

# Thermische In-situ-Sanierung

## LHKW-Altlast wird während eines Industriehallenbaus saniert

Hans Joachim Schmitz, Stromberg

Dr.-Ing. Uwe Hiester, Dipl.-Ing. Martina Müller, Fellbach

Thermische In-situ-Sanierungen werden zusehends auch unter komplexeren Randbedingungen erfolgreich umgesetzt. Bei einer LCKW-Altlast (leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe) in einem Gießereibetrieb mit drei Kontaminations-schwerpunkten vorwiegend unter Gebäuden wurde sowohl bei laufender Produktion als auch während des Neubaus einer Halle saniert. Die eingesetzten thermischen In-situ-Verfahren THERIS und TUBA erreichten ihre Sanierungsziele jeweils binnen weniger Monate.

Im österreichischen Voralpenland sind Altlasten auf dem Gelände einer Gießerei saniert worden, indem thermische In-situ-Sanierungen in sehr kurzer Zeit erfolgreich umgesetzt wurden. Auf diesem Industriegrundstück werden seit 1958 Druck- und Spritzgussteile aus Magnesium, Aluminium und Kunststoff hergestellt. Ab dem Jahr 1964 wurden in verschiedenen Produktionsbereichen auf dem Werksareal Entfettungsanlagen betrieben, und zwar über lange Jahre in offener Bauweise. Zur Oberflächenbehandlung der Metallteile kamen dabei unterschiedliche Lösemittel bzw. leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) zum Einsatz. Vor allem wurden Tetrachlorethen (PER), Trichlorethen (TRI) und 1,1,1-Trichlorethan zur Entfettung verwendet. Durch Handhabungsverluste und seinerzeit zeitgemäße, aber nach heutigen Standards unzureichende Schutzvorkehrungen bei Lagerung und Gebrauch kam es zu Verunreinigungen des Untergrundes.

Am Standort einer bis 1991 betriebenen Dampfentfettungsanlage wurden bei Bodenuntersuchungen 1991/1992 Bodenverunreinigungen mit CKW festgestellt. Zwei voneinander abgegrenzte Schadensherde (Objekt 3/2 und Objekt 7) befanden sich unter oder neben genutzten Gebäuden und deren Zufahrten. Ab 1993 bzw. ab 1996 bis zum Jahr 2002 wurden hier konventionelle, „kalte“ Bodenluftabsaugungen betrieben. Dabei konnten 36 kg bzw. 207 kg CKW aus dem Untergrund zurückgeführt werden. Zudem wurde seit 1996 eine Grundwassersanierung durchgeführt. Im Zeitraum von 2004 bis 2006 wurden im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft ergänzende Untersuchungen gemäß § 14 Altlastensanierungsgesetz durchgeführt. Dabei zeigte sich neben den bekannten Kontaminationszentren im Bereich der Entfettungsanlage ein weiteres Schadenszentrum nahe dem ehemaligen Lagerbereich für Öl, Lacke und Chemika-

lien. Das 1964 genehmigte Lager war im Jahr 1993 vollständig saniert worden. Die höchsten Belastungen an ΣLHKW wurden hier mit 2.900 bis 9.900 mg/m<sup>3</sup> in der Bodenluft gemessen. Hauptsubstanz war bei allen Bodenluftproben Tetrachlorethen (PER). Auf Grundlage der gewonnenen Erkundungs- und Analysenergebnisse wurden im ehemaligen Lagerbereich zusätzliche Sanierungsmaßnahmen als sinnvoll und zielführend erachtet.

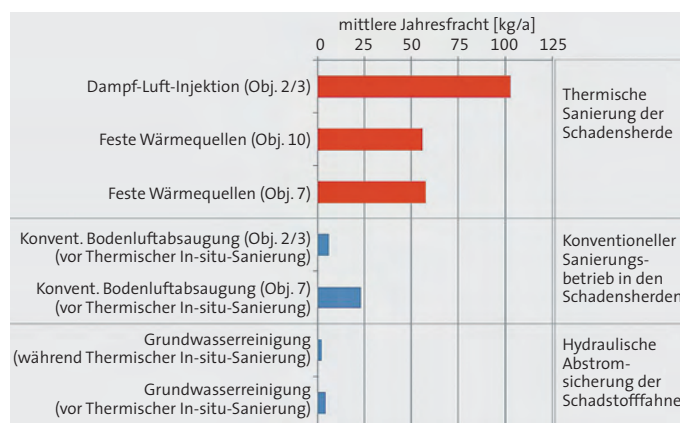
Der gesamte Schadstoffaustrag der bis zum Jahr 2009 vorgenommenen Sanierungsmaßnahmen (Grundwassersanierung und Bodenluftabsaugung) liegt bei rd. 350 kg CKW. Bei der durchaus nennenswerten Gesamtmenge sind die über den Betriebszeitraum gemittelten Frachten der Maßnahmen gemessen am Sanierungsvolumen als mäßig zu bewerten (Abb. 1, blaue Balken). Sowohl die CKW-Schadensherde in der ungesättigten als auch die wesentlichen Belastungen in der gesättigten Bodenzone waren mit diesen Maßnahmen nicht so zu entfernen, dass eine weitere Nachlieferung ins Grundwasser unterbunden werden konnte. Eine Sanierung der Schadensherde bei laufender Produktion im Werk war nur mit In-situ-Maßnahmen im Bodenkörper möglich.

Für eine zeitnahe und effiziente Entfernung der Schadensherde wurden ther-

mische In-situ-Sanierungen der ungesättigten und gesättigten Bodenzone mit begleitender Abstromsicherung des Grundwassers vorgesehen. Das Sanierungskonzept dazu wurde von der Fa. reconsite GmbH (Fellbach) als Spezialistin für thermische In-situ-Sanierungen entwickelt und maßgeblich umgesetzt. Thermische In-situ-Sanierungsverfahren erlauben durch die zügige Verdampfung von leicht- bis mittelflüchtigen Schadstoffen eine signifikante Verkürzung der Sanierungszeit und der Gesamtsanierungskosten. Grundsätzlich zu unterscheiden ist der Energieeintrag in den Untergrund, dessen Auswahl maßgeblich von der Durchlässigkeit des Bodens abhängt. In Böden mit geringer Durchlässigkeit erfolgt der Energieeintrag konduktiv mit Hilfe elektrisch betriebener, sog. fester Wärmequellen (THERIS-Verfahren, Abb. 2). In gut durchlässigen Boden wird hingegen ein Dampf-Luft-Gemisch injiziert und die Energie so konvektiv eingetragen (TUBA-Verfahren, Abb. 3).

Bei beiden Verfahren werden die gasförmigen Schadstoffe maßgeblich in der ungesättigten Bodenzone gefördert, untergeordnet hydraulisch über eine Abstromsicherung. Die schadstoffbelastete Bodenluft wird aus Einzelbrunnen abgesaugt und in Sammelsträngen zur Bodenluft-

Abb. 1:  
Mittlere Jahresfrachten über die gesamte Sanierungszeit:  
Thermische In-situ-Sanierung, kalte Bodenluftabsaugung, Grundwasserreinigung (Grafik: reconsite GmbH)



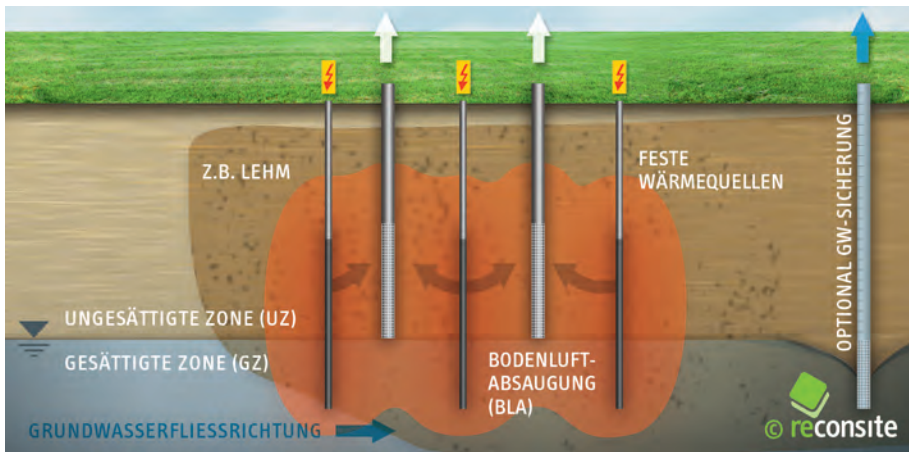


Abb. 2: Prinzipskizze des THERIS-Verfahrens (Grafik: reconsite GmbH)

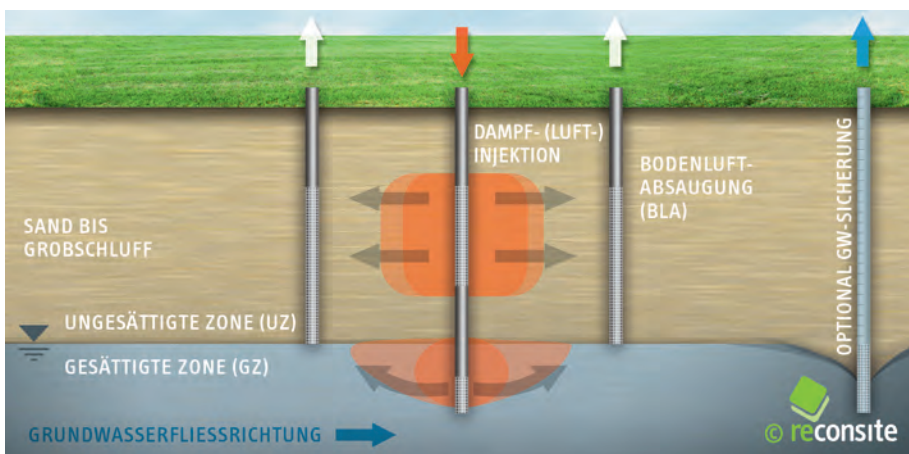


Abb. 3: Prinzipskizze des TUBA-Verfahrens (Grafik: reconsite GmbH)

absaugung geleitet. Sowohl der Durchfluss in den Einzelbrunnen als auch im Sammelstrang ist regelbar. Vor der Reinigung der Bodenluft über Luftaktivkohle wird die Wasserphase aus dieser abgetrennt und separat über Wasseraktivkohlefilter gereinigt.

## Sanierung während eines Industriehallenneubaus

Aufgrund des hohen Schluff- und Feinkornanteils der zum Teil verbackenen Kiese erfolgte eine Sanierung mit dem THERIS-Verfahren in den Objekten 7 und 10. Die Sanierung der ungesättigten und der gesättigten Bodenzone begann im Objekt 7. Nach Abschluss wurden die Anlagen zum Objekt 10 umgebaut. Die Sanierung im Objekt 10 fand maßgeblich in der ungesättigten Bodenzone statt, diese war zu Sanierungsbeginn ca. 3 m mit Stauwasser eingestaut und drainierte erst im Verlauf der Sanierung. Im Bereich des Objekts 3/2 wurde ein höherer Sand- und Kiesanteil erkundet. Daher kam das TUBA-Verfahren (Dampf-Luft-Injektion unter den Gebäuden) zur Anwendung. Die Injektion war anhand der Erkundungsdaten maßgeblich in der gesättigten Bodenzone geplant.

Als Abschaltkriterien für den Betrieb der Heiztechnik der thermischen In-situ-Sanierungen wurde mit den Genehmigungsbehörden ein Wert von  $50 \text{ mg/m}^3$  je Bodenluftbrunnen vereinbart. Um danach noch in der Bodenluft gelöste Restbelastungen zu fördern, wurde als Abschaltkriterium für die Bodenluftabsaugung ein Wert von  $20 \text{ mg/m}^3$  je Bodenluftbrunnen festgelegt. Technisch sind verfahrensbedingt auch geringere Werte mit thermischen In-situ-Sanierungen erreichbar. Besonders bei Bodenluftbrunnen

am Rand des Schadenszentrums können jedoch auch lateral geringe Restbelastungen außerhalb des Schadensherds angesaugt werden, die die Messwerte erhöhen und so einer zeitnahen Abschaltung entgegenwirken.

Parallel zu den thermischen Sanierungsabschnitten wurde eine hydraulische Grundwassersanierung betrieben. Diese wird kurzzeitig für Kontrollanalytiken auch nach der erfolgreichen thermischen Sanierung fortgeführt, soll jedoch 2015 dauerhaft außer Betrieb genommen werden können.

Da bei den Böden am Standort kein hoher organischer Anteil festzustellen war, musste nicht mit Gebäudesetzungen aufgrund von Änderungen des Wassergehalts als Folge der thermischen Sanierung gerechnet werden. Bei der Planung der Heizelemente und Dampf-Injektionsbrunnen wurde ein Mindestabstand zu Fundamenten der Gebäude berücksichtigt. Zudem sind die beheizten Bereiche deutlich unterhalb der etwa 1,0 bis 1,2 m mächtigen Fundamente. Die Oberkante der Heizelemente lag mindestens 3 m unter GOK, die Dampf-Injektion des TUBA-Verfahrens erfolgte mindestens 9 m unter GOK. Im Zuge der Vorbereitung der Bohrarbeiten wurden die Gebäudesubstanz dokumentiert und Vermessungsmarken sowie Intervalle beispielsweise an Stützen in der Nähe der Sanierungsbereiche festgelegt, um optionale Auswirkungen der Sanierungstätigkeiten auf tragende Gebäudeteile zeitnah erfassen, dokumentieren und bewerten zu können.

Die Bohrarbeiten, das Einrichten der Anlagen, das Verlegen der notwendigen Leitungen sowie der Sanierungsbetrieb erfolgten bei Objekt 7 und Objekt 3/2 unter Aufrechterhaltung der Produktionsabläufe im direkten Umfeld des Sanierungsbereiches (Abb. 4). Die Leitungen für die Bodenluftabsaugung und die Stromkabel der Heizelemente wurden teilweise



Abb. 4: Bohrarbeiten im Gebäude in der Nähe des laufenden Produktionsbetriebs (Foto: reconsite GmbH)



Abb. 5: Gebäudeabbruch bei Objekt 10  
(Foto: reconsite GmbH)



Abb. 6: Sanierungsbereich Objekt 10 vor Beginn des Hallenneubaus. Die Oberflächenabdeckung verhindert das Versickern von Regenwasser (Foto: reconsite GmbH)

unter der Hallendecke bzw. unter dem Hallenboden geführt, so dass in diesem Bereich ein ungehinderter Gabelstaplerverkehr sichergestellt war. In Folge der thermischen Sanierungsmaßnahme sanken die Grundwasserkonzentrationen bei Objekt 7 auf unter 2 µg/l. Nach Rückbau der Sanierungseinrichtungen wurde der vor dem Gebäude befindliche Bereich vom AG als Lagerfläche überbaut.

Bei der anschließenden THERIS-Sanierung in Objekt 10, dem Standort des ehemaligen Lagers für Öl, Lacke und Chemikalien, ergab sich gegenüber der ursprünglichen Planung eine abweichende Situation. Der Auftraggeber entschloss sich, die bestehenden Gebäude abzureißen (Abb. 5) und durch einen Hallenneubau zu ersetzen. Daher war diese Sanierung nach Rückbau der Gebäude (Abb. 6) mit den Bauabläufen des Hochbaus abzustimmen (Abb. 7).

Vergleichsrechnungen mit Bodenaustauschvarianten oder Großlochbohrungen ergaben deutliche Kostenvorteile für die thermische In-situ-Sanierung. Allerdings zeigte sich, dass durch die unabhängig voneinander ausgeführten Planungen für

die Bodensanierung und den Hallenneubau diverse Schnittstellen zwischen den Gewerken unberücksichtigt geblieben waren. Zur Vermeidung von Schnittstellenkonflikten während der Ausführung gab es Abstimmungen zwischen den Fachplanern der beteiligten Gewerke. Nach Planungsanpassungen war es möglich, die thermische In-situ-Sanierung mit dem THERIS-Verfahren umzusetzen und in direkter Nähe zum Sanierungsfeld sowohl die Fundamente und Pfähle einschließlich der aufragenden Betonstützen sowie Untergeschosse im Umfeld des Sanierungsbereiches zu errichten.

## Arbeitsschutz

Bei allen Arbeiten auf der Sanierungsbaustelle waren die Bestimmungen des Bundesgesetzes über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit (ArbeitnehmerInnenschutzgesetz – AschG), der Bauarbeiterschutzverordnung (BauV) und des Bauarbeitenkoordinationsgesetzes (BauKG, vergleichbar mit der deutschen Baustellenverordnung) zu beachten. Zu-

dem herrschte generell ein Rauch-, Ess- und Trinkverbot in den Sanierungsbereichen. Aufgrund der Erfahrungen aus den Erkundungsbohrungen und der geringen Exposition bei den Bohrarbeiten waren keine zusätzlichen Schwarzbereichsarbeiten erforderlich.

Die Bohrungen wurden als Trockenrotationskernbohrung DN100 mm mit einer Verrohrung von DN168 mm ausgeführt. Die Bohrbereiche wurden während der Arbeiten abgesperrt. Gefördertes Aushubmaterial wurde in Deckelmulden gefüllt, wenngleich das Bohrgut größtenteils organoleptisch unauffällig war. Vereinzelt Bohrkern wurden zur Profilaufnahme in ausgekleideten Kernkisten verbracht und die Kisten danach direkt verschlossen. Eine Bodenprobenahme mit Methanolvorlage erfolgte durch eingewiesenes Laborpersonal.

Bei der Anlageninstallation bestand keine Gefährdung einer potenziellen Exposition mit kontaminierten Materialien. Beim Anlagenbetrieb befinden sich die abgesaugten Schadstoffe in einem geschlossenen Leitungssystem. Entsprechend war auch für Dritte, wie das Werkspersonal und die Mitarbeiter der beteiligten Baufirmen, kein besonderer Arbeitsschutz im Umfeld des Sanierungsfeldes erforderlich. Vielmehr wurden Teilbereiche des Sanierungsfeldes Objekt 10 während des Betriebs dem Hochbau als temporäres Materialzwischenlager wieder zur Verfügung gestellt.

Im Bereich des Objektes 10 verbesserte eine einfache Oberflächenabdeckung die Bodenluftabsaugung, da so die Versickerung von Regenwasser in den Sanierungsbereich verringert werden konnte (Abb. 6). Die Schadstoffkonzentrationen der abgesaugten Bodenluft wurden, ebenso wie die Durchflüsse, automatisiert und fernüberwacht gemessen und erfasst. Zusammen-

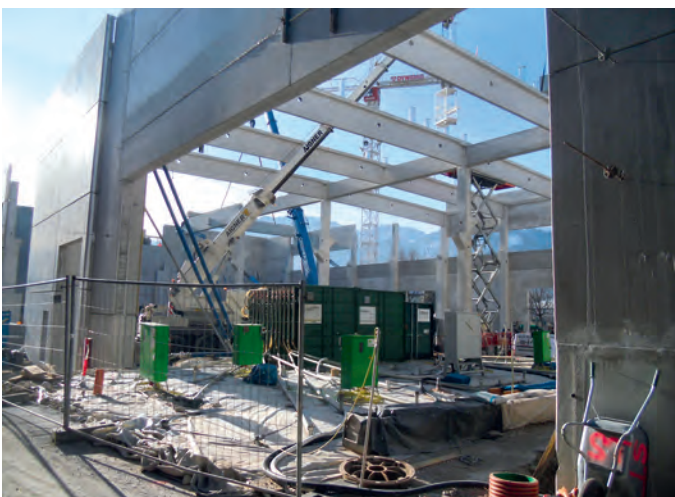


Abb. 7: Errichtung der neuen Produktionshalle während der thermischen In-situ-Sanierung von Boden und Grundwasser (Foto: reconsite GmbH)

mit der ebenfalls automatisierten Messung der Untergrunderwärmung und der Fernüberwachung der Sanierungsanlage war so eine zeitnahe Interpretation der sanierungsrelevanten Prozesse möglich. Zur Kontrolle der Reichweite und Effizienz der Bodenluftabsaugung erfolgten regelmäßige Messungen der Unterdrücke im bindigen Boden. Diese zeigten, dass der gesamte Sanierungsbereich einschließlich Randbereichen in den unterschiedlichen Betriebsphasen vollständig erfasst wurde und keine unkontrollierten Ausgasungen zu besorgen waren.

Ergänzend hierzu wurde der laterale Sanierungsfortschritt analysiert, indem manuelle Absaugtests an den Absaugbrunnen erfolgten. Etwa 80 % des Schad-

stoffaustrags erfolgte in den ersten zweieinhalb Monaten der Sanierung, die nach erfolgreicher Abreinigung der Randbereiche nach vier Monaten beendet wurde.

## Dampf-Luft-Injektion unter einem Gebäude (TUBA-Verfahren)

Unter dem Objekt 3/2 befand sich ein Sanierungsbereich, dessen Grundfläche aus der Erkundung zu rd. 150 m<sup>2</sup> abgeschätzt wurde. Aufgrund der hier beheimateten sensiblen Serienproduktion von Werkstücken waren sämtliche Arbeiten und Betriebszustände bei der Altlastensanierung so zu planen und umzusetzen, dass unvorhergesehene Störungen der Produktion des AG vermieden wurden. Die Arbeiten waren daher sehr eng mit diesem abzustimmen.

Aufgrund der hydrogeologischen Verhältnisse und der momentanen Gebäudenutzung kam für die Sanierung der Grundwasserbelastungen unter dem Gebäude das TUBA-Verfahren zum Einsatz (Dampf-Luft-Injektion). Die Schadstoffbelastung wurde überwiegend durch PER hervorgerufen. Für die Umsetzung der Sanierung wurde die Bodenluftabsaugung vom Objekt 10 zum Objekt 3/2 umgesetzt. Zur Dampferzeugung für die TUBA-Sanierung kam eine kleine mobile Dampfeinheit zum Einsatz.

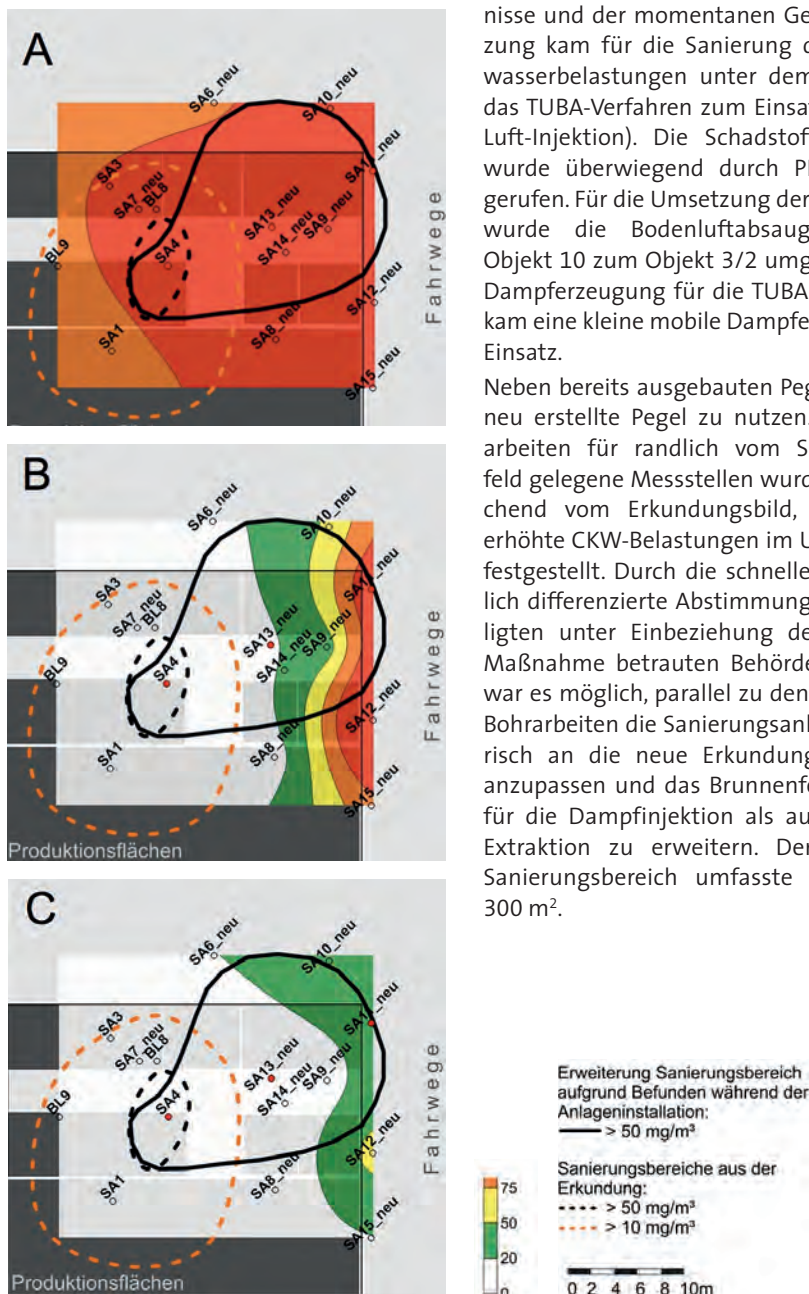
Neben bereits ausgebauten Pegeln waren neu erstellte Pegel zu nutzen. Bei Bohrarbeiten für randlich vom Sanierungsfeld gelegene Messstellen wurden, abweichend vom Erkundungsbild, hier lokal erhöhte CKW-Belastungen im Untergrund festgestellt. Durch die schnelle und fachlich differenzierte Abstimmung der Beteiligten unter Einbeziehung der mit der Maßnahme betrauten Behördenvertreter war es möglich, parallel zu den laufenden Bohrarbeiten die Sanierungsanlage planerisch an die neue Erkundungssituation anzupassen und das Brunnenfeld sowohl für die Dampfinjektion als auch für die Extraktion zu erweitern. Der gesamte Sanierungsbereich umfasste nun etwa 300 m<sup>2</sup>.

Für eine Inbetriebnahme der Dampfinjektion musste zunächst ein Freigabesignal von der in Betrieb befindlichen Bodenluftabsaugung übermittelt werden. Für einen sicheren Betrieb der Dampfinjektion unter dem Gebäude wurden zudem Notabschaltungen für den Dampf, Druckwächter in den Injektionsleitungen und eine permanente Raumluftüberwachung installiert. Letztere zeigte im Sanierungsbetrieb, dass trotz der vor über 10 Jahren beendeten kalten Bodenluftabsaugung CKW in der Raumluft in geringen und gesundheitlich unbedenklichen Konzentrationen nachweisbar waren. Mit fortschreitender thermischer Sanierung nahmen die Belastungen in der Raumluft nachweislich ab und waren nach etwa einem Monat Sanierungsbetrieb zumeist nicht mehr nachweisbar.

Der aus der Erkundung ermittelte Sanierungsbereich wurde binnen vier Monaten gereinigt. Laterale Restbelastungen wurden erst im laufenden Betrieb in einer Größenordnung festgestellt, die eine Erweiterung des Sanierungsfeldes sinnvoll erscheinen ließ. Diese randlichen Bodenluftbelastungen wurden in den letzten Monaten ebenfalls beseitigt (Abb. 8).

Zusammenfassend ist für alle drei Schadensherde festzustellen, dass thermische In-situ-Sanierungen in der Planung wie auch bei der Installation und im Betrieb den Aufwand für konventionelle Bodenluftabsaugungen oder Grundwassersanierungen oft deutlich übersteigen. Dieser Mehraufwand amortisiert sich jedoch durch die erheblich kürzere Betriebszeit und die höheren Schadstoffausträge (Abb. 1, rote Balken) dieser Technik. Die aufgezeigten Projektbeispiele belegen, dass mit professionellem Management und der Bereitschaft der Projektbeteiligten zu zeitnahen Entscheidungen auch komplexe Randbedingungen sicher beherrscht werden.

Abb. 8: Bodenluftkonzentrationen im Objekt 3/2 zu Sanierungsbeginn (A), nach vier Monaten (B) und nach acht Monaten (C) (Grafik: reconsite GmbH)



Autoren:

Hans Joachim Schmitz  
 Freier Baufachjournalist

Dr.-Ing. Uwe Hiester, Dipl.-Ing. Martina Müller,  
 reconsite GmbH

