Einsatz in Deutschland unter Berücksichtigung der rechtlichen Rahmenbedingungen erfolgen und abgewogen werden. Hierzu bedarf es daher einer genauen, bisher leider oft fehlenden Detailkenntnis der Verfahren.

Eine komplexe wissenschaftliche Auswertung und Bewertung des Erfolgs der in Deutschland – oftmals unter speziellen Randbedingungen und teilweise im Rahmen von Forschungsprojekte – unter Einsatz innovativer In-situ-Verfahren realisierten Sanierungsmaßnahmen liegt noch nicht vor.

Der Arbeitskreis „Innovative In-situ-Sanierungsverfahren“ im ITVA-Fachausschuss H1 „Technologien und Verfahren“ hat sich daher zum Ziel gesetzt, den Entwicklungsstand und die bisherigen „Praxiserfahrungen“ bei der Anwendung innovativer In-situ-Sanierungsverfahren und ihre Einsatzmöglichkeiten und -grenzen kritisch zu prüfen, aufzuzeigen und in systematischer Form darzustellen.

2. Für wen ? - *Zielgruppe*

Die derzeit noch in Bearbeitung befindliche Arbeitshilfe soll – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – einen unabhängigen und ausgewogenen Überblick über eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren (Verfahrensprinzipien) vermitteln. Bei der Auswahl der Verfahren wurden vorrangig Verfahren berücksichtigt, die hinsichtlich ihres Entwicklungsstandes zumindest in einer Pilotanwendung im Feld getestet wurden und hinreichend dokumentiert sind.

* Als Vorsitzender des ITVA-Arbeitskreises „Innovative In-situ-Sanierungsverfahren“ im ITVA-Fachausschuss H1 „Technologien und Verfahren“: Dr.-Ing. Hans-Peter Koschitzky, VEGAS Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 61, 70567 Stuttgart. Tel.: +49 711 685-64716, Fax: +49 711 685-67020, E-Mail: hans-peter.koschitzky@iws.uni-stuttgart.de, <http://www.vegainfo.de>

Die Arbeitshilfe richtet sich an Fachleute und Sachverständige in Ingenieurbüros und Behörden sowie an Sanierungspflichtige. Sie soll dazu beitragen, die Prüfung der Eignung innovativer In-situ-Sanierungsverfahren im jeweiligen Einzelfall zu erleichtern, um eine qualifizierte Anwendung zu ermöglichen und insgesamt die Akzeptanz der In-situ-Sanierungsverfahren zu erhöhen.

3. Wie und was ? - *Aufbau und Gliederung*

Ausgehend von einer Einführung in die Problematik werden die wesentlichen mit der Thematik verbundenen Fachbegriffe definiert und auf die rechtlichen Grundlagen verwiesen. Die grundsätzlichen Anwendungsvoraussetzungen bzw. Planungsgrundlagen werden erläutert. Das zentrale Element der Arbeitshilfe bildet die Beschreibung und Bewertung der ausgewählten innovativen In-situ-Sanierungsverfahren mittels standardisierter Verfahrensblätter. Sie enthalten Angaben zu wirksamen Prozessen, technischem Aufbau (Verfahrenskomponenten und besondere Verfahrenscharakteristika), spezifischen Planungsgrundlagen, Anwendungsbereichen und –grenzen, Besonderheiten, Risiken, Entwicklungsstand, Referenzen, relevanten Fundstellen aktueller Literatur sowie eine Bewertung durch den Arbeitskreis.

Im Schlusskapitel der Arbeitshilfe werden aus Sicht des Arbeitskreises die bisherigen Erfahrungen bei der Anwendung der vorgestellten innovativen In-situ-Sanierungsverfahren zusammengefasst sowie Defizite und der weitere Entwicklungsbedarf aufgezeigt.

4. Was ist z.B. innovativ ? – *Definitionen und Begriffe*

Da sich im allgemeinen Sprachgebrauch der „Altlastenszene“ eine Vielzahl ähnlicher Begriffe und Formulierungen finden und diese oft unterschiedlich angewendet werden, werden in der Arbeitshilfe die wichtigsten bzw. häufig vorkommende Begriffe erläutert und so weit möglich definiert. Dies umfasst Begriffe wie Sanierungsmaßnahmen, Regel oder Stand der Technik, über praxisreif, Pilotversuch bis hin zu In-situ-Sanierungsverfahren.

Z.B. ist wichtig zu definieren, was versteht man unter innovativen Sanierungsverfahren. Dies sind nach dem Verständnis des Arbeitskreises Verfahren, die einen Entwicklungsstand erreicht haben, der eine praktische Eignung im Sinne einer umweltverträglichen, effizienten Anwendung gesichert erscheinen lässt, aber noch nicht den allgemein anerkannten Regeln der Technik und/oder dem Stand der Technik entspricht.

Zu innovativen Sanierungsverfahren werden auch Vorgehensweisen gezählt, bei denen eine Kombination mehrerer Verfahren angewandt wird, die neuartig ist. Innovative Verfahren sollten durch gezielte, gut dokumentierte Anwendungen zum Stand der Technik bzw. zu allgemein anerkannten Regeln geführt werden. Die Arbeitshilfe kann hierzu einen Beitrag leisten.

5. Wie sieht es mit dem Recht aus ? - *Rechtliche Rahmenbedingungen*

Grundlage für die Bearbeitung von Altlasten sind das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und die Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) in Verbindung mit den jeweiligen landesrechtlichen Regelungen.

Für die Durchführung von In-situ-Sanierungen kommt genehmigungsrechtlich in der Regel das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) zum Tragen. Die Anwendung physikalischer, biologischer und chemischer Sanierungsverfahren sowie die Errichtung und der Betrieb von Reinigungswänden erfüllt die Nutzungstatbestände von § 3 Abs. 1 und 2 WHG. Zuständig für die Erteilung einer wasserrechtlichen Erlaubnis sind die unteren Wasserbehörden.

Je nach Art der durchgeführten Maßnahme können weitere Regelungsbereiche berührt und eine Reihe der damit verbundenen behördlichen Genehmigungen erforderlich sein. Darüber hinaus sind die gesetzlichen Anforderungen an den Gesundheits- und Arbeitsschutz einzuhalten. Die Genehmigungsvoraussetzungen und die Art der erforderlichen Genehmigungen sind jeweils im Einzelfall mit den zuständigen Behörden abzustimmen.

Die zu erarbeitenden Planungsunterlagen müssen die Vorgaben und Genehmigungserfordernisse der einschlägigen Gesetze und Verordnungen des Bundes und der Länder, der Technischen Regelwerke, Unfallverhütungsvorschriften, Berufsgenossenschaftlichen Richtlinien, Sicherheitsregeln, Grundsätze, Merkblätter und DIN-Normen in der jeweils gültigen Fassung berücksichtigen.

Um die Arbeitshilfe im Textteil nicht zu überladen, sind vertiefende Ausführungen zu den rechtlichen Rahmenbedingungen bei In-situ-Sanierungsmaßnahmen, den Genehmigungserfordernissen sowie ein Verzeichnis der relevanten Rechtsnormen und Regelwerke in einem Anhang aufgenommen.

6. Welche Verfahren ? - *Verfahrensbeschreibungen*

In-situ-Sanierungsverfahren können zur Sanierung in der ungesättigten Bodenzone, im Grundwasserschwankungsbereich und in der gesättigten Bodenzone (Aquifer) eingesetzt werden. Sie beruhen sowohl auf physikalischen, chemischen als auch auf biologischen Prozessen. Physikalische und chemische Prozesse führen zu einer Entfernung, Umwandlung (Oxidation, Reduktion) oder Immobilisierung (Fällung, Sorption) der Schadstoffe im Untergrund. Biologische Prozesse können nicht nur abbaubare Schadstoffe eliminieren, sondern auch physikalisch-chemische Prozesse initiieren oder unterstützen. Umgekehrt treten biologische Abbaureaktionen als "Sekundäreffekte" beim Einsatz physikalischer oder chemischer Verfahren auf. Insofern handelt es sich bei biologischen In-situ-Verfahren eher um Verfahrenskombinationen, die zusammen mit konventionellen Techniken eingesetzt werden (können).

Unter dem Begriff „Innovative In-situ-Sanierungsverfahren“ sammeln sich Techniken und Technologien, die zum einen Methoden zur Leistungssteigerung klassischer Verfahren, zum anderen aber auch weitgehend eigenständige Verfahren zur Herdsanierung (Quellensanierung) oder zur Abstromsicherung darstellen.

Zur Unterstützung hydraulischer und pneumatischer Verfahren wurden Techniken zur Erhöhung des Schadstoffaustrags und damit zur Verkürzung der Sanierungsdauer entwickelt, insbesondere mit der Zielsetzung, Schadensherde (Schadstoffquellen) gezielt beseitigen und nachhaltig sanieren zu können.

So stehen für die Bodenluftabsaugung – als konventionelle Grundtechnologie – insbesondere thermische Verfahren zur Steigerung des Schadstoffaustrags – wie zum Beispiel Dampf-Luft-Injektionen oder der Einsatz fester Wärmequellen zum Aufheizen des Bodens – zur Verfügung. Für hydraulische Verfahren auf der Basis des klassischen Pump-and-Treats (P&T) wurden zur Steigerung der Austragsraten Verfahren zur Mobilisierung oder zur Erhöhung der Löslichkeit (Solubilisierung) entwickelt.

Allen diesen Verfahren ist gemein, dass mit ihrer Hilfe die Schadstoffe im Untergrund verstärkt freigesetzt werden und diese dann wie beim P&T noch mit einer geeigneten Technik aus dem entnommenen Grundwasser oder der Bodenluft (BLA) entfernt und dann entsorgt werden müssen.

Einen völlig anderen Ansatz verfolgen die chemischen und mikrobiologischen In-situ-Sanierungsverfahren, die auf der In-situ-Umwandlung der Schadstoffe in unschädliche Produkte beruhen. Allerdings sind die Einsatzmöglichkeiten biologischer Verfahren im Schadensherd aufgrund der sehr hohen Schadstoffgehalte begrenzt. Diese Verfahren eignen sich vorwiegend zur so genannten Fahnenanierung und werden heute oft als ENA-Maßnahme/Verfahren (ENA = Enhanced Natural Attenuation) bezeichnet. Als Verfahren zur Abstromsicherung und passiven Grundwassersanierung werden Reaktive Wände beschrieben.

Die Arbeitshilfe umfasst im Einzelnen folgende Verfahren:

6.1 Physikalische Verfahren

Physikalische Vorgänge führen zu einer Änderung der Lage und der äußeren Form eines Stoffes. Dabei kann es sich um die Änderung des Aggregatzustandes (flüssig – gasförmig), die Mobilisierung oder die Solubilisation (in Lösung gehen von Stoffen) handeln. Mit Hilfe von physikalischen In-situ-Sanierungsverfahren können organische Stoffe aus der ungesättigten und aus der gesättigten Bodenzone entfernt werden.

Im Gegensatz zu den biologischen und chemischen In-situ-Sanierungsverfahren, bei denen durch Umbau- oder Abbauprozesse bereits im Untergrund die Masse der Schadstoffe verringert wird, führt die Anwendung aller physikalischer In-situ-Sanierungsverfahren zu einer Erhöhung der Mobilität der Schadstoffe im Untergrund. Ziel ist es, die Schadstoffe besser austragen zu können. Im Gegensatz zu den biologischen und chemischen In-situ-Sanierungsverfahren findet die eigentliche Massenreduzierung der Schadstoffe aus der Umwelt dann on-site z.B. in der Wasseraufbereitungsanlage statt.

6.1.1 Physikalische Verfahren für die ungesättigte Bodenzone

Dies umfasst das zwischenzeitlich durch zahlreiche Pilotierungen und Anwendungen zur Praxistauglichkeit entwickelte Verfahren der „Thermisch Unterstützten Boden-Luft-Absaugung (mittels Dampf-Luft-Injektion) – TUBA“, die „Thermische In-situ-Sanierung mit Festen Wärmequellen – THERIS“, die aus den USA bekannte „Multi-Phase-Extraction“ und „Dual Phase Extraction (Zwei- und Mehr-Phasen-Extraktion)“ und das Verfahren der „Elektrokinetik“.

6.1.2 Physikalische Verfahren für die gesättigte Bodenzone

Hier befasst sich die Arbeitshilfe mit dem zwar seit langem bekannten, aber wenig oder oft unter ungünstigen (falschen) Randbedingungen und daher mit unbefriedigendem Erfolg angewendeten Airsparging und der analog zum TUBA-Verfahren praxisreifen Dampf-Luft-Injektion in die gesättigten Bodenzone (DLI) die insbesondere für Sanierung von CKW-Schadstoffquellen ein hohes Potential hat. Auch das in Deutsch-

land bisher noch nicht bei einer Sanierung angewendeten neuen Verfahren der Alkoholspülung (Alkoholcocktail) wird dargestellt aber auch die schon eingesetzte Tensidspülung, der Einsatz von Huminstoffen als Bio-Sorptionssperre sowie das Geoschock- und Hydroschock-Verfahren.

Mit Ausnahme von Airsparging, das ausschließlich in der Schadstofffahne zur Anwendung kommt, sind alle genannten physikalischen Verfahren zur Anwendung im Quellbereich der gesättigten Zone vorgesehen.

6.2 Biologische Verfahren

Mit Hilfe von biologischen In-situ-Sanierungsverfahren können organische Schadstoffe aus der gesättigten Bodenzone (Boden bzw. Grundwasser) entfernt werden. Es wird die Fähigkeit von im Boden vorkommenden Mikroorganismen (Bakterien, Pilze) genutzt, organische Substanzen als Kohlenstoff- und Energiequelle zu verwerten. Kennzeichen von biologischen In-situ-Sanierungsverfahren ist, dass die Schadstoffe durch die Mikroorganismen im Grundwasser abgebaut werden und nicht gefördert und on-site abgereinigt werden müssen.

Es ist sinnvoll, den biologischen In-situ-Abbau mit anderen Verfahren, wie hydraulischen Maßnahmen zur Verbesserung der Verteilung der Zusatzstoffe oder mit physikalischen Wasserreinigungstechniken zu kombinieren. Dazu wird z.B. belastetes Grundwasser mit Pumpen gefördert, mit Hilfe physikalischer oder biologischer Reinigungsverfahren on-site von den Schadstoffen befreit, das gereinigte Wasser mit Nährstoffen, Elektronenakzeptoren bzw. Cosubstraten versetzt und über ein Infiltrationssystem in den Grundwasserleiter injiziert. Durch die zugesetzten Nährstoffe können sich die autochthonen (= am Standort vorhandenen) Mikroorganismen vermehren und somit den Schadstoffabbau beschleunigen. Im Regelfall ist kein Zusatz von gezüchteten Mikroorganismen notwendig. Daneben besteht die Möglichkeit, ohne Kombination mit hydraulischen Maßnahmen Nährstoffe, Elektronenakzeptoren bzw. Cosubstrate über ein Infiltrationssystem ins Grundwasser zu injizieren.

6.2.1 Aerobe und anaerobe Verfahren

Es werden aerobe und anaerobe Prozesse unterschieden. Zur Entfernung von BTEX-Aromaten, aliphatischen Kohlenwasserstoffen (Kraftstoffe, Diesel, Heizöl) und niedrig halogenierten Kohlenwasserstoffen (cis-Dichlorethen, Vinylchlorid, Dichlormethan) werden Verfahren eingesetzt, bei denen Sauerstoff (aerob) oder Nitrat als Elektronenakzeptoren dienen.

Anaerobe Verfahren oder Kombinationen aus anaeroben und aeroben Verfahren werden zur Entfernung von hoch halogenierten Kohlenwasserstoffen (Tetrachlorethen, Trichlorethen, 1,1,1-Trichlorethan, Tetrachlorkohlenstoff) eingesetzt. Zur Einstellung anaerober Bedingungen ist der Zusatz von Elektronendonatoren erforderlich.

Zum Aufbau ihrer Zellmasse benötigen die Mikroorganismen Nährstoffe (Stickstoff, Phosphor, Schwefel usw.). Beim biologischen Abbau von organischen Substraten dienen Nitrat, Sulfat sowie reduzierte Eisen- und Manganverbindungen als Elektronenakzeptoren. Aufgrund der unterschiedlichen Wirkweise lassen sich die Verfahren wie folgt einordnen:

6.2.2 Stimulierung des Abbaus von Kohlenwasserstoffen durch Zugabe von Elektronenakzeptoren

Hierzu werden folgende Verfahren beschrieben:

- Biosparging und Wasserstoffperoxid (H₂O₂)-Zugabe zum aeroben Abbau organischer Schadstoffe
- Nitratzugabe zum anaeroben Abbau organischer Schadstoffe
- ORC®, iSOC™, Oxytec als Verfahren für den aeroben Abbau von Kohlenwasserstoffen
- Oxywall für den aeroben Abbau nicht chlorierter organischer Schadstoffe

6.2.3 Stimulierung des Abbaus chlorierter Kohlenwasserstoffe durch Zugabe von Elektronendonatoren

Die Arbeitshilfe enthält Verfahrensblätter zur Zugabe von Melasse, organischen Säuren, Alkohole und HRC® für den anaeroben LCKW-Abbau (reduktive Dechlorierung) und ein Verfahren zur Stimulierung des Abbaus niedrig chlorierter Kohlenwasserstoffe (oxidative Dechlorierung) mit Sauerstoff als Elektronenakzeptor und Methan (Methan-Biostimulation).

6.3 Chemische Verfahren

6.3.1 In-situ-chemische-Oxidation – ISCO

Unter In-situ-chemische-Oxidation (ISCO) versteht man Sanierungsverfahren, die in Nordamerika und in Europa in den letzten Jahren relativ große Aufmerksamkeit erfahren haben, u.a. weil die Verfahren für eine relativ große Anzahl von Schadstoffgruppen und Standortbedingungen einen viel versprechenden Ansatz darzustellen scheinen.

Bei der In-situ-chemischen-Oxidation werden Schadstoffe im Untergrund durch Einleitung eines chemischen Oxidationsmittels nach dem Prinzip einer „kalten Verbrennung“ abiotisch zerstört, wobei eine vollständige Umsetzung zu umweltneutralen Stoffen wie Kohlendioxid und Wasser sowie - bei chlorierten Verbindungen - Chlorid angestrebt wird.

Prinzipiell können alle organischen Schadstoffe durch Oxidationsmittel zerstört werden. Jedoch sind nicht alle technisch geeigneten und handhabbaren Oxidationsmittel gleichermaßen für alle altlastentypischen organischen Schadstoffe geeignet, so dass der Erfolg einer Maßnahme u.a. von der Auswahl des am besten geeigneten Oxidationsmittels oder einer Kombination von Oxidationsmitteln abhängt.

Die Oxidations-Reaktion selbst erfolgt im Grundwasserleiter sehr schnell, sobald ein wirksamer Kontakt zwischen dem Oxidationsmittel und der organischen Verbindung hergestellt ist. Die Geschwindigkeit und Effektivität des Oxidationsprozesses im Grundwasserleiter wird daher maßgeblich vom Transport des Oxidationsmittels zum Schadstoff und der möglichen Kontaktfläche zwischen Oxidationsmittel und Schadstoff limitiert.

Die technische Machbarkeit und Realisierbarkeit einer ISCO-Anwendung ist sehr sorgfältig und standortbezogen zu bewerten, wobei generell die Lithologie, der Chemismus der Matrix, das Schadstoffprofil, die spezifischen Eigenschaften des einzusetzenden Oxidationsmittels und die technische Realisierbarkeit des Infiltrationssystems am Standort in die Verfahrensbewertung eingehen müssen. Die Grundlagen für die In-

situ-chemische-Oxidation unterscheiden sich je nach einzusetzendem Oxidationsmittel und werden in den verschiedenen Verfahrensdatenblättern daher separat diskutiert und umfassen den Einsatz von Kalium-/Natriumpermanganat, Fentons Reagenz, Persulfat und Ozon.

6.3.2 In-situ-chemische-Reduktion

In durchströmten Reinigungswänden (PRB Permeable Reactive Barriers) wird elementares Eisen zur chemischen In-situ-Reduktion z.B. von chlorierten Kohlenwasserstoffen eingesetzt. Metallisches Eisen ist ein wirksames Reduktionsmittel, das sowohl für organische als auch für anorganische Kontaminanten, wie beispielsweise Chrom und Arsen, geeignet ist. Weltweit wurden Eisen-Partikel bereits auf zahlreichen Standorten eingesetzt. In Deutschland wurde das Verfahren bisher in wenigen Feldanwendungen eingesetzt. Ein erster Pilotversuch (Nano und Mikroisen-Injektion) in Deutschland wurde in NRW durchgeführt.

6.4 Durchströmte Reinigungswände

Das Verfahrensprinzip der Durchströmten Reinigungswände beruht in der Schaffung reaktiver Zonen im Untergrund zur In-situ-Dekontamination des durchströmenden Grundwassers. Die reaktive Zone wird dabei passiv, d.h. des natürlichen Grundwasserflusses durchströmt.

Durchströmte Reinigungswände werden zur Sicherung des Grundwasserabstroms eingesetzt. Sie stellen eine Alternative zu aktiven hydraulischen Sicherungsmaßnahmen (Pump&Treat) dar.

Als Sicherungsmaßnahme sind durchströmte Reinigungswände insbesondere für Schadstoffquellen geeignet, bei denen eine Dekontamination innerhalb eines überschaubaren Zeitrahmens aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist und bei denen aufgrund der Schadstoffeigenschaften und/oder der hydrogeologischen/hydraulischen Verhältnisse eine lang andauernde Grundwasserbeeinträchtigung zu erwarten ist.

Prinzipiell sind durchströmte Reinigungswände auch zur Sanierung von „abgerissenen“ Fahnen oder als prophylaktische Maßnahme zum Schutz von sensiblen Grundwassernutzungen geeignet.

7. Wie darstellen ? – *Verfahrensblätter*

Alle Verfahren werden in systematischen Verfahrensblättern auf maximal zwei DIN A4 Seiten dargestellt mit folgenden Unterpunkten und Inhalten:

Verfahrensname
Prinzip <i>Beschreibung der wirksamen Prozesse, verbale Beschreibung, Bild, Skizze</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 Komponenten wie Grundwassersicherung, BLA etc. als Module</i>
Verfahrensspezifische Planungsgrundlagen <i>Untersuchungsergebnisse (z.B. Erkundung, Voruntersuchungen), die über die im Kap. 5 genannten zwingend erforderliche Vorkenntnisse (OU, DU, Etc.) benötigt werden</i>
Anwendungsbereich <ul style="list-style-type: none"> • <i>Quelle oder Fahne</i> • <i>Bodenzone (ungesättigte Bodenzone, GW-Schwankungsbereich, gesättigte Bodenzone)</i> • <i>Geologie und Hydrogeologie des Standortes</i> • <i>Geochemische und hydrochemische Standortbedingungen</i> • <i>Art und Umfang der Kontamination - Schadstoffe (gut, bedingt, ungeeignet)</i> • <i>Art des Aquifers Poren-GWL, Kluftaquifer,</i> <i>....</i>
Anwendungsgrenzen <i>Grenzen mit Bezug auf den Anwendungsbereich, Einschränkungen des Anwendungsbereichs z.B. Leichtphasen, Schwerphasen, Einzelsubstanzen aus Stoffgruppe des Anwendungsbereichs, Kf-Werte, Grundwasserchemismus, Schluffschichten, starke Inhomogenitäten, etc.</i>
Besonderheiten, Hinweise, Risiken <ul style="list-style-type: none"> • <i>Unkontrollierte Schadstoffmobilisierung</i> • <i>Explosionsfähige Gemische</i> • <i>Methabolitenbildung</i> • <i>Besonderer Arbeitsschutz</i> <i>etc.</i>
Entwicklungsstand <ul style="list-style-type: none"> • <i>Pilotphase, Entwicklungsphase,</i> • <i>Stand der Technik etc. in Deutschland / Europa (?) / USA (??)</i> Rechtliche Hinweise <i>Besonderheiten die über Kap. 4 hinaus gehen</i> <i>Hinweis: Die Genehmigungsvoraussetzungen und die Art der erforderlichen Genehmigungen sind im Einzelfall mit den zuständigen Behörden abzustimmen.</i>
Referenzprojekte / zuständige Behörde <ul style="list-style-type: none"> • <i>Konkrete Referenzbeispiele</i> • <i>ggf. Kontaktpersonen (Sanierungspflichtiger oder zuständige Behörde)</i>
Ausgewählte Literatur <ul style="list-style-type: none"> • <i>bis max. 5 aktuelle Stellen der letzten 3 Jahre</i> • <i>konkrete, vollständige Literaturzitate, nicht nur Hinweis auf Internet</i> • <i>keine Firmenwerbung</i>
Bewertung durch den Arbeitskreis <i>Aspekte u.a. Wirtschaftlichkeit, Genehmigungsfähigkeit, Sanierungsdauer, Risiken, Entwicklungsstand</i>

Tab.1: Typisiertes Verfahrensblatt

8. Fazit und Ausblick

Am Ende der Arbeitshilfe wird zu den innovativen In-situ-Verfahren ein kritisches Fazit gezogen und eine zusammenfassende Bewertung abgegeben werden, die noch im Arbeitskreis diskutiert und abgestimmt werden muss. Es kann aber vorab schon postuliert werden, dass die innovativen In-situ-Sanierungsverfahren Möglichkeiten bieten, die über die Grenzen konventioneller Techniken hinausgehen. Sie können mit Blick auf künftige Anforderungen an die Kosteneffizienz und Nachhaltigkeit von Sanierungsmaßnahmen eine Alternative sowohl bei der Sanierung der Schadstofffahne als auch der Sanierung der Schadstoffquelle sein oder zur Unterstützung bzw. zur Optimierung konventioneller Verfahren beitragen.

Die in der Arbeitshilfe vorgestellten Verfahren entsprechen überwiegend nicht dem Stand der Technik. Eine Zusammenfassung der Bewertungen der vorgestellten Verfahren durch den Arbeitskreis wird gegeben. Eine umfangreiche Literaturzusammenstellung, ein Glosar und ein Anhang mit tabellarischer Zusammenstellung der erforderlichen Genehmigungen, umfangreiche Ausführungen zu den rechtlichen Rahmenbedingungen und Genehmigungserfordernissen sowie eine Adressliste z.B. der Landesoberbehörden im Umweltbereich in Deutschland runden die Arbeitshilfe ab.

Danksagung

Dank gebührt allen Mitgliedern des Arbeitskreises für die Ausarbeitung der verschiedenen Verfahrensblätter und einzelner Textpassagen der Arbeitshilfe, die konstruktiven und kritischen Diskussionen in den bisher 10 Sitzungen des AK für die Erarbeitung der AH. Ein ganz besonderer Dank gilt Frau Sabine Gier, die maßgeblich die Struktur der Arbeitshilfe mit geprägt hat und - neben ihrer Tätigkeit als Geschäftsführerin des ITVA - in unermüdlicher Weise viele Details recherchiert, zusammengetragen und textlich ausgearbeitet hat und geduldig die zahlreichen Überarbeitungen nach den Diskussionen im Ak immer wieder umgesetzte und Änderungen und Ergänzungen einarbeitete.

Bleibt zu hoffen, dass der abschließende Entwurf bald der Fachöffentlichkeit zur Diskussion gestellt werden kann und die längst überfällige Arbeitshilfe bald in ihrer endgültigen Form erscheinen wird.