

543 Physikalische In-situ-Verfahren

Im Gegensatz zu den *Ex-situ*-Verfahren verbleiben bei der *In-situ*-Sanierung der kontaminierte Boden und im Wesentlichen auch das belastete Grundwasser in ihren standortspezifischen Lagerungsverhältnissen. Ein Aushub von belastetem Bodenmaterial und ein Heben von belastetem Grundwasser sind somit nicht erforderlich. *In-situ*-Verfahren können sich daher auch für die Sanierung von Flächen eignen, bei denen die Zugänglichkeit der kontaminierten Bodenbereiche aufgrund vorhandener Gebäude, Anlagen, Ver- und Entsorgungsleitungen u.ä. stark eingeschränkt ist. Auch eine Überbauung des Sanierungsareals ist nach Errichtung der Sanierungsinfrastruktur prinzipiell möglich.

In-situ-Verfahren können sowohl zur Behandlung der ungesättigten als auch der gesättigten Bodenzone eingesetzt werden und basieren darauf, dass Stoffe ohne ein Bewegen des Bodens oder ein Heben des Grundwassers biologisch, physikalisch oder chemisch behandelt werden, um sie aus dem Boden oder dem Grundwasser zu entfernen, in unschädliche Stoffe umzuwandeln oder deren Ausbreitung zu verhindern.

Mit Hilfe von physikalischen *In-situ*-Sanierungsverfahren können organische Stoffe aus der ungesättigten und gesättigten Bodenzone entfernt werden. In-situ-Verfahren in der gesättigten Zone haben in der Praxis eine wesentlich größere Bedeutung als Verfahren in der ungesättigten Zone.

Bei physikalischen *In-situ*-Sanierungsverfahren liegt das Grundprinzip darin, die Mobilität der Schadstoffe im Untergrund zu erhöhen, um sie besser und mit erhöhten Raten austragen zu können. Die eigentliche Schadstoffreduktion erfolgt dann on-site in hierfür geeigneten Behandlungsanlagen. Für die flüchtigen Stoffe werden ergänzend Bodenluftbehandlungsanlagen benötigt.

Zu den physikalischen Verfahren zählen vor allem die Mehrphasenextraktion (MPE), der Einsatz von Tensiden sowie thermische Verfahren. Die thermischen Verfahren werden in Kapitel 544 separat behandelt. Da beim Airsparging (Kapitel 520) der mikrobielle Schadstoffabbau gegenüber dem Strippeffekt oft überwiegt, wird es zu den mikrobiellen In-situ-Verfahren gezählt. Die folgenden Abschnitte beschränken sich daher auf das MPE-Verfahren.

Die vakuumunterstützte Mehrphasenextraktion (MPE) dient in erster Linie der Absaugung der Medien (Wasser, Luft, aufschwimmende Phase) aus dem Kapillarsaum moderat bis gering durchlässiger Böden bzw. aus dem Bereich der „Schmierzone“. Somit ist es für solche Schadstoffe geeignet, die aufgrund ihrer geringeren Dichte Leichtphasen (LNAPL) bilden, also im Wesentlichen MKW-Kontaminationen. LCKW sinken als Phase innerhalb des Grundwasserleiters ab und sind daher mit MPE nicht sanierbar. Zu diesem Verfahren existieren zahlreiche Verfahrensvarianten, die jedoch alle unter dem gleichen Begriff MPE subsummiert werden. Bei der wichtigsten Verfahrensvariante werden alle Medien gemeinsam mit Hilfe eines Saugrohres abgesaugt und on-site getrennt weiterbehandelt. Ein wesentliches Ziel des MPE-Verfahrens ist auch die Minimierung der Wasserförderung.

Über einen gasdichten Brunnen wird ein Saugrohr bis an die Grenzfläche Phase/Wasser bzw. an der unteren Seite der „Schmierzone“ eingebracht. Die Filterstrecke muss bis in die ungesättigte Zone hineinreichen, um Luft aus dem Bereich oberhalb der Kapillarzone ansaugen zu können. Jedoch sollte die Filterstrecke nicht höher als die „Schmierzone“ selbst sein. An das Saugrohr wird ein hoher Unterdruck angelegt. Zum Einsatz gelangen hierzu in der Regel Wasserringvakuumpumpen.

Durch das angelegte hohe Vakuum wird die „Schmierzone“ teilweise entwässert, was wiederum den Zutritt von Luft und damit Sauerstoff für den aeroben Abbau durch Schadstoffe ermöglicht. Darüber hinaus wird durch das Vakuum Phase mobilisiert und pumppfähig.

Ein wesentliches Element von MPE ist die Forcierung der Verflüchtigung organischer Schadstoffe. Mit sinkendem Absolutdruck sinkt die Siedetemperatur und die Schadstoffe gehen bevorzugt in die Gasphase über. Dies hat zur Folge, dass MPE die Schadstoffmasse im überwiegenden Teil gasförmig im Vergleich zur entfernten Phase extrahiert.

Typische Einsatzbereiche sind moderat durchlässige Böden. Bei einer zu hohen Durchlässigkeit der Böden nimmt das Vakuum mit der Entfernung vom Absaugpunkt zu rasch ab und es sind nur unverhältnismäßig kleine Einflussradien erzielbar. Bei sehr schlecht durchlässigen Böden ist keine Verfahrenseffizienz gegeben.

Der Sanierungserfolg wird mittels üblicher Leistungen, wie Probennahme und Analytik, durchgeführt.

Das MPE-Verfahren enthält Benutzungstatbestände, die nach § 2 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) eine Erlaubnis oder Bewilligung erfordern.

Tenside können zur Quellensanierung in der gesättigten Zone eingesetzt werden. Dabei können sich folgende Effekte ergeben:

- Erhöhung der Löslichkeit der Schadstoffe:

Tenside sind Verbindungen niedriger bis mittlerer Molmassen, deren Moleküle aus einem polaren und einem hydrophoben Teil bestehen. Bei Überschreitung einer bestimmten Konzentration in der Wasserphase, der "Kritischen Micellenkonzentration" (CMC), lagern sich die Tensidmoleküle im Wasser zu kugelförmigen Micellen zusammen, wobei in ihrem Inneren ein hydrophobes und auf der von Wasser umgebenen Oberfläche ein hydrophiles Milieu entsteht. Bei Konzentrationen oberhalb der CMC schließen Tenside hydrophobe Schadstoffe in der Micelle ein und führen dazu, dass diese in Lösung gehen (Solubilisation). Damit kann auch die Bioverfügbarkeit der Schadstoffe erhöht werden. Dieser Effekt der Solubilisation kann bei leichten Phasen (LNAPL wie beispielsweise MKW), manchen leichten Teerölen (PAK) und Pflanzenschutzmitteln (DDT, HCH) wirksam werden.

- Mobilisierung von Schadstoffen:

Bei Konzentrationen unterhalb der CMC wirken Tenside als oberflächenaktive Stoffe und verdrängen sorbierte Schadstoffe aus ihren Bindungen. So werden die Grenzflächenspannung zwischen Schadstoff und Bodenmatrix und damit die kapillaren Haltekräfte erheblich verringert. Dies führt zu einer Mobilisierung der Schadstoffe. Dies kann bei LCKW (DNAPL) und Teerölen (PAK) wirksam werden. Für LCKW steht das STL-Verfahren (Surface Tension Lowering) und für Teeröle das GCR-Verfahren (Grain Covering Removal – Benetzung der Kornoberfläche) zur Verfügung.

Die gelösten bzw. mobilisierten Schadstoffe sind nach Tensideinsätzen hydraulisch zu fördern, um eine unkontrollierte Ausbreitung zu verhindern.

Die Verwendung von Tensiden ist außerordentlich kompliziert. Tenside neigen zur Präzipitation oder Kristallisation. Sie bilden dann hochviskose, kaum fließfähige Gele. Lösungsvermittler in geringen Konzentrationen verhindern dies und stabilisieren die sich bildenden Mikroemulsionen. Ein weiterer Bestandteil der injizierten Lösungen ist der Elektrolyt (in der Regel CaCl_2). Die Eigenschaft der anionischen Tenside, Phase zu solubilisieren, kann durch die gewählte Elektrolytkonzentration beeinflusst werden. Mit steigender Ca-Konzentration wird die Wechselwirkung zwischen dem Wasser und dem polaren Kopf des Tensids vermindert, entsprechend nimmt das Ausmaß der Wechselwirkung zwischen dem hydrophoben Schwanz und der Phase zu. Das Tensid selbst wird somit weniger hydrophil und mehr hydrophob. Die Behandlung des Aquifers erfolgt daher in drei Schritten. Zunächst wird der Aquifer mit der geeigneten CaCl_2 -Lösung gespült (Kreislaufverfahren mit Injektion, Förderung und Reinjektion), anschließend wird er mit einer Mischung aus Tensid und Lösungsvermittler gespült. Nach der Einwirkung wird das Grundwasser mit den Reagenzien und mobilisierten Schadstoffen abgepumpt, entsorgt oder in einer komplexen Anlage vollständig aufgereinigt. Wegen der Komplexität des Verfahrens, dessen Anfälligkeit gegen nicht optimale Reagenzienkonzentrationen und des Aufwandes (Material, Verfahren) hat sich das Verfahren bisher nicht durchgesetzt und wird im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

543.1 Bau der Sanierungsinfrastruktur

543.1.1 Leistungsbeschreibung (rechtliche/technische Grundlagen)

Die Sanierungsinfrastruktur besteht neben der Sanierungsanlage (Kapitel 543.2) im Wesentlichen aus besonderen unterdruckstabilen Absaugbrunnen sowie Monitoringmessstellen.

Die Absaugbrunnen werden mit einem gasdichten Brunnenkopf ausgeführt. Durch eine Öffnung mit einer Quetschdichtung, die ein manuelles Nachführen entsprechend sich saisonal ändernder Grundwasserstände erlaubt, wird ein Saugrohr bis an die Grenzfläche Öl/Wasser bzw. an die Unterkante der „Schmierzone“ eingebracht. Der Absaugbrunnen selbst ist über die gesamte vertikale Ausdehnung des Grundwasserleiters verfiltert. Die Filterstrecke muss bis in die ungesättigte Zone hineinreichen, um Luft aus dem Bereich oberhalb der Kapillarzone ansaugen zu können. Jedoch sollte die Filterstrecke nicht höher als an den oberen Bereich der „Schmierzone“ reichen. An das Saugrohr wird ein hoher Unterdruck angelegt. Ein Sichtglas am Brunnenkopf erleichtert das visuelle Feststellen der Medienförderung.

Monitoringmessstellen dürfen keinen Kurzschluss zur Atmosphäre herstellen, da an diesen Stellen das Vakuum zusammenbrechen würde. Daher sind ebenfalls besondere Messstellen mit gasdichten Brunnenköpfen erforderlich. Die Länge der Filterstrecke ist der der Absaugbrunnen vergleichbar. An das Rohr der Messstelle angeschlossen ist ein Manometer zur Erfassung des Vakuums am Ort der Messstelle. Über ein in das Grundwasser hineinreichendes unverfiltertes Mittelrohr lassen sich Grundwasserproben entnehmen. Die Messung des Wasserspiegels oder der Phasenmächtigkeit ist mit diesen Messstellen nicht möglich.

543.1.2 Kostenermittlung

Weitere Kosten entstehen durch die Entsorgung kontaminierten Bohrguts.

Das Leistungsregister mit Positionen und Kostenangaben ist Bestandteil der internetbasierten Datenbank (LB 543).

weiterführende Leistungen:

LB 110.2	Probenahme
LB 130	Chemisch-physikalische Analytik
LB 510	Behandlung von Bodenluft, Deponiegas und Abluft

543.1.3 Literatur

Held, T. (2014): In-situ-Verfahren zur Boden und Grundwassersanierung – Verfahren, Planung und Sanierungskontrolle. Wiley-VCH, Weinheim.

ITVA (2010): Innovative In-situ-Verfahren, FA HI-13

LFP-Projekt B 1.07: Auswertung von internationaler Fachliteratur und durchgeführten und laufenden Fällen mit In-situ-Anwendungen

LFP-Projekt B 5.07: Auswertung von Fällen mit In-situ-Anwendungen in der gesättigten Zone bei der Altlastenbearbeitung – Teil 1

LFP-Projekt B 3.10: Auswertung von Fällen mit In-situ-Anwendungen in der gesättigten Zone bei der Altlastenbearbeitung - Teil 2

SLUG (2003): Anwendungspotenzen von tensidgestützten In-situ-Verfahren bei der Sanierung von Altlasten. In: „Grundwasser Altlasten aktuell“ des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. Nr. 1/2003.

Schroers, S., Odensaß, M. (2007): In-situ Verfahren für die gesättigte Zone: Einsatzmöglichkeiten und erste Beispiele aus Nordrhein-Westfalen, In: altlasten spektrum 1/2007

Battelle (2002): Surfactant-enhanced aquifer remediation (SEAR) Design Manual. NFESC Technical Report. TR-2206-ENV. NAVAL Facilities Engineering Command.
www.clu-in.org/download/contaminantfocus/dnapl/treatment_technologies/sear_design.pdf.

543.1.4 Information über Leistungsanbieter

Kompetente Fachunternehmen sind anhand einschlägiger Referenzen auszuwählen.

543.2 MPE-Anlage

543.2.1 Leistungsbeschreibung (rechtliche/technische Grundlagen)

Die abgesaugten Medien auf schwimmende Phase, Wasser und Luft müssen in einer Anlage getrennt werden. Generell ist das Heben von einer Wassersäule mit den herkömmlichen Vakuumpumpen (z.B. Wasserringvakuumpumpe) bis ca. 9 m u. GOK möglich, dies entspricht einem Unterdruck von 900 mbar. Die Aufbereitungsanlage besteht im Wesentlichen aus einer Reihe von Trennstufen. Im ersten Schritt werden die Gasphase und die Gesamtflüssigkeitsphase getrennt. Die Gasphase wird entweder über Aktivkohleabsorption oder bei hohen Schadstoffkonzentrationen in der Gasphase auch über eine Nachverbrennung oder katalytische Oxidation gereinigt. Eine online-Messung der Schadstoffe erlaubt die Überwachung der unteren Explosionsgrenze (UEG). Bei Überschreitender UEG kann Frischluft zudosiert werden. Die Gesamtflüssigkeitsphase wird getrennt in Wasser und Produktphase. Letztere wird separat in einem Tank gesammelt und von Zeit zu Zeit fachgerecht entsorgt. Das Wasser kann über Nassaktivkohle gereinigt werden.

Besonders bei Phasen mit Diesel und höheren Destillaten besteht die Möglichkeit der Bildung von stabilen Öl-in-Wasser-Emulsionen. In diesem Fall ist es erforderlich, die Emulsionen mechanisch oder durch die Zugabe von Chemikalien chemisch „aufzubrechen“.

Im Rahmen der Überwachung des Sanierungsverfahrens werden in erster Linie die Stoffströme bestimmt und bilanziert. Hierzu werden die Förderraten (Phase, Wasser, Luft) und die Konzentrationen der Schadstoffe (Wasser, Luft) gemessen.

543.2.2 Kostenermittlung

Zusätzliche Kosten entstehen durch den Verbrauch von Strom und Wasser sowie den Verbrauch von Luft- und Wasseraktivkohle oder alternativ für den Luftpfad den Betrieb einer katalytischen Oxidation. Optional können weitere Prozesschemikalien benötigt werden.

Das Leistungsregister mit Positionen und Kostenangaben ist Bestandteil der internetbasierten Datenbank (LB 543).

weiterführende Leistungen:

LB 110.2	Probenahme
LB 130	Chemisch-physikalische Analytik
LB 530	Behandlung von Grundwasser, Prozess- oder Sickerwasser

543.2.3 Literatur

Held, T., (2014), In-situ-Verfahren zur Boden und Grundwassersanierung – Verfahren, Planung und Sanierungskontrolle. Wiley-VCH, Weinheim.

US Army Corps of Engineers, (1999), Multi-Phase Extraction. EM 1110-1-4010.

http://publications.usace.army.mil/publications/eng-manuals/EM_1110-1-4010_sec/toc.htm
(03.07.2013).

543.2.4 Information über Leistungsanbieter

Kompetente Fachunternehmen sind anhand einschlägiger Referenzen auszuwählen.