Sanierungsmaßnahme Theaterwerkstätten Bonn-Beuel

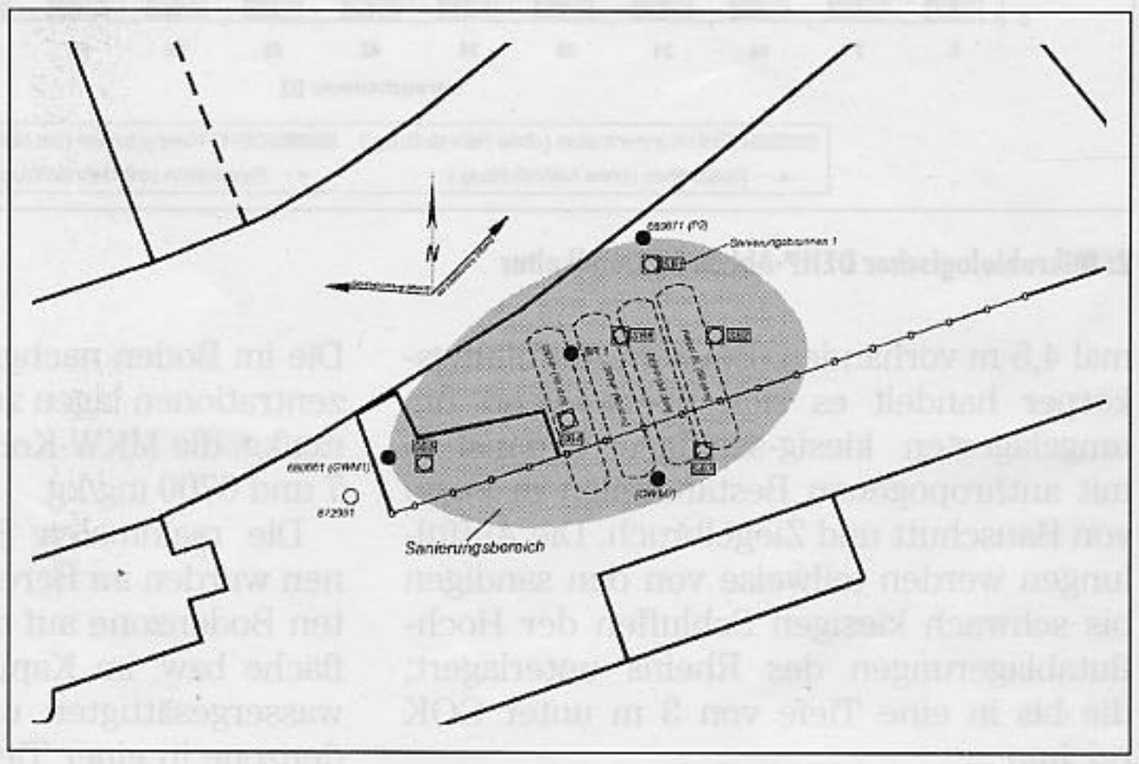
PVC-Weichmacher DEHP und MKW in Grundwasser und Boden

VOLKER MECHSNER, CARSTEN REESE

In Bonn führt man seit September 2001 im Bereich der Theaterwerkstätten der städtischen Bühnen eine Boden- und Grundwassersanierung durch. Hier war eine Kontamination der wasserungesättigten und -gesättigten Bodenzone durch den PVC-Weichmacher DEHP sowie durch MKW festgestellt worden. Der überwiegende Teil des Schadstoffgemischs befindet sich dabei als mit Wasser nicht mischbare Leichtphase auf der Grundwasser-Oberfläche bzw. im Kapillarbereich zwischen der gesättigten und ungesättigten Bodenzone. Die Sanierung soll als Maßnahmenkombination aus einer hydropneumatischen Sanierung (Phasenentnahme) und einer mikrobiologischen *In-situ*-Sanierung realisiert werden.

Die Bundesstadt Bonn, Amt für Umwelt- und Verbraucherschutz, führt seit September 2001 unter der Projektleitung der Kühn Geoconsulting GmbH, Bonn, im Bereich der Theaterwerkstätten der städtischen Bühnen Bonn eine Boden- und Grundwassersanierung durch. In einem Teilbereich der Theaterwerkstätten hatte man eine Kontamination der wasserungesättigten und -gesättigten Bodenzone durch den PVC-Weichmacher Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP) und durch Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) festgestellt. Der überwiegende Teil des Schadstoffgemisches befindet sich dabei als mit Wasser nicht mischbare Leichtphase (LNAPL) auf der Grundwasser-Oberfläche bzw. im Kapillarbereich zwischen der gesättigten und ungesättigten Bodenzone.

Auf Grundlage der im Zeitraum von 1996 bis 1998 unter der Projektleitung der Kühn Geoconsulting GmbH durchgeführten Sanierungsuntersuchungen wurde die Sanierung als Maßnahmenkombination aus einer hydropneumatischen Sanierung (Phasenentnahme) und einer mikrobiologischen *In-situ*-Sanierung geplant. In der ersten Sanierungsphase erfolgt die hydropneumatische Sanierung im Kapillarbereich über das von der IEG Technologie GmbH, Gruibingen, konzeptionierte VLR-Verfahren (vacuum enhanced liquid recovery). Die in der wasserungesättigten Bodenzone vorhandenen Schadstoffe werden anschließend in einer mikrobiologischen *In-situ*-Sanierung über eine gezielte Beeinflussung der standorteigenen Mikroorganismen abgebaut.



1: Lageplan des Sanierungsbereichs

Die im Jahr 2001 begonnene Sanierung ist auf einen Zeitraum von ca. vier Jahren angelegt. Die ersten Sanierungsergebnisse zeigen, dass sich bei einer optimalen Anlageneinstellung und niedrigen Grundwasserständen maximale Förderraten der mit Wasser nicht mischbaren Leichtphase erzielen lassen. Als Nebeneffekt des VLR-Verfahrens wird durch eine deutliche Milieuänderung im Bereich des Kapillarsaumes ein erhöhter mikrobiologischer Abbau der vorhandenen Schadstoffgemischs erzielt (Bioventing-Effekt).

Historie/Schadenshergang

Auf dem Gelände der Theaterwerkstätten befand sich ein Industriestandort, auf dem bis 1966 Kunststoffprodukte aus Polyvinylchlorid (PVC) hergestellt wurden. Im Rahmen der Produktionsprozesse wurde Di(2-ethylhexyl)phthalat als PVC-Weichmacher eingesetzt.

Auf dem im Bonner Altlastenkataster eingetragenen Altstandort befanden sich 4 unterirdische Rohstofftanks mit einem Fassungsvermögen von jeweils 50 m³. Drei Erdtanks waren mit DEHP und einer mit Heizöl EL befüllt. Die Tanksohle lag in einer Tiefe von ca. 6 m unter Gelände. Nach mehrfacher Nutzungsänderung wurde das Gelände 1982 veräußert und mit den noch vorhandenen Erdtanks von der Stadt Bonn übernommen. 1985 erfolgte die Reinigung und Demontage der unterirdischen Tankanlage.

In einer durch das Staatliche Umweltamt Köln im Bereich der Theaterwerkstätten routinemäßig durchgeführten GW-Pegelmessung wurde 1986 eine ca. 30 cm dicke, auf der Grundwasser-Oberfläche aufschwimmende Phase eines DEHP/MKW-Gemisches festgestellt. Der genaue Hergang und der Zeitraum des Schadstoffeintrages konnte anhand einer historische Recherche nicht vollständig rekonstruiert werden.

Mögliche Ursachen des Schadstoffeintrages liegen entweder im Zeitraum der Produktion, bedingt durch Leckagen und Überfüllschäden, oder sind auf einen unsachgemäßen Rückbau der Erdtankanlagen zurückzuführen.

Zielsetzung

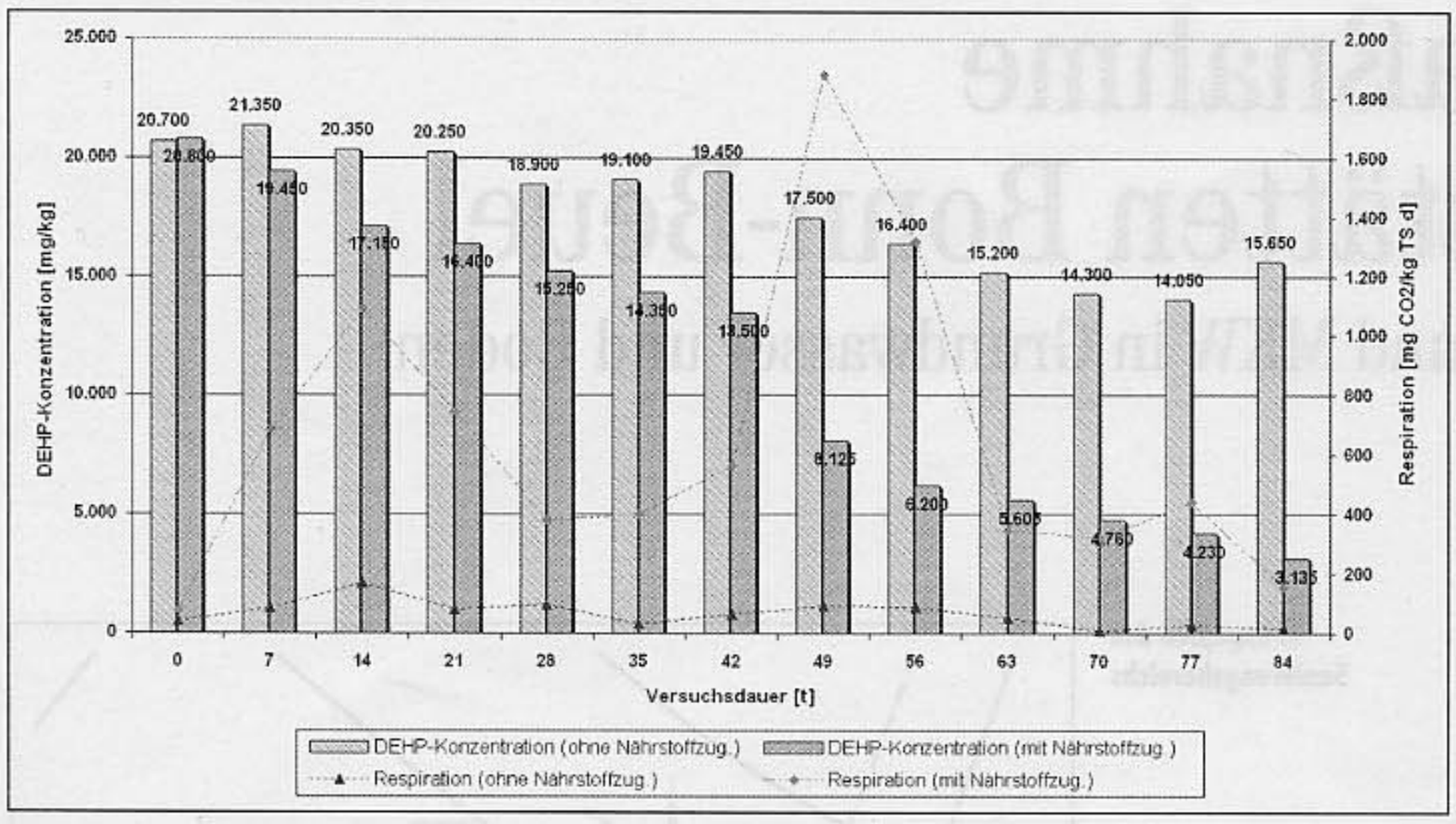
In der ersten Phase der Sanierung wird die Schadstoffphase aus der wassergesättigten Bodenzone entfernt. Die auf der Grundwasser-Oberfläche aufschwimmende DEHP/MKW-Phase befindet sich in einer Tiefe zwischen 12 und 15 m unter GOK und wird mit dem von der IEG Technologie GmbH konzeptionierten IEG-System aus dem Grundwasser-Schwankungsbereich direkt entnommen.

Im Anschluss an die Phasenentnahme erfolgt in der zweiten Sanierungsphase die mikrobiologische In-situ-Sanierung zum Schadstoffabbau in der wasserungesättigten Bodenzone (ca. 6 bis 12 m unter GOK).

Geologische und hydrogeologische Standortfaktoren

Geologie

Im Sanierungsbereich sind nahezu flächendeckend Auffüllungen mit Dicken bis maxi-



2: Mikrobiologischer DEHP-Abbau in Standkultur

mal 4,5 m vorhanden. Bei dem Auffüllungskörper handelt es sich überwiegend um umgelagerten kiesig-sandigen Erdaushub mit anthropogenen Bestandteilen in Form von Bauschutt und Ziegelbruch. Die Auffüllungen werden teilweise von den sandigen bis schwach kiesigen Schluffen der Hochflutablagerungen des Rheins unterlagert, die bis in eine Tiefe von 3 m unter GOK reichen.

Unterhalb der Hochflutablagerungen bzw. unterhalb der Auffüllungen folgen bis in eine Tiefe von ca. 20 m unter Gelände die Niederterrassenablagerungen des Rheins an. Diese bestehen überwiegend aus stark kiesigen Sanden bis stark sandigen Kiesen. In diese grobkörnigen Lockersedimente sind z. T. Fein- und Mittelsandlagen mit Dicken von 1–2 m und in unterschiedlichen Tiefenniveaus sandige und tonige Schlufflinsen eingelagert. Unterhalb der quartären Abfolge stehen tertiäre Tone an.

Hydrogeologie

Das oberste Grundwasser-Stockwerk (13–15 m unter GOK) wird im Sanierungsbereich von den quartären Kiesen (k_f-Wert ca. 10^{-2} bis 10^{-5} m/s) der Niederterrasse gebildet. Den Grundwasserstauer bilden die in einer Tiefe von ca. 20 m unter GOK anstehenden tertiären Tone (k_f-Wert ca. 10^{-8} bis 10^{-11} m/s). Bedingt durch die geringe Entfernung zum Rhein (ca. 1,3 km) wird der Grundwasserstand mit zeitlicher Verzögerung durch den Rheinpegelstand beeinflusst. Die Grundwasser-Fließrichtung im Sanierungsbereich ist bei niedrigen und mittleren Grundwasserständen generell nach Westen auf den Vorfluter gerichtet. Bei influenten Strömungsverhältnissen ist eine nördliche bis nordöstliche Grundwasserströmung festzustellen.

Schadenssituation

Im Sanierungsbereich hat man eine Kontamination der gesättigten und ungesättigten Bodenzone durch das Schadstoffgemisch DEHP/MKW erkundet, deren Ausdehnung auf eine Fläche von ca. 300 m² mit Hilfe geotechnischer und laboranalytischer Untersuchungen abgegrenzt wurde **(Bild 1)**. Die im Boden nachgewiesenen DEHP-Konzentrationen lagen zwischen 1,4 und 46 000 mg/kg, die MKW-Konzentrationen zwischen 7 und 6700 mg/kg.

Die maximalen Schadstoffkonzentrationen wurden im Bereich der wassergesättigten Bodenzone auf der Grundwasser-Oberfläche bzw. im Kapillarsaum zwischen der wassergesättigten und -ungesättigten Bodenzone in einer Tiefe von 12 bis 15 m unter Gelände (GW-Schwankungsbereich) ermittelt. Das DEHP/MKW-Gemisch liegt hier aufgrund seiner Dichte (0,9843 g/cm³ bei 20 °C) und der geringen Wasserlöslichkeit (29×10^{-6} g/l bei 20 °C) überwiegend als mit Wasser nicht mischbare Leichtphase (LNAPL) vor. Im Bereich des ehemaligen Erdtanklagers findet man eine nahezu durchgehende Belastung von der ehemaligen Tankgrubensohle bis in den GW-Schwankungsbereich. Entlang der ehemaligen unterirdischen Verbindungsleitung besteht eine oberflächennahe Bodenverunreinigung (bis ca. 2 m unter GOK).

Auf Grundlage der Analysenergebnisse der Sanierungsuntersuchung und unter Berücksichtigung der Stoffeigenschaften des DEHP/MKW-Gemisches wurde unter Zuhilfenahme eines Modellierungsansatzes zur Schadstoffausbreitung nachgewiesen, dass die Schadstoffe in einem begrenzten Korridor im Bereich der ehemaligen unterirdischen Tankanlage vertikal bis in den Grundwasser-Schwankungsbereich verlagert wurden. Die Eigenperkolation des DEHP/MKW-Gemisches ist auf den luftgefüllten Porenraum beschränkt, da die Dichte geringer als die des Wassers ist. Die Grundwasserfront wirkt als Sperrschicht einer weiteren vertikalen Ausbreitung entgegen. Ein lateraler Weitertransport von relevanten Schadstoffmengen ist nur über die gelöste Phase möglich, wird aber aufgrund der geringen Wasserlöslichkeit des DEHP/MKW-Gemisches als deutlich eingeschränkt bewertet.

Sanierungsplanung

Die Planung der Sanierungsmaßnahme erfolgte auf Grundlage der Ergebnisse der im Zeitraum von 1996 bis 1998 durchgeführten Sanierungsuntersuchungen. Grundsätzlich war vorgesehen, einen Schadstoffabbau in der wassergesättigten und -ungesättigten Bodenzone zu erreichen. Zur Auswahl einer effektiven Dekontaminationsmaßnahme wurde ein Vergleich verschiedener, grundsätzlich geeigneter Sanierungsverfahren durchgeführt.

Wassergesättigte Bodenzone

Für den Schadstoffabbau in der wassergesättigten Bodenzone wurden im Gelände Pilotversuche zur Phasenentnahme (MOP-Wringer-Skimmer-Verfahren, Schlürfpumpe, VLR-Verfahren) durchgeführt.

Neben der tatsächlich erreichten Fördermenge stellten die hydrogeologischen Standortbedingungen ein entscheidendes Kriterium für die Auswahl eines geeigneten Verfahrens dar.

Für die Grundwasser führenden Kiessande ließ sich nach den Ergebnissen von Kornverteilungsanalysen und Pumpversuchen eine gute hydraulische Leitfähigkeit (k_f-Wert ca. 10^{-3} bis 10^{-5} m/s) nachweisen. Auf Grundlage der ermittelten hydraulischen Leitfähigkeit wurde zur Erzeugung eines Absenktrichters von 1,95 m unter Ruhewasserspiegel eine Grundwasser-Förderrate von ca. 60 m³/h berechnet. Aufgrund der großen anfallenden Menge von abzureinigendem Grundwasser sollte auf eine Grundwasserabsenkung verzichtet werden. In den Pilotversuchen wurden beim Einsatz des MOP-Wringer-Skimmer-Verfahrens und einer Schlürfpumpe zur Phasenentnahme trotz Erzeugung eines ausreichend dimensionierten Entnahmetrichters nur geringe Mengen DEHP/MKW-Phase gefördert. Bei beiden Verfahren ließ sich die DEHP/MKW-Phase aufgrund der hohen Viskosität nicht kontinuierlich fördern.

Im Vergleich zu den zuvor beschriebenen Verfahren wurde im Pilotversuch zur Phasenentnahme mit dem VLR-Verfahren eine kontinuierliche Phasenförderung ohne Grundwasserabsenkung erzielt. Das Verfahren besitzt im Gegensatz zu den anderen o. a. hydraulischen Sanierungsvarianten den verfahrenstechnisch entscheidenden Vorteil, dass eine Grundwasserabsenkung zur Fassung der Schadstoffphase in den Entnahmebrunnen nicht erforderlich wird. Aufgrund dieser Vorgehensweise kann auf eine Wasseraufbereitung und Reinfiltration des eventuell mit DEHP/MKW verunreinigten Grundwassers und der damit verbundenen zusätzlichen Anlagentechnik verzichtet werden.

Weiterhin wurden im Rahmen der Sanierungsplanung Laborversuche zum mikrobiellen und oxidativen DEHP-Abbau im Grundwasser und Versuche zur Fassung der DEHP/MKW-Phase im Brunnen durchgeführt.

Wasserungesättigte Bodenzone

Die Laborversuche zum mikrobiellen Schadstoffabbau im Boden **(Bild 2)** zeigten, dass im Untergrund des Sanierungsbereiches ein natürlich vorhandenes Selbstreinigungspotenzial existiert. Die standorteigenen Mikroorganismen sind nachgewiese-

nermaßen zu einem aeroben DEHP-Abbau befähigt. Durch die Versorgung des Bodens mit anorganischen Nährstoffen und Sauerstoff im Labormaßstab konnten die limitierenden Faktoren des Schadstoffabbaus kompensiert werden. Der Einsatz einer mikrobiologischen *In-situ*-Sanierung erwies sich somit als eine effektive Maßnahme zur Dekontamination der wasserungesättigten Bodenzone.

Sanierungsverlauf

Die auf dem Grundwasser aufschwimmende DEHP/MKW-Phase wird mit Hilfe des VLR-Verfahrens direkt von der Grundwasser-Oberfläche entnommen. Unter Einwirkung von Unterdruck strömt die Leichtphase den speziell ausgebauten Sanierungsbrunnen zu und wird dort über Lufthebetechnik gefördert.

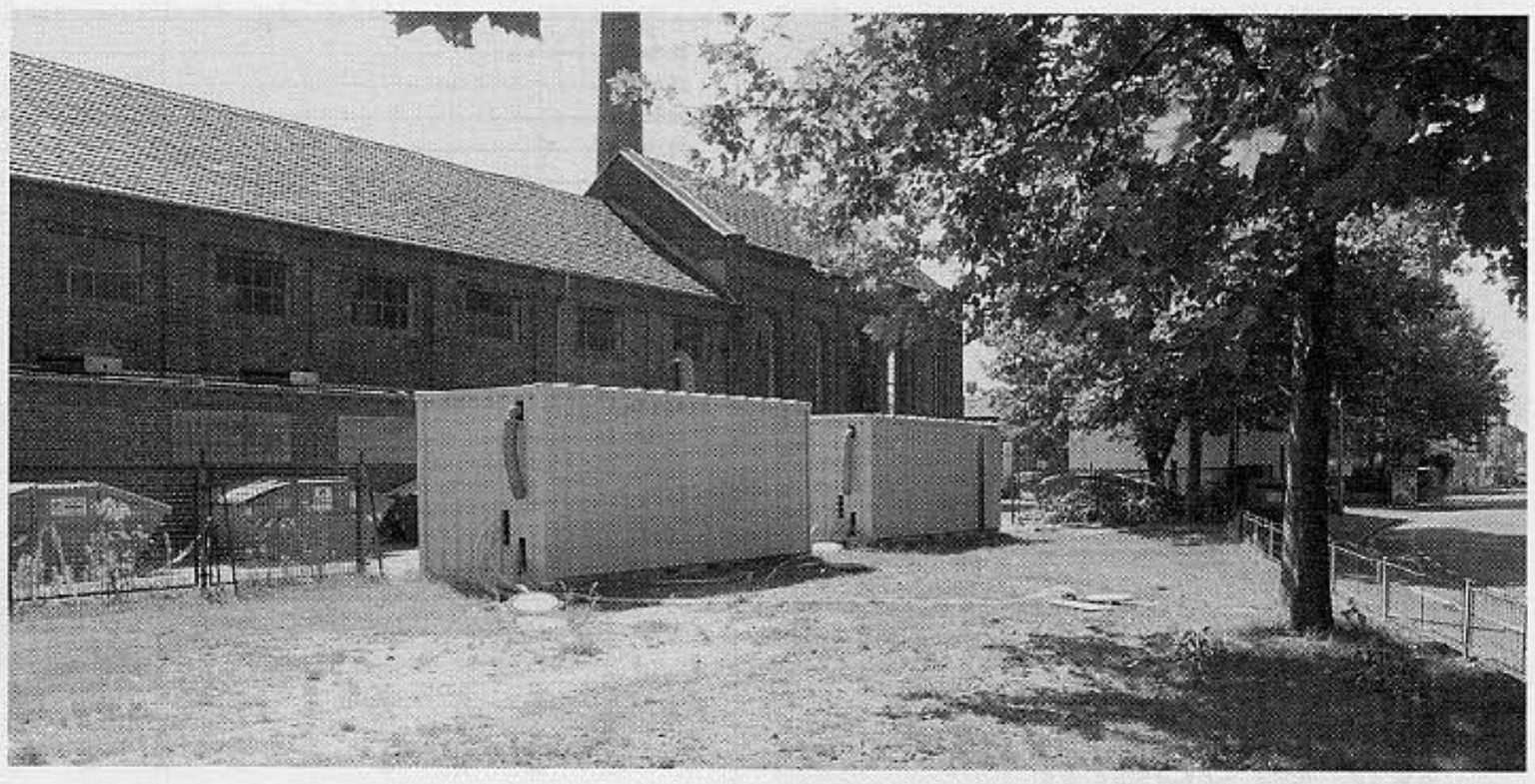
Eingesetzte Sanierungstechnik

Zur Fassung und direkten Entnahme der Schadstoffphase aus der wassergesättigten Bodenzone wurde folgender Sanierungsaufbau realisiert:

Im unmittelbaren Sanierungsbereich wurden sechs Sanierungsbrunnen durch Schneckenbohrung (Ø 380 mm) bis auf eine Endtiefe von 16 m unter GOK abgeteuft. Bis 13 m unter GOK wurden die Brunnen mit Stahlvollwand-Rohren (d = 200 mm) ausgebaut. Zwischen 13 und 15 m unter GOK (GW-Schwankungsbereich) erfolgte der Ausbau durch spezielle, von der IEG Technologie GmbH entwickelte Doppelmantelfilter. Unterhalb der Filter wurde bis zur Endteufe ein Sumpfrohr eingebaut. Die Ringraumverfüllung zwischen 16 und 15,50 m unter GOK erfolgte durch eine Tonabdichtung. Darüber folgte bis 12 m unter GOK Filterkies. Um Kurzschlussströmungen durch angesaugte Bodenluft zu vermeiden, erfolgte die Ringraumverfüllung oberhalb der Kiesschüttung durch eine 4 m dicke Tonabdichtung.

Die Sanierungsbrunnen wurden für die Installation der Sanierungsanlage mit Steig-/Förderleitungen zur direkten Schadstoffentnahme ausgebaut. Den Abschluss der Steigleitungen bildete ein Separationsfilter aus oleophilen Filtermaterialien. Die Separationsfilter verfügen über einen Schwimmkörper zur Anpassung an die z. T. starken Grundwasserschwankungen im Sanierungsbereich von bis zu 4 m. Die Steigleitungen wurden an den Brunnenköpfen befestigt. Die Erzeugung des erforderlichen Unterdruckes zur Erhöhung der Luft-Phasengrenzfläche im Sanierungsbrunnen erfolgte über am Brunnenkopf montierte Saugleitungen.

Die Sanierungsbrunnen wurden über Förder- und Saugleitungen mit dem Ölabsaugsystem verbunden. Das Ölabsaugsystem setzt sich aus sechs Sammelbehältern (V = 200 l), sechs Absauggebläsen (Seitenkanalventilator) und zwei Absauganlagen (Radialventilator) zusammen. Die Komponenten der Sanierungsanlage wurden in zwei Container eingebaut **(Bild 3)**. Die beiden Container verfügen über eine Sicherheitswanne mit entsprechendem Rückhaltevolumen und Leckagedetektor.



3: Die Komponenten der Sanierungsanlage wurden in zwei Container eingebaut

Sanierungsprinzip

Phasenentnahme

Durch den mit Ventilatoren erzeugten Unterdruck bewegt sich die DEHP/MKW-Phase horizontal mit Hilfe der zuströmenden Bodenluft in Richtung der Sanierungsbrunnen **(Bild 4)**. Im Brunnenraum führt der angelegte Unterdruck zu einer Erhöhung der Luft-Phasengrenzfläche. Die Entnahme der „erhöhten" Leichtphase erfolgt über ein Entnahmerohr mit Separationsfilter. Die DEHP/MKW-Phase „kriecht" zusammen mit der zutretenden Bodenluft entlang der Rohrwandungen zur Geländeoberfläche und wird in den Sammelbehältern aufgefangen.

Aufgrund der hohen Viskosität und des hierdurch bedingten langsamen Eintritts in den Brunnenraum der DEHP/MKW-Phase wird die Erzeugung des Unterdrucks und die Förderung der Phasen intervallweise über eine programmierte Steuerung durchgeführt. Der Intervallbetrieb hat den Vorteil einer Reduzierung der mit dem Schadstoffgemisch mitgeführten Wassermenge. Zusätzlich erfolgt aufgrund der oleophilen Eigenschaften der Filtermaterialien eine Abtrennung von Wasser bereits beim Eintritt in die Sanierungsbrunnen. Es wird daher überwiegend reine Leichtphase gefördert.

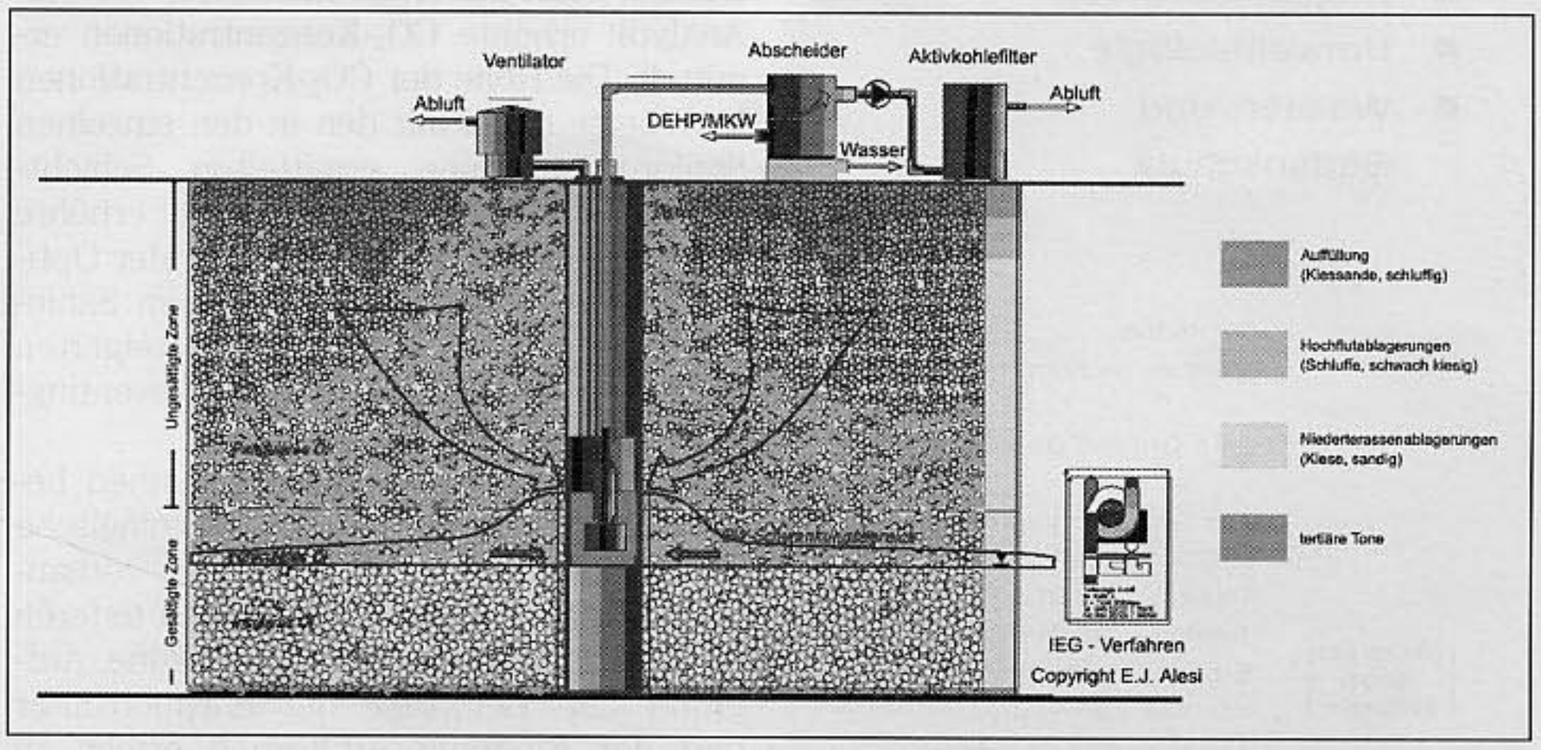
Mikrobiologischer Schadstoffabbau

Im Anschluss an die hydraulische Sanierungsmaßnahme erfolgt die mikrobiologische *In-situ*-Sanierung zur Entfernung der DEHP/MKW-Verunreinigung im Bereich der ungesättigten Bodenzone. Die Milieubedingungen für die autochthonen Mikroorganismen im Sanierungsbereich werden durch die Infiltration und Verteilung von anorganischen Nährstoffen und Sauerstoff optimiert und somit wird ein gesteigerter mikrobieller DEHP/MKW-Abbau erzielt.

Der Sanierungsbereich wird in einem Raster von ca. 2–3 m mit Sanierungslanzen erschlossen. Über die in unterschiedlichen Tiefenniveaus verfilterten Sanierungslanzen erfolgt die Infiltration von Nährstoffen (Phosphor, Stickstoff), Sauerstoff und ggf. im Labormaßstab adaptierten Mikroorganismenkulturen. Die Infiltration der Prozess- und Hilfsstoffe erfolgt im Überdruck. Auf diese Weise wird die Bioverfügbarkeit des DEHP/MKW-Gemisches gewährleistet und eine Pfropfenbildung durch Mikroorganismen im Korngerüst des Porenraumes verhindert.

Fazit/Ergebnisse

In der schon angelaufenen, ersten Sanierungsphase erfolgt der Einsatz des VLR-Verfahrens zur direkten Entfernung der Schadstoffphase aus dem Bereich der gesättigten Bodenzone. Die Quantität der direkt entnommenen DEHP/MKW-Phase ist abhängig von der Phasendicke im Grund-



4: Funktionsschema des VLR-Verfahrens

DMT

Wir erobern
die Tiefe

Fragen Sie unsere
Safe Ground Division

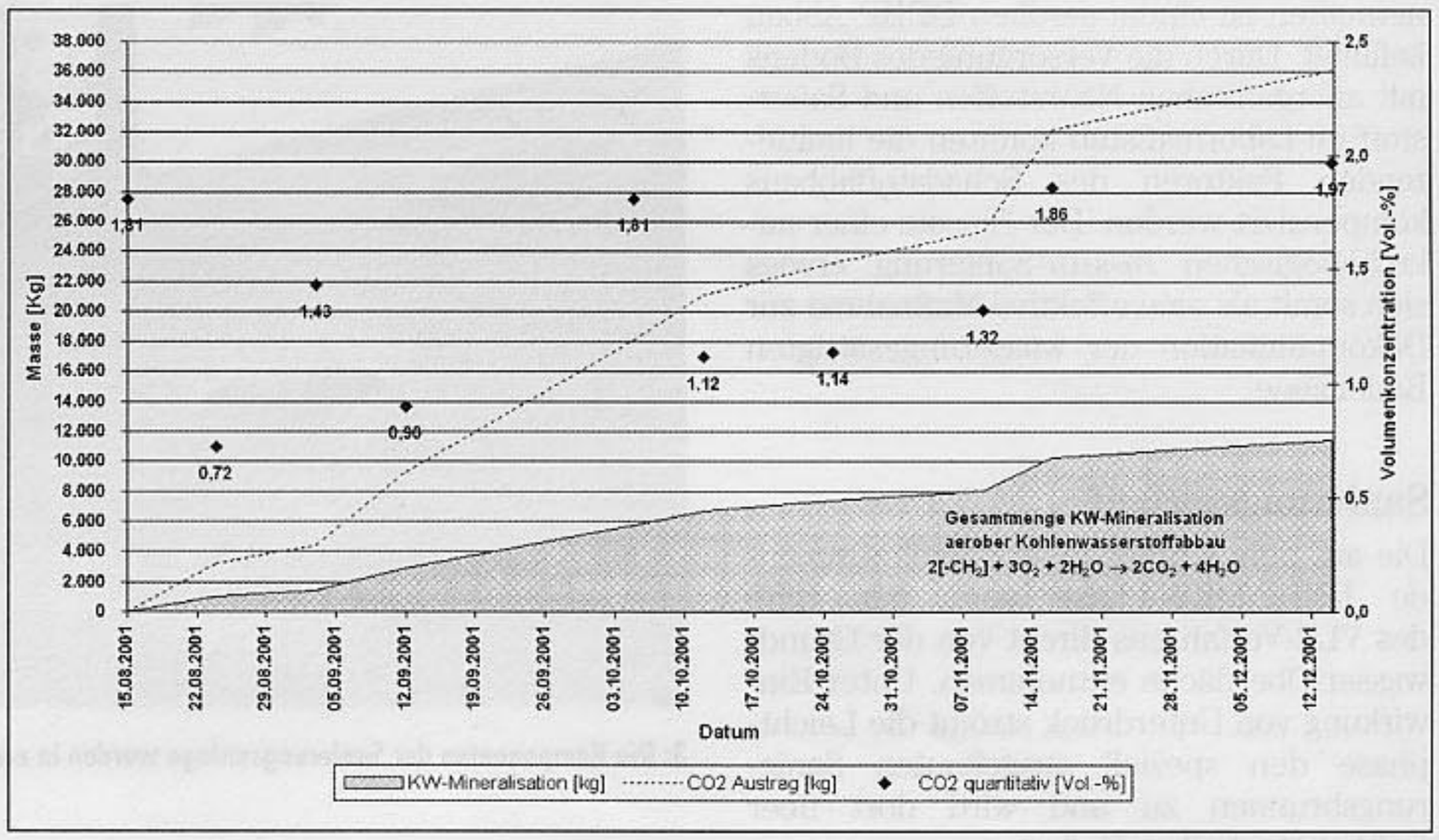
- Baugrund
- Bodenmanagement
- Geothermie
- Spezialtiefbau
- Tunnel- und Verkehrswegebau
- Hydrogeologie und Wasserwirtschaft
- Objektplanung
- Projektsteuerung
- Umweltbiologie
- Wasser- und Bodenschutz

Deutsche
Montan Technologie GmbH

Safe Ground Division

Am Technologiepark 1
45307 Essen
Telefon 02 01-1 72 19 00
Telefax 02 01-1 72 17 73
E-Mail safe-ground@dmt.de
Internet www.dmt.de

DIN EN ISO 9001 zertifiziert



5: Kohlenwasserstoff-Mineralisation Container 2 (SB 1, SB 2, SB 6)

wasser-Schwankungsbereich. Aufgrund der im Vergleich zum Grundwasser geringeren Dichte des DEHP/MKW-Gemisches sammelt sich die Ölphase an der Oberfläche des Kapillarsaums bzw. an der Grundwasser-Oberfläche, die eine natürliche Barriere für die weitere Schadstoffausbreitung darstellt.

Die ersten Sanierungsergebnisse zeigten, dass eine konstante Phasenförderung eine ausreichende Schichtdicke der DEHP/MKW-Phase in den Sanierungsbrunnen erfordert. Als optimal für die Fassung der Schadstoffphase in den Sanierungsbrunnen und somit für eine maximale direkte Schadstoffentnahme mit dem VLR-Verfahren erwiesen sich niedrige Grundwasserstände.

Zur Überprüfung der Abluftsituation der abgesaugten Bodenluft hat man im Rahmen der Sanierungsüberwachung die Hauptkomponenten der Bodenluft (u. a. CO_2, O_2) analysiert. Darüber hinaus wurde ein möglicher Metabolismus beim Schadstoffabbau überprüft. In diesen Untersuchungen wurde ein erhöhter mikrobieller Schadstoffabbau für den Sanierungsbereich konstatiert. Sekundärmetabolite in Form von DEHP- und MKW-Abbauprodukten ließen sich in der Bodenluft nicht feststellen.

In den einzelnen Sanierungsbrunnen wurden nach den Ergebnissen der Vor-Ort-Analytik erhöhte CO_2-Konzentrationen ermittelt. Die Höhe der CO_2-Konzentrationen korrelierte dabei mit den in den einzelnen Sanierungsbrunnen ermittelten Schichtdicken der DEHP/MKW-Phase. Der erhöhte mikrobiologische Abbau ist Folge der Optimierung der Milieubedingungen im Sanierungsbereich, speziell der gesteigerten Belüftung des Untergrundes (Bioventing-Effekt).

Im Bereich der Sanierungsbrunnen beschränkt sich der überwiegende biologische Abbau der in der Schadstoffphase vorhandenen Kohlenwasserstoffe auf den tieferen Bereich der ungesättigten Bodenzone. Aufgrund der Tiefenlage der Sorptionsfilter und der Ringraumverfilterung erfolgt in diesem Teufenbereich die gezielte Entfernung von CO_2 über die Hochdruck-Radialventilatoren. Zusätzlich wird noch Kohlendioxid durch die zur Phasenförderung installierten Seitenkanalventilatoren aus dem Untergrund entfernt. Bedingt durch die physikochemischen Eigenschaften sammelt sich das durch die mikrobiologischen Abbauprozesse gebildete Kohlendioxid im unteren Bereich der wasserungesättigten und unmittelbar oberhalb der gesättigten Bodenzone. Im Falle einer Anreicherung von höheren Volumenkonzentrationen an CO_2 kommt es zu einer Reduzierung der Sauerstoffkonzentration und somit zu einer Verringerung der mikrobiologischen Umsetzungsprozesse.

Durch gezielte Belüftung (IEG-Verfahren) über die Sanierungsbrunnen erfolgt der Austrag des CO_2 und somit eine Versorgung der Mikroorganismen mit Sauerstoff durch nachströmende Umgebungs-/Bodenluft. Ein weiterer positiver Effekt der gezielten Entlüftung im Grundwasser-Schwankungsbereich ist die Regulierung des pH-Wertes, wodurch eine Ausfällung von Metallen verhindert wird. Anhand der ermittelten CO_2-Konzentrationen in der Abluft der Sanierungsaggregate (integrierter Wert) wird ersichtlich, dass durch die Be- und Entlüftung des Untergrundes als Nebeneffekt der hydraulischen Sanierung eine Gesamtmenge von insgesamt ca. 23 000 kg Kohlenwasserstoffen mikrobiologisch abgebaut wurden **(Bild 5)**.

Ausblick

Aufgrund der positiven Nebeneffekte des VLR-Verfahrens auf die standorteigenen Mikroorganismen kommt es zu Umstrukturierungen im eigentlichen Sanierungsverlauf. Bedingt durch die bereits in der ersten Sanierungsphase erzielten biologischen Abbauleistungen wurde der Beginn der mikrobiologischen *In-situ*-Sanierung (zweite Sanierungsphase) auf das 2. Quartal 2003 verschoben. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass der ursprünglich geplante Umfang der mikrobiologischen Sanierung reduziert werden kann.