

Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion – es geht ! - Machbarkeitsuntersuchung an einem Standort -

H.-P. Koschitzky¹, O. Trötschler¹, M. Epp², B. Lidola² S. Schulze³

¹ VEGAS, Universität Stuttgart

² Stadtbauamt Villingen-Schwenningen

³ GEOSens, Ingenieurpartnerschaft, Ebringen

Veranlassung

Auf dem Gelände des ehemaligen städtischen Verbrennungsplatzes Biswurm der Stadt Villingen-Schwenningen liegen entsprechend der Sanierungsuntersuchung des Ingenieurbüros GEOSens [1] im Bereich unterhalb der ehemaligen Verbrennungsbecken (ca. 800 m² Fläche) und in weiten Bereichen des umliegenden Geländes erhöhte Gehalte an CKW, BTEX und KW in der Bodenluft und dem Grundwasser vor. Der oberflächennahe Bereich der ehemaligen Verbrennungsbecken wurde im Jahr 2004 durch Aushub / Bodenaustausch bis max. 3,50 m Tiefe saniert. Dabei wurden etwa 7.100 t Boden verwertet / entsorgt. Das entfernte Schadstoffpotenzial betrug im Mittel 1.600 kg LHKW, 2.200 kg Kupfer, 40 kg Blei und 600 kg MKW. Zur Fassung der Bodenluft und des Sickerwassers wurden Drainageleitungen verlegt. Im Rahmen der Sanierungsuntersuchung [1] wurde eine Pilotsanierungsanlage installiert, von 08/2006 bis 05/2007 betrieben und mehrmonatige Bodenluftabsaugversuche und Multilevel-Pumpversuche durchgeführt. Vor Beginn der Dampf-Luft-Injektion konnten CKW-Konzentrationen im Grundwasser zwischen 1 mg/L (gesättigte Zone) und 40 mg/L (Drainage) und in der Bodenluft im Bereich zwischen 200 – 3.000 mg/m³ bestimmt werden.

Standortbeschreibung

Die anstehende Schichtenfolge besteht aus Auffüllungen, Verwitterungszone der Rötformationen (bindig, bis 3 m Teufe), Plattensandstein (bis 22 m Teufe), Mittlerer Buntsandstein (bis 37 m Teufe) und dem Grundgebirge (Granit). Das Ruhepotenzial des gespannten Aquifers im mittleren Buntsandstein liegt bei ca. 12 m u. GOK.

Das Schadstoffpotenzial kann im Bereich der ungesättigten Zone entsprechend den Bodenluftabsaugversuchen im Jahr 2007 [1] als vergleichsweise hoch angesehen werden. Über die Multilevel-Pumpversuchen im Rahmen der SU konnte die Schadstofflage in der gesättigten Zone im Bereich der ehemaligen Becken eingegrenzt werden. Es konnte ein hohes und vergleichsweise immobiles Schadstoffinventar im oberen Bereich des Plattensandsteins bestimmt werden. Im unteren Bereich des Plattensandsteins und im Kristallsandstein sind die Schadstoffe über Lösung im Grundwasser vergleichsweise mobil, d.h. hydraulisch gut erfassbar. Das Schadstoffpotenzial im eigentlichen Aquifer, dem Kristallsandstein kann geringer als im Plattensandstein eingestuft werden.

Zwischen beiden Sandsteinschichten besteht eine hydraulische Verbindung. Die trennenden Ton- und Schluffsteinschichten sind über vertikale Klüfte teilweise durchlässig [1]. Der Aquifer kann als Kluffgrundwasserleiter mit geringer Matrixporosität charakterisiert werden. Die durch VEGAS im Rahmen von Tracerversuchen (Nov. 2008 – März 2009) [2] bestimmten Abstandsgeschwindigkeiten im Bereich zwischen 100 – 300 m/d (bei laufender Grundwas-

ersanierung) lassen auf einen Porenanteil des Kluff-Matrix Systems kleiner 0,5% schließen.

Sanierungsoptionen

In der Sanierungsuntersuchung [1] und den aktuellen Tracerversuchen [2] wurde die Eignung einer hydraulischen Sanierung und Sicherung des Standorts nachgewiesen. Die Grundwassersanierungsanlage wird seit Februar 2009 wieder betrieben. Als mögliche Maßnahmen zur Verkürzung der Sanierungszeit der hydraulischen Sanierung wurden seitens des Stadtbauamts Villingen-Schwenningen und des Ingenieurbüros GEOSens im Rahmen der SU Air-Sparging oder thermische In-situ-Verfahren vorgeschlagen.

Nach Prüfung und Vorplanungen im Frühsommer 2008 durch VEGAS wurde im Zeitraum März bis September 2009 im Rahmen des Forschungsprogramms SAFIRA II des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung GmbH – UFZ, Leipzig, in Kooperation mit der Stadt Villingen-Schwenningen in „Biswurm“ eine thermische Pilotsanierung mit Dampf-Luft-Injektion im Kernbereich des Boden- und Grundwasserschadens durchgeführt. Die Maßnahme wird durch die LUBW und das Regierungspräsidium Freiburg fachlich unterstützt. Die Leitung des Pilotversuchs obliegt dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig, Department Grundwassersanierung. Mit der verantwortlichen Durchführung wurde VEGAS beauftragt. Die fachliche Planung und Überwachung der hydraulischen Sicherung wurde im Auftrag der Stadt Villingen-Schwenningen vom Ingenieurbüro GEOSens ausgeführt. Die Finanzierung tragen etwa zu je ein Drittel das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig, das Land Baden-Württemberg und die Stadt Villingen-Schwenningen.

Die Pilotanwendung ist von VEGAS als Feasibility-Studie konzipiert und dient neben dem erstmaligen Nachweis der technischen Machbarkeit und der Effizienz einer thermischen Sanierung mittels Dampf-Luft-Injektion im geklüfteten Festgestein der späteren Planung einer thermischen In-situ-Sanierung des Schadenskernbereichs im oberen Plattensandstein einschließlich einer entsprechenden Kostenschätzung.

Thermische In-situ-Sanierung mittels Dampf-Luft-Injektion (DLI) im geklüfteten Festgestein

Die Dampf-Luft-Injektion eignet sich zur Sanierung des Schadenherds aufgrund einer mittleren hydraulischen Durchlässigkeiten zwischen 10⁻⁴ - 10⁻⁵ m/s. DLI im Grundwasserbereich kombiniert die Verfahren Bodenluftabsaugung, Air-Sparging und Dampf-Injektion [3].

Verfahrensbedingt können bei DLI die in den Klüften vorliegenden Schadstoffe gasförmig ausgetrieben (verdampft) werden. Durch konduktive Erwärmung des Festgesteins über die Kondensation des Dampfanteils während der Ausbreitung des Dampfes in den Klüften, kann am Sandstein imprägnierter Schadstoff desorbiert und verdampft werden. Über einen hohen Luftanteil (ca. 10 Ma%) wird ein gasförmiger Schadstofftransport erzeugt, bzw. die Gefahr einer Flüssigphasenverfrachtung vermindert. Die ausgetragenen Kontaminanten (LHKW, BTEX und kurzkettinge MKW) werden über die Bodenluftabsaugung in der ungesättigten Zone erfasst und abgesaugt. Hierzu muss jedoch eine effektive pneumatische Verbindung zwischen den Klüften in der gesättigten und ungesättigten Zone und den Bodenluftabsaugbrunnen bestehen und nachgewiesen werden.

Das bei VEGAS entwickelte thermische In-situ-Verfahren ist in den letzten Jahren mehrfach zur Schadensherdsanierung in der gesättigten und ungesättigten Zone für BTEX und CKW im Rahmen von Pilot- und Feldanwendungen eingesetzt worden [3]. Ein Novum stellt die

thermische Sanierung in Klufthaquiferen dar.

Die „thermische Reichweite“, d.h. die radiale horizontale Ausbreitung des Dampfraums in der gesättigten Bodenzone kann derzeit für Porengrundwasserleiter über Typenkurven [4] näherungsweise ermittelt werden. Eine Aussage über die Ausbreitung in Klufthaquiferen ist derzeit schwer möglich, die Reichweite kann lediglich sehr grob abgeschätzt werden. Im Gegensatz zum Lockergestein kann sich im geschichteten und geklüfteten Festgestein (z.B. Plattensandsteinlagen) der Dampf in den verbundenen Klüften ausbreiten. In Abhängigkeit der Klufweite kann der Dampf mit einer vergleichsweise hohen Ausbreitungsgeschwindigkeit innerhalb der Klüfte strömen während er aufgrund des umliegenden kalten Bodens kondensiert.

Ziel der Pilotierung

Anhand einer Pilotanwendung mit einem Zeitrahmen von 7 Monaten sollte vorrangig die thermische Reichweite bestimmt werden. Als Voraussetzung zur Erfassung der verdampften Schadstoffe musste die pneumatische Verbindung zwischen den Klüften bis hin zur Bodenluftabsaugung nachgewiesen werden. Zudem sollen die zu erwartende Steigerung des Schadstoffaustrags und der zeitliche Verlauf der Erwärmung des Untergrunds in die Dimensionierung und Kostenschätzung einer thermischen Schadensherdsanierung einfließen.

Die Dampfinjektion erfolgte auf 3 Ebenen, an der Basis des oberen Aquifers, dem Plattensandstein (17 - 20 m u.GOK), auf Höhe des gespannten Aquifers (9,5 – 12,5 m u. GOK) und in der ungesättigten Zone (3,5 – 7,5 m u. GOK). Durch diese Anordnung sollte einer möglichen Limitierung der horizontalen Dampfausbreitung über verbundene, vertikale Klüfte entgegen werden. Ziel ist die Sanierung des oberen Aquifers und der ungesättigten Zone.

Eine Empfehlung zur Dampf-Luft-Injektion in den unteren Aquifer, den Kristallsandsteinformationen konnte nicht gegeben werden. Aufgrund der Tracerversuche [2] konnte jedoch gezeigt werden, dass im unteren Aquifer als innovative In-situ-Sanierungstechnik ISCO zur Grundwasseranierung bei der Sanierungsplanung erfolgversprechend ist.

Die thermische Sanierung erfolgte mit einer, für derartige Pilotsanierungen im Rahmen von übergreifenden F&E-Projekten konzipierten mobilen thermischen Sanierungsanlage in Modulbauweise (MOSAM, siehe Abb. 1).

Durchführung der Pilotinjektion

Zur Durchführung der Pilotinjektion wurde ein zentraler Injektionsbrunnen (I1, Abb. 2) mit drei Injektionsniveaus installiert. Hier besteht die Möglichkeit der selektiven und kollektiven Beschickung mit einer Dampf-Luft-Mischung mit Temperaturen bis 125°C und einer maximalen Leistung von 100 kW. Die Temperaturentwicklung wurde im projektierten Testfeld mit einem Durchmesser von ca. 12 m über Temperaturmesslanzen (T, Abb. 2) mit je 11 Pt-100 Temperaturfühlern im vertikalen Abstand von 2 m bestückt, überwacht. Diese sind im radialen Abstand zwischen 0,7 und 7 m um den Injektionsbrunnen verteilt und bis auf 20 m abgeteuft. Die mit den Schadstoffen angereicherte heiße Bodenluft wurde an den Brunnen GW8 (7 m östlich I1), einem Drainageschacht D2 (6 m westlich I1), an einem südlich im Abstand von 7 m zu I1 abgeteufte Bodenluftbrunnen E1, sowie einem Bodenluftbrunnen E2 (5 m nördlich I1) abgesaugt.



Abb. 1: Sanierungsanlage MOSAM und Ausstattung Pilotfeld (Photo VEGAS 2009)

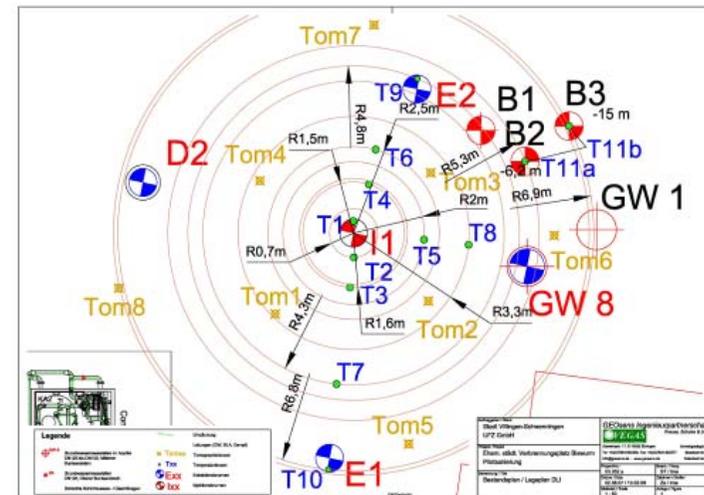


Abb. 2: Lageplan des Pilotierungsfeldes

Eine Grundwasserentnahme an E1 (0,5 - 1 m³/h) diene der hydraulischen Kontrolle der Sanierung im Nahbereich. Parallel wird im Abstrom der ehemaligen Verbrennungsanlage eine Grundwassersicherung mit ca. 14 m³/h Förderleistung betrieben.

Die In-situ-Sanierung untergliederte sich in mehrere Phasen:

Phase 1:	Bodenluftabsaugung (BLA) und Grundwasserhaltung	Dauer 2 Wochen
Phase 2:	BLA, Grundwasserhaltung und Air-Sparging,	Dauer: 4 Wochen
Phase 3:	Dampf-Luft-Injektion,	Dauer: 19 Wochen
Phase 4:	Abkühlungsphase,	Dauer: 4 Wochen.

Ergebnisse der Pilotinjektion

Mit einer vollständigen und raschen Wiederfindung des über Air-Sparging auf den unterschiedlichen Injektionsebenen zugegebenen CO₂ konnte die pneumatische Sicherung des Pilotfelds während den Gastracertests nachgewiesen werden. Aufgrund der geringen Porosität und der Gefahr des zu schnellen Dampfortschritts in den ausgeprägten Klüften wurde die Dampfmenge auf ca. 50 kW Injektionsleistung während Phase 3.1 (Injektion auf Aquiferbasis) reduziert. Ab Phase 3.2 wurde sowohl die Injektionsebene auf Höhe der Aquifersohle, als auch der Bereich auf Grundwasserspiegelhöhe simultan mit jeweils 42 kW beschickt. Während Phase 3.3 wurde die Injektionsleistung auf der Aquifersohle auf 20 % der Gesamtleistung von 95 kW beschränkt, die Injektionsleistung auf Grundwasserhöhe aufgrund des Schadstoffaustrags auf 47 kW erhöht und die Injektionsleistung in die ungesättigte Zone aufgrund der anzutreffenden Injektionsdrücke auf max. 30 kW beschränkt. In der anschließenden Phase 3.4 wurde die Ausbreitung entlang der Aquifersohle mit Erhöhung der Injektionsleistung von 50 auf 75 kW bestimmt. Der Schadstofftransport wurde über die simultane Dampf-injektion in die beiden oberen Zonen gewährleistet.

Das Ausbreitungsverhalten der Dampffront in allen Bereichen war durch eine ausgeprägte horizontale Ausrichtung gekennzeichnet. Es erfolgte kein deutlich messbarer Aufstieg des Dampfraums in vertikaler Richtung in Folge der Auftriebskräfte oder des Klufsystems. Das nicht durchströmte Festgestein wird mittels Konduktion erwärmt. Es konnten konduktiv Temperaturen bis zu 57°C erzielt werden (s. Abb. 3). Im Bereich der ungesättigten Zone konnte eine mittlere Erwärmung des Sanierungsfelds mit einem Radius von 14 m von 85°C erzielt werden. Für die gesättigte Zone und den Grundwasserwechselbereich lagen die mittleren Temperaturen mit ca. 63°C deutlich niedriger.

Zudem zeigte sich, dass die thermische Reichweite in der ungesättigten Zone und auf Höhe des Grundwasserspiegels nur durch den Energieeintrag, bzw. dem erfolgten Dampfbruch am Extraktionsbrunnen E2 (5 m Abstand zum Injektionsbrunnen) begrenzt wurde. Die maximale radiale Dampfausbreitung im unteren Aquiferbereich lag bei 2,0 - 2,5 m. Bedingt durch den Wärmetransport durch das Grundwasser konnte im Abstand von 4,3 m unterstromig des Injektionsbrunnens Temperaturen von bis zu 90°C gemessen werden. Es bleibt zu erwarten, dass bei einer deutlich höheren Injektionsleistung (200 kW anstelle 75 kW) auf Basis des Aquifers eine thermische Reichweite von 4 – 5 m erzielbar wäre. Die thermische Reichweite auf Grundwasserhöhe (10 – 12 m u. GOK) lag analog zur ungesättigten Zone bei ca. 5 m (Dampfdurchbruch an E2).

Die Eignung des thermischen In-situ-Sanierungsverfahrens der Dampf-Luft-Injektion zur Sanierung des vorliegenden Kluftaquifers konnte bestätigt werden. Die erforderlichen hohen Injektionsleistungen zur Erzielung einer sanierungstechnisch angemessenen Dampfausbreitung auf der Aquifersohle schränken jedoch den Einsatz der Dampf-Luft-Injektion in diesem Bereich ein (Wärmeverluste auf Grund von vertikalen Grundwasserzutritten von bis zu 1 l/s im Kluftgestein). Unter Berücksichtigung der Austragsleistungen an CKW aus dem unteren

Bereich des Aquifers im Vergleich zur Grundwasserhöhe und der ungesättigten Zone, sowie des erforderlichen hohen Energieeinsatzes wird im Rahmen der Sanierungsplanung für den Standort keine Injektion auf Höhe der Aquifersohle empfohlen.

Während der kalten Bodenluftabsaugung (Phase 1, Abb. 4) zeigte sich ein hohes Schadstoffpotenzial im Schadenszentrum mit Werten von mehreren g CKW / m³ Bodenluft. TCE war höher konzentriert als PCE. Während 3 Wochen Betrieb konnten bis zum Abfall der Werte ein annähernd gleichbleibend hoher täglicher Austrag um 3 kg/d erzielt werden. Der Einsatz des Air-Sparging lieferte nach Zuschaltung der Druckluftzugabe in den Grundwasserwechselbereich (Phase 2.2) eine Steigerung des Schadstoffaustrags auf Werte zwischen 3 – 5 kg/d mit deutlich abklingenden Konzentrationen zum Ende des zweiwöchigen Betriebs. Die Dampf-Luft-Injektion in die gesättigte Zone bewirkte eine leichte, zeitlich begrenzte Steigerung (Faktor 2) des Austrags. Eine deutliche Steigerung des gaseitigen Austrags wurde mit Zuschaltung der Dampf-Luft-Injektion auf Grundwasserhöhe (Phase 3.2) mit einem Faktor 3,5 im Vergleich zum Ende der Phase 1 und auf einem zum Air-Sparging vergleichbaren Niveau erzielt. Jedoch sanken die Konzentrationen innerhalb von 10 - 12 Tagen wieder auf das Niveau der kalten Bodenluftabsaugung ab.

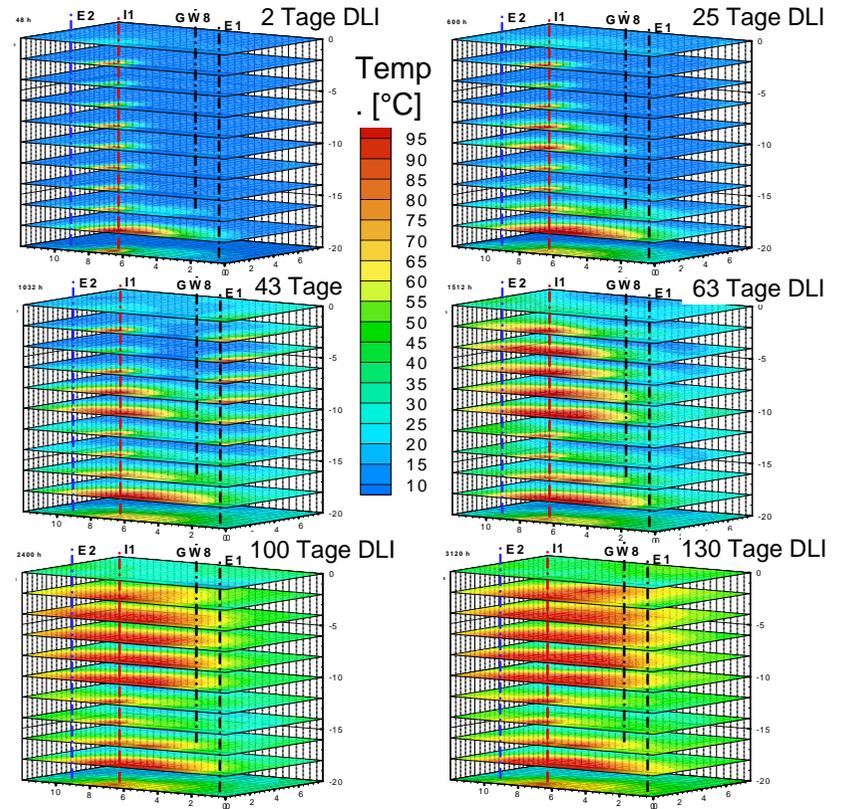


Abb. 3: Wärmeprofile (2 – 130 Tage DLI)

Die Zuschaltung der Injektion der Dampf-Luft-Mischung in die ungesättigte Zone bewirkte eine Erhöhung der Austragsleistungen in Folge des Dampfportschritts bis zum Durchbruch an E2 (105 Tage). Ausgehend von den dampfdurchströmten Klüften erfolgt die konduktive Erwärmung des Festgesteins mit Verdampfung und Austrag der Schadstoffe. Dies bewirkte bei gleichzeitiger Erhöhung der Injektionsrate in die ungesättigte Zone (Tag 117) eine Steigerung des Schadstoffaustrags auf 5 – 7 kg CKW/d. Die deutliche Erhöhung der Dampf-injektionsleistung in die gesättigte Zone (Phase 3.4, Tag 140) bei gleichzeitiger Rücknahme der Dampftrate in die beiden oberen Injektionsebenen zeigte keine weitere Steigerung der Austragsraten und Konzentrationen. Insgesamt gingen die Austragsleistungen und Konzentrationen während der abschließenden Dampf-Luft-Injektionsphase deutlich zurück. Sowohl die Austragsraten als auch die CKW-Konzentrationen lagen vor Ausschalten der Dampf-injektion bei ca. 50% der Werte zum Ende der Bodenluft- bzw. der Air-Sparging-Phase. Auffällig ist die nochmalige Steigerung der Austragsleistung am dem 168. Tag. Hier wurde die Luftinjektionsrate auf Höhe des Grundwasserspiegels erhöht.

Mit Ausschalten der Dampf-injektion (Tag 172) stiegen die Austragsraten nochmals deutlich über die Dauer von ca. 7 Tagen an. Dies ist auf die Ausbildung eines Vakuums im Kluffbereich durch das Kollabieren der Dampfzone zurückzuführen und ist typisch für eine Dampf-Luft-Injektion [5, 6, 7]. Erstaunlich ist im Vergleich zu den bisherigen Anwendungen die lange Dauer der Erhöhung, die auf den geringen Porenanteil und die Wärmeleitung aus dem Festgestein zurückgeführt werden könnte.

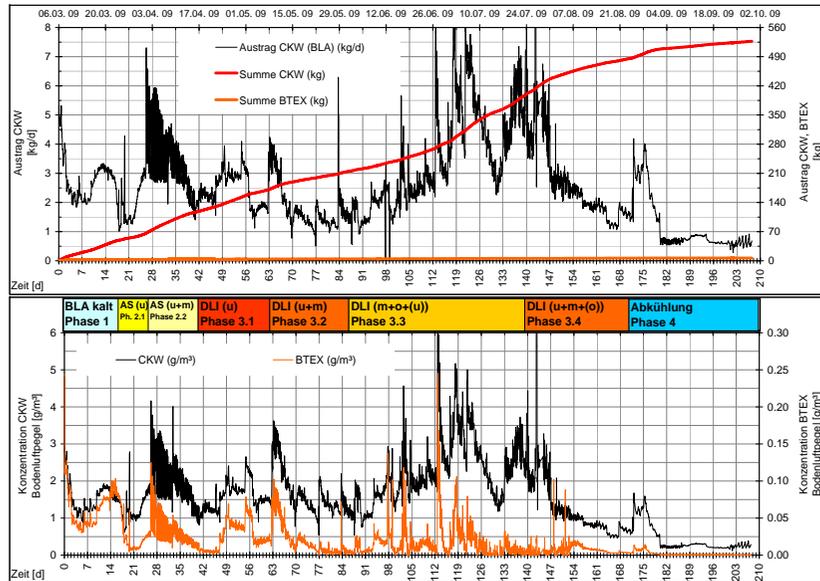


Abb. 4: Verlauf CKW und BTEX-Austrag und Massenbilanz mit BTEX und CKW-Konzentrationen in der Bodenluftabsaugung

In den nachfolgenden 4 Wochen Abkühlphase konnte im Wesentlichen keine Änderung des Schadstoffaustrags und der Konzentrationen beobachtet werden. Dies begründet den Erfolg der thermischen Bodensanierung. Der Schadstoffaustrag ist auf die Absaugung aus den belasteten Bereichen außerhalb der Behandlungszone zurückzuführen.

Die Konzentrationen der CKW und BTEX im entnommenen Grundwasser an den Sicherungsbrunnen GW10 – GW12 war in den ersten sieben Wochen stark rückläufig (Abb. 5). Von CKW-Gehalten zwischen 2 – 5 mg/l sanken die Werte auf 200 und 600 µg/l ab. Im weiteren Verlauf der Sanierung erfolgte der Rückgang kontinuierlich. Zum Ende der thermischen Sanierung lagen die Werte bei 112 µg CKW/l im unten liegenden Kristallsandsteinaquifer, bzw. zwischen 190 – 260 µg/l für den behandelten oberen Plattensandsteinaquifer.

Deutlich rückläufig waren die CKW-Konzentrationen des im direkten Abstrom des Pilotfelds gelegenen Brunnen E1. Von anfänglich 3 mg/l sanken die Konzentrationen auf Werte unter 100 µg LHKW/l Grundwasser ab. Die Gehalte waren während der Abkühlphase annähernd konstant. Diese Entwicklung kann als Indikator des Erfolgs einer thermischen Sanierung gewertet werden. Kurzfristig erhöhte Konzentration konnten an E1 stets bei Erhöhung der Injektionsleistung auf Grundwasserhöhe beobachtet werden. Aufgrund der Dimension der Konzentrationserhöhung kann dabei eine Phasenmobilisierung durch die fortschreitende Dampf-front ausgeschlossen werden.

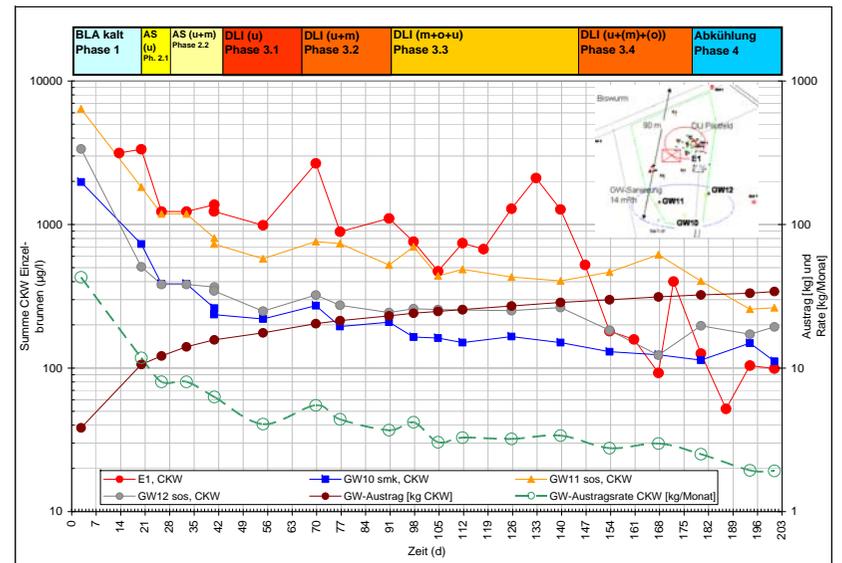


Abb. 5: Verlauf LHKW-Austrag und LHKW-Konzentrationen der Grundwasserhaltung

Insgesamt konnte über das Grundwasser ca. 6 % des Schadstoffaustrags entfernt werden (ca. 35 kg CKW). Über die Bodenluft wurden ca. 527 kg CKW und 6,5 kg BTEX in 30 Wochen Betrieb entfernt.

Zum Vergleich: In der Sanierungsuntersuchung wurden während 38 Wochen Betrieb bereits

303 kg LHKW über eine Bodenluftabsaugung entfernt und 165 kg LHKW über die Entnahme an 5 Grundwasserbrunnen und der Sickerwasserdrainage in der Vor-Ort-Anlage gereinigt.

Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse der Pilotanwendung haben gezeigt, dass der vorliegende obere Kluftaquifer (Plattensandstein) für eine thermische In-situ-Sanierung geeignet ist. Mit einer Steigerung des Schadstoffaustrags um einen Faktor 2 – 5 im Vergleich zum Air-Sparging, bzw. „kalten“ Bodenluftabsaugung kann gerechnet werden. Die Dampfausbreitung auf Höhe der Aquiferbasis fiel deutlich geringer aus als für die oberen Bereiche. Aus Kosten-Nutzen Erwägungen kann daher eine thermische Sanierung des unteren Aquiferbereichs nicht empfohlen werden, wenngleich dies technisch möglich ist. Im oberen Aquifer und in der ungesättigten Zone, mit einer erzielten thermischen Reichweite von mehr als 10 m Durchmesser, kann eine kosten- und zeiteffiziente Sanierung der Plattensandsteinschichten erfolgen und empfohlen werden.

Bis Ende Oktober 2009 wird die Sanierungsplanung für eine thermische Sanierung des oberen Grundwasserbereichs und der ungesättigten Zone mittels DLI am Standort für eine Fläche von ca. 2.800 m² und einer Mächtigkeit von 15 m abgeschlossen sein. Die Planungen sehen eine abschnittsweise thermische Sanierung der Kontamination über die Dauer von 2 Jahren unter Einsatz von ca. 30 Injektions- und Extraktionsbrunnen und einer Injektionsleistung von ca. 500 kW vor. Zu empfehlen ist eine intermittierende Dampfinjektion, die neben der Reduzierung der Energiekosten zur Erhöhung des Schadstoffaustrags über Ausgasungsvorgänge im Festgestein führt.

Für eine In-situ-Sanierung des unteren Aquifers (Kristallsandsteinformationen (>20 m u. GOK), bzw. des unteren Plattensandsteinaquifers könnte aufgrund der Ergebnisse von Tracerversuchen [2] ISCO als innovatives In-situ-Sanierungsverfahren ISCO zur Grundwasser-sanierung bei der Sanierungsplanung empfohlen werden.

Schlussbemerkungen und Danksagung

In Deutschland und auf EU-Ebene laufen derzeit zahlreiche Initiativen und Bemühungen lang laufende oder als bisher „aussichtslos“ eingestufte Sanierungen von Boden- und Grundwasserkontaminationen voranzubringen und „nachhaltig“ zu sanieren. Dabei stellen CKW-Schadensfälle die größten und am weitesten verbreiteten Schadensfälle dar. Besonders schwierig und bisher kaum einer Sanierung zugänglich, sind diese Schäden in Kluftaquiferen. Innovative In-situ-Sanierungsverfahren können - unter sorgfältiger Planung und Anwendung - einen Beitrag zur Lösung dieser Probleme leisten. Die Anwendungsmöglichkeiten aber auch die Grenzen dieser Verfahren bedürfen daher dringend der Bekanntmachung und des Technologietransfers dieser, zum Teil neu entwickelten Technologien in die Praxis.

Die Stadt Villingen-Schwenningen leistet hierfür einen wichtigen Beitrag durch ihre Bereitschaft und die gebotene Möglichkeit, das innovative thermische In-situ-Sanierungsverfahren der Dampf-Luft-Injektion erstmals und unter wissenschaftlicher Begleitung in einem Kluftaquifer anwenden zu können. Hierfür und insbesondere auch den beteiligten Behörden sei für ihre Innovationsbereitschaft besonders gedankt. Dank gilt natürlich auch allen Geldgebern, dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH, UFZ, Leipzig, dem Land Baden-Württemberg und der Stadt Villingen-Schwenningen. Ein besonderer Dank gebührt dem Ingenieurbüro GEOsens für die Betreuung und Leitung der Sanierungsplanung.

Literaturhinweise

- [1] GEOsens Ingenieurpartnerschaft (2007): 03.052a ehem. Städt. Verbrennungsplatz Biswurm Sanierungsuntersuchung Juni 2007, Bericht vom 10.10.2007
- [2] Koschitzky, H.-P., Trötschler, O. (2009): Markierungsversuche zur Prüfung der hydraulischen Eignung hinsichtlich ISCO am Standort „Biswurm“ in Villingen, Schwarzwald-Baar-Kreis, Technischer Bericht Nr. 2009/07 (VEG 37)
- [3] Koschitzky, H.-P., Trötschler, O. (2008): Thermische In-situ-Sanierungsverfahren: Einsatzbereich, Dimensionierung und erfolgreiche Anwendung, Handbuch Altlastensanierung und Flächenmanagement, 55. Aktualisierung, 3. Aufl., Mai 2008, Franzius, Altenbockum, Gerhold (Hrsg.), C. F. Müller Verlagsgruppe, München, 5716, pp. 1 – 47, Grundwerk ISBN 978-3-8114-9700-9
- [4] Ochs, S.O. (2006): Steam injection into saturated porous media – process analysis including experimental and numerical investigations, Mitteilungen Heft 159, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, ISBN 3-933761-63-8
- [5] Trötschler, O., Koschitzky, H.-P., Ochs, S.O., Denzel, S. und K. Stöckl (2006): Dampf-Luft-Injektion in die gesättigte Zone: Pilotanwendung zur Sanierungsplanung an einem innerstädtischen Standort im Rheintal. In: Braun, J.; Koschitzky, H.-P. & M. Stuhmann (eds.): VEGAS-Statuskolloquium 2006, Mitteilungen Nr. 150, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, ISBN: 3-933761-53-0, S. 60-70
- [6] Koschitzky, H.-P., Trötschler, O., Denzel, S. und K. Stöckl (2006): In-Situ-Sanierung von CKW-Schadensherden im Grundwasser - innovative Lösung eines scheinbar unlösbaren Problems. DECHEMA Tagung In-Situ-Sanierung (20. - 21. November 2006, Frankfurt am Main).
- [6] Trötschler, O., Koschitzky, H.-P., Limburg, B., Hirsch, M. und H. Weiß (2007): Pilotanwendung DLI Zeit: Erste Ergebnisse der thermischen Sanierung des Kernbereichs eines Benzolschadens mittels Dampf-Luft-Injektion. In: Braun, J.; Koschitzky, H.-P. & M. Stuhmann (eds.): VEGAS-Statuskolloquium 2007, Mitteilungen Heft 165, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, ISBN: 3-933761-69-7, S. 52-63

Anschrift der Autoren:

Dr.-Ing. Hans-Peter Koschitzky, Dipl.-Ing. (FH) Oliver Trötschler,
Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung, VEGAS Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 61, 70569 Stuttgart, Germany
Tel.: 0711 / 685 64717, Fax : 0711 / 685 67020,
E-Mail: koschitzky@iws.uni-stuttgart.de, oliver.troetschler@iws.uni-stuttgart.de

Dipl.-Ing. Bernd Lidola, Dipl.-Geoök. Michaela Epp
Stadt Villingen-Schwenningen, Stadtbauamt, Abt. Wasser und Boden
Marktplatz 1, 78054 Villingen-Schwenningen
Tel.: 07720 / 82 26 72, Fax: 07720 / 82 26 69
E-Mail: bernd.lidola@villingen-schwenningen.de, michaela.epp@villingen-schwenningen.de

Dipl.-Geol. Stefan Schulze
GEOsens Ingenieurpartnerschaft
Gewerbestr. 17, 79285 Ebringen
Tel.: 07664 / 9625-68, Fax : 07664 / 9625-77
E-Mail: st@geosens.de