Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

HESSEN

Altlasten-
annual 2011

Thermische In-Situ-Sanierung (Pilotversuch) am Beispiel „ehemalige Lederfabrik Berninger“ in Idstein

Michael Woisnitza, Anselm Reuter & Uwe Hiester

1 Einleitung

Auf dem Gelände der ehemaligen Lederfabrik Berninger in Idstein sind über einen Zeitraum von mehr als 20 Jahren umfangreiche Bodenluft- und Grundwassersanierungsmaßnahmen von Verunreinigungen durch leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW) durchgeführt worden. Die aktiven Sanierungsmaßnahmen der Bodenluft wurden im Jahre 2001 auf Grund geringer Effektivität und des Grundwassers 2004 auf Grund deutlich zurückgegangener LCKW-Gehalte, insbesondere im früher hoch mit LCKW belasteten ehemaligen Betriebsbrunnen BR III, eingestellt.

Auf Grundlage der gegenwärtigen Schadenssituation besteht für das Grundwasser eine geringe Gefährdung. Diese erfordert allerdings weiterhin eine längerfristige Monitoring-Überwachung der Schadstoffentwicklung. Die Möglichkeiten für MNA/ENA am Standort sind aus hydrogeologischen Gründen als kritisch zu beurteilen.

Für eine Sanierung der wasserungesättigten Bodenzone im Innenhofbereich der ehem. Lederfabrik Berninger bietet sich, aufgrund der spezifischen Standortverhältnisse, eine Thermische In-Situ-Sanierung sog. „THERIS-Verfahren“ als innovative Alternative an. Dieses Verfahren ist bei den vorliegenden Untergrundverhältnissen zur Entfernung der LCKW aus der wasserungesättigten Bodenzone geeignet.

Die Wirksamkeit des sog. „THERIS-Verfahrens“ am Standort sollte daher im Rahmen eines entsprechenden Pilotfeldversuches überprüft werden.

Die Umsetzung des innovativen Konzeptes „Pilotfeldversuch zur thermischen In-Situ-Sanierung“ der wasserungesättigten Bodenzone im Innenhof der ehem. Lederfabrik Berninger erfolgte im Zeitraum Mai 2010 bis März 2011. Die Durchführung des „Theris-Pilotfeldversuches“ am Standort selbst erfolgte von Ende Oktober 2010 bis Mitte Januar 2011.

2 Nutzung und Historie

Die ehemalige Lederfabrik Berninger & Co. hat sich auf der Parzelle 37 (unterteilt in 37/1, 37/2, 37/3) befunden. Die Teilparzelle 37/3 mit dem LCKW-Haupteintrag befindet sich im Besitz der Berninger i. L.. Dieses ca. 1 000 m² große Flurstück ist zu etwa dreiviertel im Norden mit dem mehrgeschossigen Produktionsgebäude der ehemaligen Lederfabrik und im Süden mit eingeschossigen Werkstattgebäuden bebaut. Dazwischen befindet sich der Innenhof.

Abb. 1: Bild der ehem. Lederfabrik Berninger in Idstein.

Bei der Produktion von Lederwaren wurde von 1937 bis 1985 eine Lederentfettungsanlage betrieben. Die Entfettung erfolgte unter Anwendung von Trichlorethen (TRI) und umfasste den Betrieb einer Rückdestillationsanlage und die Lagerung von zusammen ca. 10 m^3 TRI in zwei oberirdischen Tanks.

Aus unsachgemäßer Anwendung bzw. Lagerung stammt die Verunreinigung der Bodenluft, des Bodens und des Grundwassers mit Schwerpunktbelastung auf der aus der Teilung des Gesamtgrundstückes hervorgegangenen Teilparzelle 37/3, auf der die Entfettungsanlage stand.

3 Schadenscharakteristik

Auf dem Berninger-Gelände waren in der wasserungesättigten Bodenzone, vorwiegend im Löß/Lößlehm, LCKW vorhanden. Insbesondere bei hohen Grundwasserständen ist ein Kontakt zwischen LCKW-belasteten Bodenschichten und dem Grundwasser gegeben, so dass weiterhin ein Schadstoffeintrag in das 1. Grundwasserstockwerk stattfindet.

Zur Überprüfung der aktuellen Belastungssituation im Boden erfolgten im Frühjahr 2010 nachfolgende Arbeiten:

- Räumung der künftigen Sanierungszone im Innenhof (Entsorgung von hausmüllartigen Abfällen)
- Status – Quo - Untersuchung der bekannten Belastungsbereiche (Innenhof/angrenzende Flächen)

Die „Status – Quo Untersuchung“ im Innenhofbereich hat ergeben, dass auf dem Flurstück 37/3 immer noch hohe LCKW-Gehalte (mit bis zu 180 mg/kg) bis in eine Tiefe von ca. 5,0 m angetroffen werden. In allen Bohrungen wurde Stau-/Schichtenwasser festgestellt, das auch in größere Tiefen eindringt.

4 Klassische Bodenluftabsaugung (1996-2001) und Grundwassersanierung (1989-2004)

Als Sofortmaßnahme wurde mit Mitteln der Wasseraufsicht des Rheingau-Taunus-Kreises im Januar 1989 eine Bodenluftabsaugung und Grundwasserbehandlung (Stripanlage) mit Reinigung der Abluft in Aktivkohlefiltern in Betrieb genommen. Das Abwasser wurde über eine Druckleitung in den Wörsbach abgeschlagen.

Ab Oktober 1996 bis April 2001 erfolgte eine Bodenluftsanierung.

Im Bereich des Schadenszentrums (Flurstück 37/3) befanden sich in einem Tiefenbereich von ca. 1,0 m bis 5,0 m unter Gelände, wie Untersuchungen vom September 2002 belegten, weiterhin erhöhte Schadstoffbelastungen durch LCKW (Bodenluft/Feststoff). Aufgrund der Bindigkeit der betroffenen Bodenschichten und des geringen Grundwasserflurabstandes sind weitere Sanierungsmaßnahmen mittels „kalter“ Bodenluftabsaugung jedoch nicht effizient.

In Abstimmung mit dem Regierungspräsidium Darmstadt wurde im Juni 2004 die Grundwassersanierungsmaßnahme eingestellt, die Sanierung in eine Monitoring-Phase überführt und die Sanierungsanlage rückgebaut.

Anhand der seit Juli 2004 durchgeführten Monitoring-Untersuchungen wurde im August 2005 eine Gefährdungsabschätzung für das Grundwasser vorgenommen. Demnach geht gegenwärtig von im Boden verbliebenen LCKW-Belastungen nur eine geringe Gefährdung für das Grundwasser aus. Eine Fortführung der hydraulischen Sanierungsmaßnahmen wurde als nicht sinnvoll und unverhältnismäßig beurteilt.

Der Schadstoffaustrag betrug bisher ca. 700 kg LCKW über die Bodenluft und ca. 250 kg über den Grundwasserpfad.

5 Pilotfeldversuch mit THERIS-Verfahren

Im LCKW-Eintragsbereich im Hof der ehemaligen Lederfabrik wurde der Pilotfeldversuch zu einer Thermischen In-Situ-Sanierung (THERIS-Verfahren) vorgeschlagen, um das Schadstoffpotenzial zu verringern.

Der wesentliche Vorteil dieses Verfahrens gegenüber einem möglichen Bodenaushub besteht darin, dass eine Reduzierung des Gefährdungspotentials für das

Grundwasser durch die Dekontamination auch tiefer liegender Bodenschichten unter Beibehaltung der bestehenden Bebauung erreicht werden kann. Gleichzeitig wird das kontaminierte Stau-/Schichtwasser erfasst. Bei diesem Verfahren erfolgt mittels Heizsonden eine Aufheizung des Bodens, wodurch die LCKW in die Gasphase überführt und anschließend abgesaugt werden.

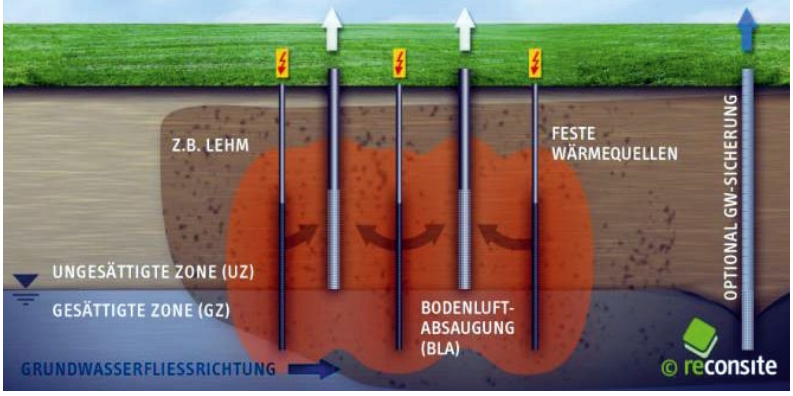

Abb. 2: Prinzipskizze THERIS-Verfahren.

Die im Rahmen der „Status Quo"-Untersuchung festgestellten standortspezifischen Verhältnisse bieten gute Voraussetzungen für den Einsatz des Thermischen THERIS-Verfahrens.

5.1 Verfahrensprinzip (thermische In-situ-Sanierung als innovatives Verfahren)

Üblicherweise werden Bodenluftabsaugungen bei „natürlichen" Untergrundtemperaturen von ca. 10 °C betrieben. Dieses Verfahren wird im Folgenden „kalte" Bodenluftabsaugung genannt. Thermische In-situ-Sanierungen machen sich zu Nutze, dass der Dampfdruck und der Henry-Koeffizient exponentiell mit der Temperatur ansteigen. Dadurch kommt es mit der Erwärmung des Untergrundes zu einer beschleunigten Überführung der Schadstoffe in die Gasphase. Liegen zwei nicht mischbare Flüssigkeiten vor, kommt es zum Gemischsieden bzw. zur Wasserdampfdestillation. Hierbei addieren sich die Dampfdrücke der Einzelkomponenten, so dass die eutektische Temperatur beim Sieden des Gemisches unter der Siedetemperatur der Einzelkomponenten liegt. Die extrahierte, erwärmte Bodenluft muss bei Bedarf abgekühlt werden und kann anschließend konventionell gereinigt werden.

Die Art des Energieeintrags hängt maßgeblich von der Durchlässigkeit des Bodens ab. In Böden mit geringer Durchlässigkeit kann der Energieeintrag konduktiv mittels elektrisch betriebener Wärmequellen erfolgen (THERIS-Verfahren). Hierbei werden die Wärmequellen für eine optimierte Energiezufuhr einzeln geregelt.

Die schadstoffbelastete Bodenluft wird aus den Einzelbrunnen abgesaugt und in Sammelsträngen zur Bodenluftabsaugung geleitet. Sowohl der Durchfluss in den Einzelpegeln als auch im Sammelstrang ist regelbar. Vor der Reinigung der Bodenluft wird die Wasserphase aus dieser abgeschieden und separat gereinigt (z. B. Wasseraktivkohle oder Stripper). Die Überwachung des Schadstoffaustrags kann manuell über eine stichprobenartige Kontrolle oder kontinuierlich über eine automatisierte Überwachung erfolgen.

5.2 Versuchsaufbau

Auf einer Fläche von ca. 20 m² wurde (unter Berücksichtigung des Bestandes an Leitungen, Kanal, ehemaliger unterirdischer Tank) im Oktober 2010 der THERIS-Pilotversuch eingerichtet. Für den Versuch wurden zum Einbau der Heizelemente HE1 bis HE7 sowie der vier Temperaturprofile T1 bis T4 Kleinrammbohrungen mit einem Durchmesser von 80 mm bzw. 60 mm erstellt. Außerdem wurde im Bohrdurchmesser 80 mm der Bodenabsaugpegel BL1 und später der Pegel BL2 (Bohrdurchmesser 220 mm) errichtet. Anschließend wurden die Heizelemente und die Temperatursensoren eingebaut.

Zur Überwachung der Bodentemperatur wurden insgesamt 21 Temperatursensoren in den vier Temperaturprofilen T1 bis T4 in einem Tiefenbereich von 1 bis 4 m unter GOK in einem Abstand von 0,75 m eingebaut.

Die Heizelemente und der BL1/BL2 wurden im Bereich der höchsten LCKW-Konzentration platziert.

Auf dem Lageplan Abbildung 3 sind die Heizelemente HE1 bis HE7, die Temperaturprofile T1 bis T4, die neu errichteten Bodenluftabsaugpegel BL1 und

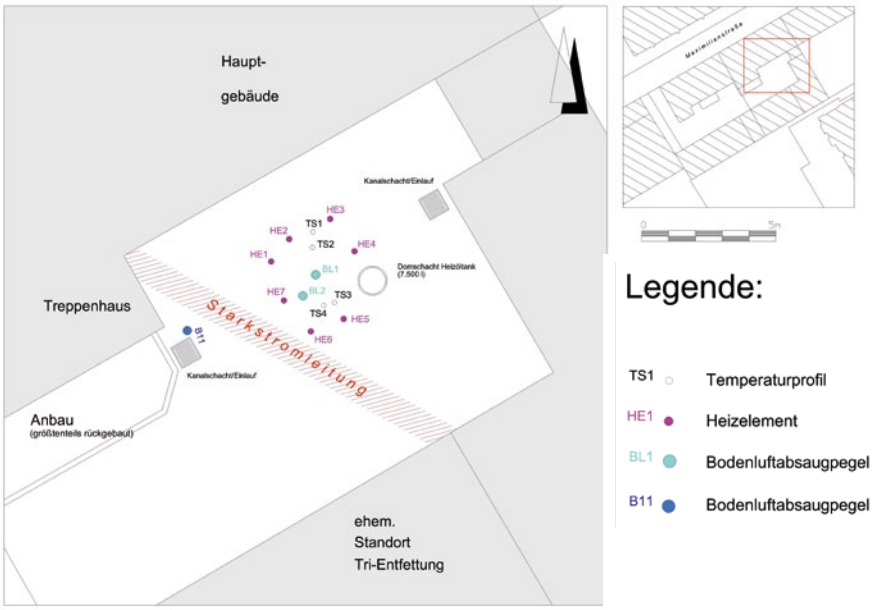

Abb. 3: Lageplan mit der Konfiguration des THERIS-Versuchs Lederfabrik Berninger (© HPC).

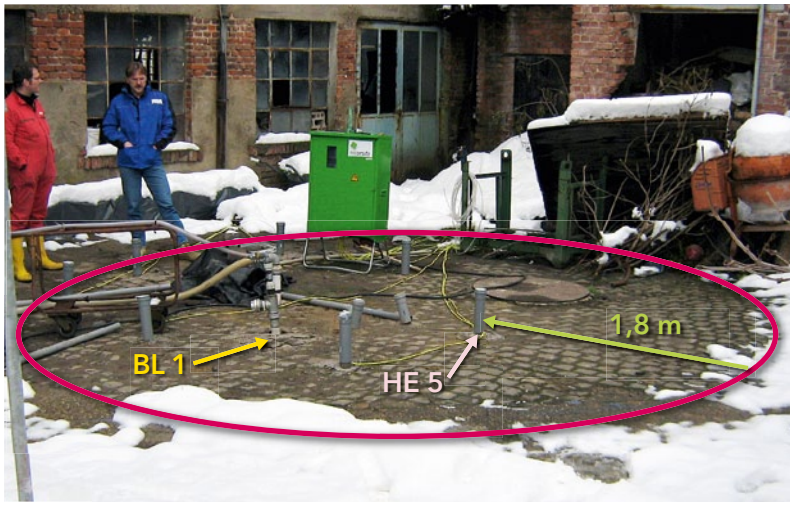

Abb. 4: THERIS-Pilotfeldversuch in Betrieb, geschmolzener Schnee im aufgeheizten Bereich (© HIM-ASG).

BL2 sowie ein bereits im Jahre 1999 gebauter Absaugpegel B11 dargestellt. Außerdem ist dem Plan die Lage des 7500 l-Heizölkugeltanks sowie zweier Kanalschächte zu entnehmen, wobei ein verbindender Kanal zwischen beiden Einläufen anzunehmen ist.

5.3 Versuchsdurchführung

Vor Beginn des Versuchs wurde bereits im Mai 2010 eine „Status-Quo"-Erkundung zur Eingrenzung der Belastungen und Verifizierung der nach der klassischen „kalten" Bodenluftabsaugung verbliebenen LCKW im Hofbereich nach Räumung der Flächen (ca. 22 t Abfälle wurden fachgerecht entsorgt) durch-

Tab. 1: Phasen und LCKW-Austrag THERIS-Pilotfeldversuch.

Phase	Sanierungsbetrieb	Zeitraum	Austrag [kg]
0	„kalte“ Bodenluftabsaugung, Einsatz Pegel BL1	28.10.2010 bis 04.11.2010, 7 Tage	< 0,1
1	THERIS-Verfahren, Einsatz Pegel BL1	04.11.2010 bis 18.11.2010, 14 Tage	ca. 0,2
2a	THERIS-Verfahren, Einsatz Pegel BL2	18.11.2010 bis 10.12.2010, 22 Tage	ca. 14,3
2b	THERIS-Verfahren, Einsatz Pegel BL2+B11	10.12.2010 bis 17.12.2010, 7 Tage	ca. 1,6
3	Nachlaufende „warme“ Bodenluftabsaugung, Einsatz Pegel BL2+B11	17.12.2010 bis 17.01.2011, 31 Tage	ca. 3,0
Summe			**ca. 19,2**

geführt. Ein vorhandener Heizöltank im Innenhof wurde fachgerecht entleert, gesäubert und stillgelegt, um ex-fähige Luftmischungen im Einflussbereich der thermischen Aufheizung zu vermeiden.

In der Tabelle 1 sind die Phasen 0 bis 3 des THERIS-Pilotversuches mit Dauer dargestellt.

Die Versuchsphasen wurden messtechnisch, analytisch bzw. gutachterlich begleitet und dokumentiert.

Zur Absaugung der Bodenluft wurde eine Vakuumpumpe mit einem Saugvermögen von 140 m^3/h und einer Motorleistung von 3 kW eingesetzt. Zur Abluftreinigung wurden zwei in Reihe geschaltete Luftaktivkohlefilter (je 200 l) verwendet. Aufgrund des hohen Wasserandrangs im Pegel BL1 wurde ab Mitte November 2010 ein „Schlürfersystem“ zur Absaugung des angetroffenen Stau- und Schichtwassers installiert. Das anfallende Schichtenwasser wurde über einen Wasseraktivkohlefilter (50 l) gereinigt.

In der Phase 0 für wurde für eine Zeitdauer von 7 Tagen eine klassische „kalte“ Bodenluftabsaugung am Pegel BL1 durchgeführt. Anschließend folgte eine 14-tägige Sanierung mit Einsatz des THERIS-Verfahrens (Phase 1) mit dem Betrieb des Pegels BL1. Auf Grund eines pneumatischen Kurzschlusses am BL1 wurde der BL2 neu errichtet und die Bodenluftabsaugung aus diesem zur Steigerung des Austrags für eine Dauer von 3 Wochen bei aufgeheizten Bodenverhältnissen fortgesetzt.

Um während des THERIS-Pilotversuches möglichst viele Schadstoffe aus dem Untergrund zu entfernen, wurde für eine Dauer von 7 Tagen neben dem Pegel BL2 auch der 1999 errichtete Pegel B11 in die Sanierung einbezogen (Phase 2b). Um die weiterhin im Untergrund vorhandene Restwärme zu nutzen, wurde in der Phase 3 für eine Dauer von ca. 1 Monat eine nachlaufende „warme“ Bodenluftabsaugung ebenfalls über die Pegel BL2 und B11 nachgeschaltet.

Mittels einer kontinuierlich laufenden gaschromatographischen Bestimmung der LCKW-Gehalte (Online-Messung alle 15 Minuten) wurde die Schadstoffentwicklung während der Sanierung überwacht. Durch die Entnahme von Rohluftproben und anschließender gaschromatographischen Untersuchung im Labor wurde ein Abgleich der Online-Messungen durchgeführt.

Im Anschluss an den Pilotversuchs erfolgte eine Erfolgskontrolle mit Bestimmung der LCKW-Restkonzentrationen mittels Rammkernsondierungen mit entsprechender Analytik auf LCKW.

6 Ergebnisse und Bewertung

6.1 Temperaturentwicklung

Auf der Abbildung 5 sind die natürlichen Temperaturen im Boden vor Beginn der Aufheizung dargestellt (siehe Abbildung 5).

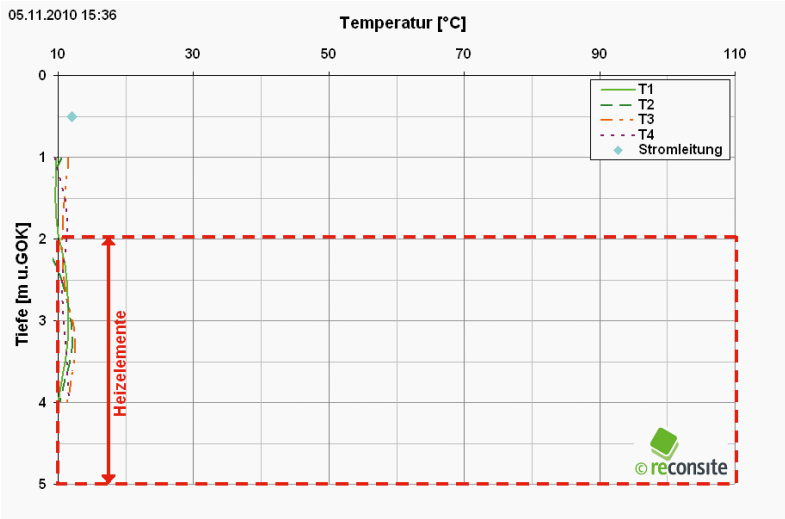

Abb. 5: Tiefentemperaturprofile T1 bis T4 (vor Beginn der Aufheizung).

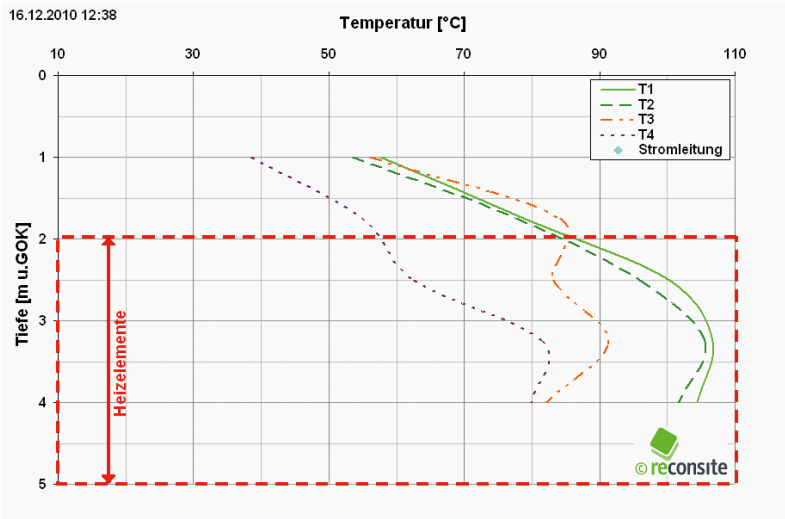

Abb. 6: Tiefentemperaturprofile T1 bis T4 (nach 6 Wochen THERIS-Betrieb).

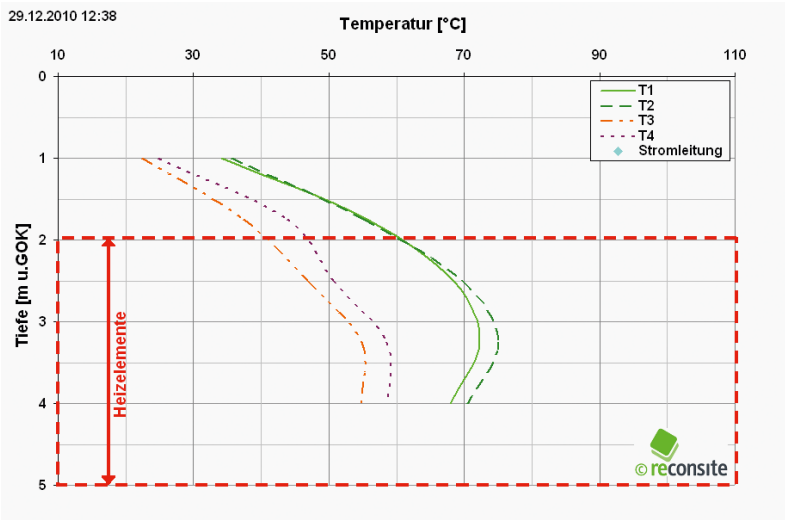

Abb. 7: Tiefentemperaturprofile T1 bis T4 (ca. 14 Tage nach Abschaltung Aufheizung).

Nach ca. 6-wöchigem Aufheizen des Bodens lagen Temperaturen in einer Spanne zwischen 58 und maximal 107 °C vor (siehe Abbildung 6). Das Temperaturmaximum lag dabei in der Tiefenzone von 3–4 m unter Gelände.

Entsprechend des Abstandes der Temperaturprofile zu den Heizelementen wurden in den Profilen T1 und T2 (Nähe Heizsonden HE2 und HE3) die höchsten Temperaturen gemessen. Das Profil T4, das sich am weitesten entfernt von Heizelementen befand, wies dementsprechend eine geringere Aufheizung auf. 14 Tage (siehe Abbildung 7) nach Einstellung des Aufheizbetriebs wurde weiterhin eine deutlich erhöhte Temperatur des Bodens festgestellt, so dass in den Temperaturprofilen T1 und T2 in einer Tiefe von 3–4 m unter Gelände noch eine Temperatur von über 70 °C gemessen wurde.

6.2 Schadstoffentwicklung

Zu Beginn der Pilotierung wurde in der abgesaugten Bodenluft des Pegels BL1 während der Phasen 0 und 1 auf Grund eines pneumatischen Kurzschlusses nur LCKW-Konzentrationen von wenigen mg/m³ festgestellt (siehe Abbildung 8).

Mit der Fortsetzung der Absaugung (Phasen 2a und 2b) über den neu errichteten Pegel BL2 wurden jedoch in der Rohluft wesentlich höhere Schadstoffgehalte festgestellt. Zu Beginn wurden hier fast 2 000 mg/m³ an LCKW, davon größtenteils Trichlorethen mit fast 1 800 mg/m³ und an cis-Dichlorethen mit ca. 200 mg/m³ ermittelt. Im weiteren Verlauf der „warmen“ Absaugung wurden, wie der Abbildung 8 zu entnehmen ist, Schwankungen von einigen 100 mg/m³ ermittelt. Am 29.11.2010 wurde eine Spitzenkonzentration mit 2 560 mg/m³ gemessen.

Mit dem Anschluss des zusätzlichen Pegels B11 wurde zwischenzeitlich wieder eine Erhöhung der LCKW-Gehalte erzielt. In Phase 3 der nachlaufenden warmen Bodenluftabsaugung wurden noch LCKW-Gehalte in der Rohluft bis zu einigen 100 mg/m³ festgestellt. Allerdings war ca. 5 Tage vor Ende der Absaugung eine Abnahme der Konzentration auf unter 25 mg/m³ zu verzeichnen.

6.3 Schadstoffaustrag

Im Rahmen der THERIS-Pilotierung wurden rund 19,2 kg LCKW über die Bodenluft entfernt. Davon entfielen ca. <0,1 kg auf die „kalte“ Bodenluftabsaugung“ (Phase 0), ca. 0,2 kg auf Phase 1, ca. 15,9 kg auf die Phasen 2a und 2b und etwa 3 kg auf die nachlaufende „warme“ Bodenluftabsaugung. In der Tabelle 1 (Kapitel 5.3) ist der LCKW-Austrag während des THERIS-Pilotversuches dargestellt.

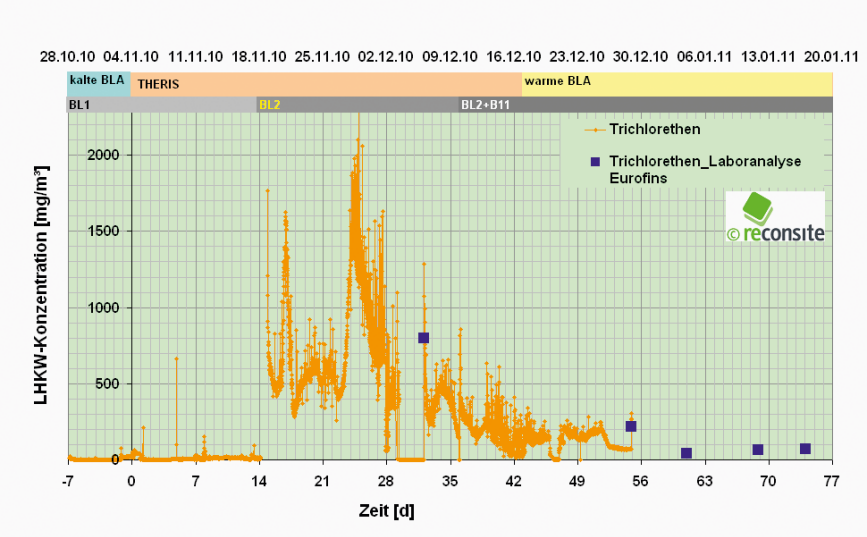

Abb. 8: LCKW-Schadstoffentwicklung (Hauptschadstoff Trichlorethen).

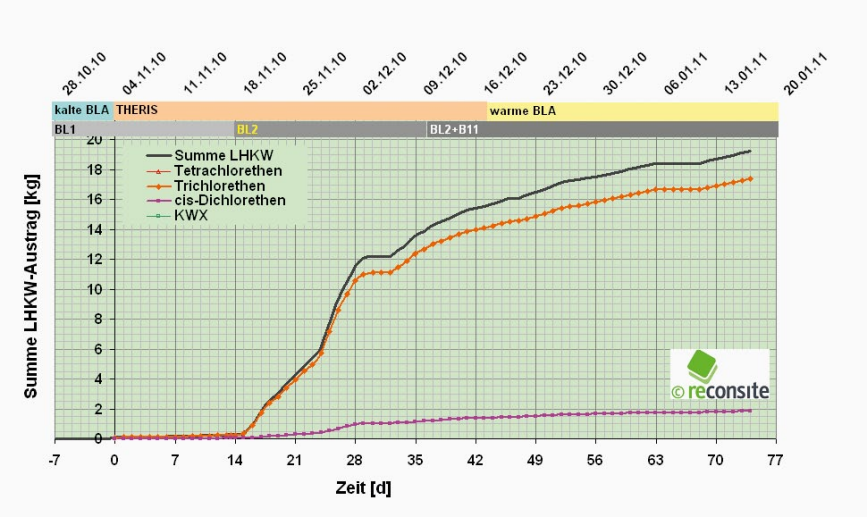

Abb. 9: LCKW-Schadstoffaustrag.

6.4 Ergebnisse der Erfolgskontrolle Februar/März 2011

Die nach Ende des Pilotfeldversuchs durchgeführte Erfolgskontrolle vom Februar/März 2011 mittels Kleinrammbohrungen (Lage siehe Abbildung 10) zeigte eine erhebliche Schadstoffreduzierung im Boden.

In der nachfolgenden Abbildung 11 ist die Schadstoffsituation vor dem Einsatz des THERIS-Verfahrens und in Abbildung 12 der Zustand *nach* Ende der Maßnahme dargestellt.

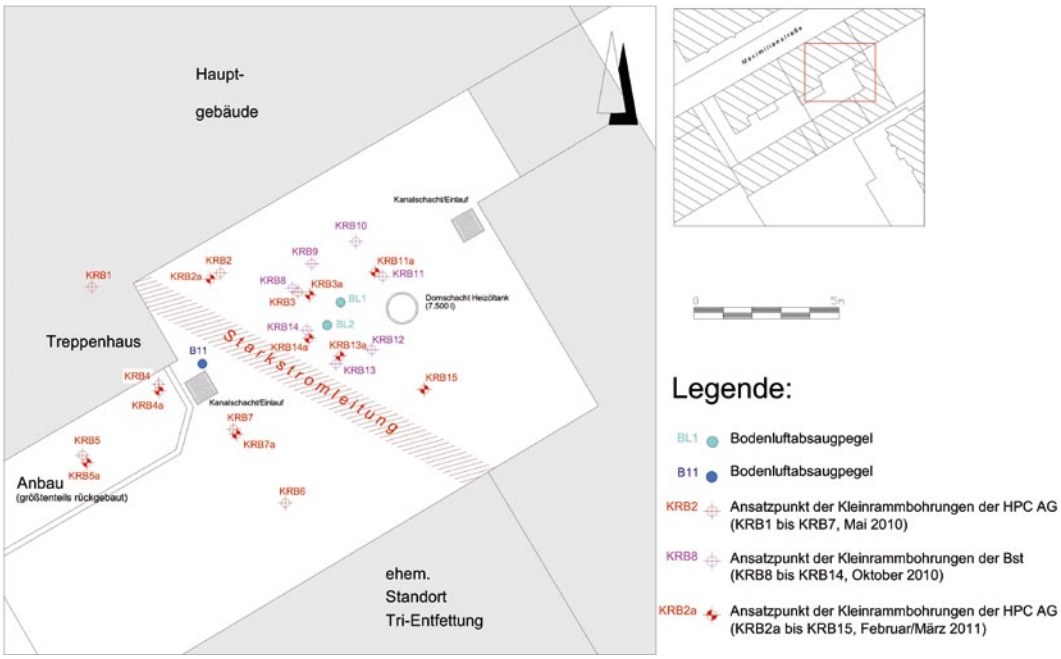

Abb. 10: Lage der Kleinrammbohrungen der Kontrolluntersuchungen (© HPC).

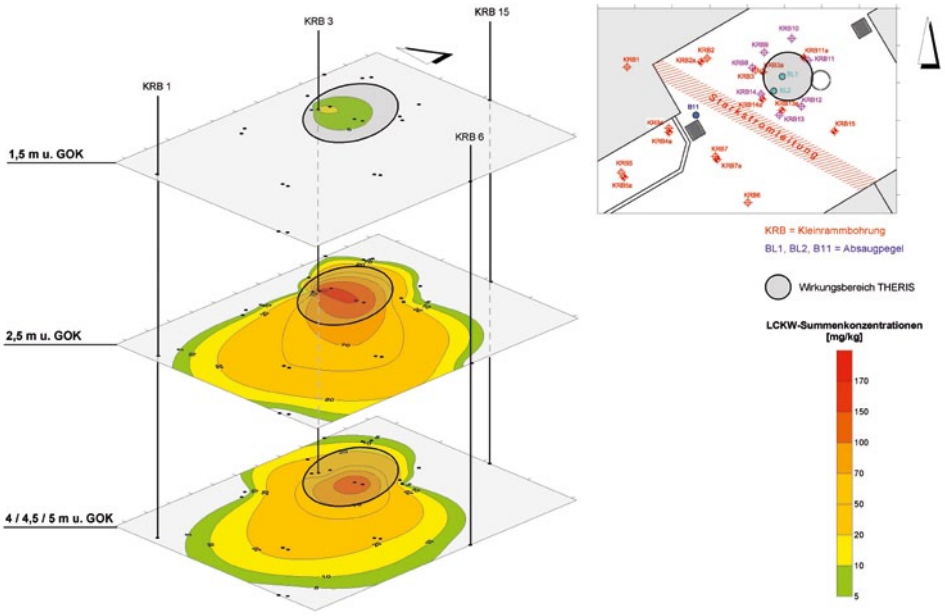

Abb. 11: LCKW-Verteilung im Boden *vor Einsatz* des THERIS-Verfahrens (© HPC).

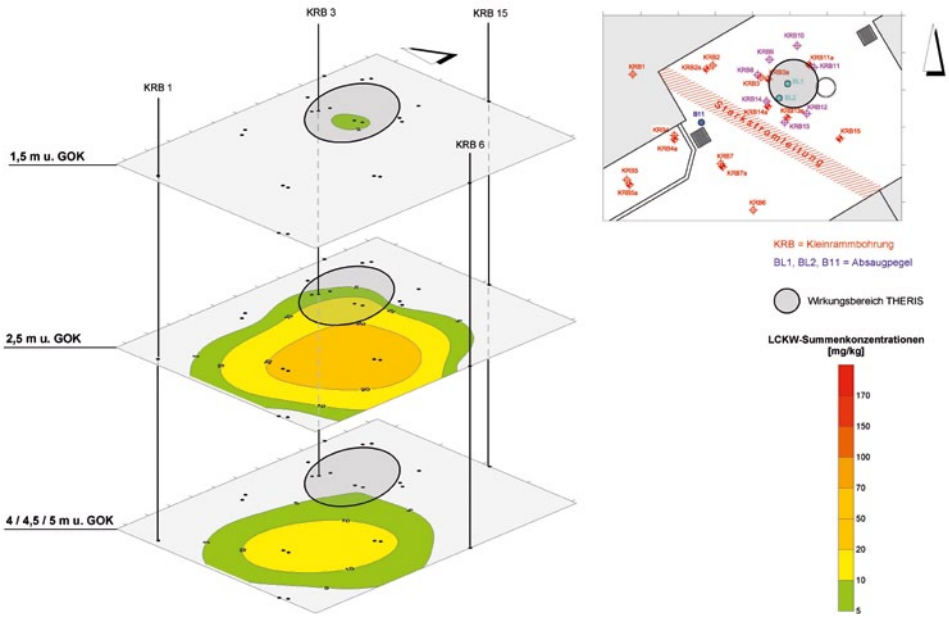

Abb. 12: LCKW-Verteilung im Boden *nach Einsatz* des THERIS-Verfahrens (© HPC).

Deutlich ist zu erkennen, dass auf der Sanierungsfläche von 20 m² eine weitgehende Bodenreinigung erreicht wurde. Während der zweimonatigen Pilotierung gingen im Pilotierungsbereich die maximalen Bodenbelastungen bei 2,5 m u. GOK von anfänglich ca. 180 mg/kg auf ca. 5 mg/kg nach der THERIS-Pilotierung zurück. Aktuell liegen die LCKW-Gehalte zum Teil deutlich unter 1 mg/kg. Wie der Abbildung 12 zu entnehmen ist, ist insbesondere im Bereich 2,5 m unter GOK die höchste Schadstoffreduzierung festzustellen.

Wie die Kontrolluntersuchungen in den Kleinrammbohrungen vom Februar/März 2011 ergeben haben, wurde durch den Pilotfeldversuch keine Verlagerung von Schadstoffen im Umfeld des Pilotversuchs festgestellt.

6.5 Energiebilanz

Im Verlauf der Pilotierung wurden insgesamt ca. 21 000 kW/h an Energie für die Absaugung über einen Zeitraum von 81 Tagen und für das Aufheizen von 42 Tagen verbraucht. Davon wurden für das Aufheizen des Bodens 2/3 und 1/3 für den Betrieb des Aggregats verwendet. Der schadstoffspezifische Energieverbrauch lag für die thermische In-situ-Sanierung zwischen rund 1100 kWh/kg LCKW (THERIS-Betrieb) und 860 kWh/kg LCKW (nachlaufende „warme“ Bodenluftabsaugung)

In der Abbildung 13 sind die Anteile des Energieverbrauchs grafisch dargestellt.

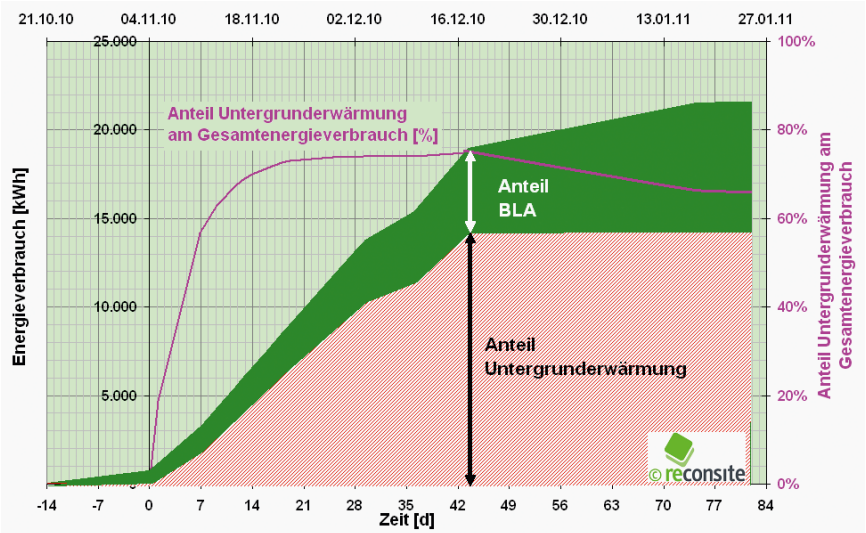

Abb. 13: Energiebilanz.

7 Zusammenfassung

Im folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse der THERIS-Pilotierung dargestellt:

- THERIS-Verfahren hat innerhalb von kurzer Zeit zu erheblichen Schadstoffreduzierungen geführt.
- THERIS-Verfahren ist geeignet für den Standort (Verfahren berücksichtigt den Gebäudebestand).
- THERIS-Verfahren ist als energieeffizient im Vergleich zur „kalten" Bodenluftabsaugung zu bezeichnen.
- Eine Kostenreduzierung ist durch Optimierung des Energieverbrauches erreichbar.
- Die Sanierungsbegleitung und –überwachung ist vergleichsweise aufwändig.
- Die geförderte Rohluft muss zur optimalen Beladung der Aktivkohle abgekühlt werden.
- Eine ständige Überwachung der Sanierung durch gaschromatographische Vor-Ort-Analytik hat sich bewährt.

8 Ausblick

Die Entscheidung, ob eine Sanierung mit In-situ- oder On-site/Off-site-Verfahren durchgeführt wird, ist von vielen Randbedingungen wie z. B. Schadstoffen, Untergrundverhältnissen, Lage der Kontamination im Untergrund, Gebäudebestand abhängig. Es muss – wie meist bei der Altlastensanierung – eine Einzelfallentscheidung unter Berücksichtigung der Aspekte Sanierungsdauer, Verhältnismäßigkeit und Wirtschaftlichkeit erfolgen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist auf Grund der unklaren zukünftigen Nutzung des Berninger-Grundstücks nicht vorgesehen, eine vollständige Sanierung der Untergrundkontamination durch LCKW durchzuführen.

Im folgenden wird jedoch diskutiert, welche Varianten für eine Sanierung in Frage kommen. Als In-situ-Sanierung bietet sich das THERIS-Verfahren, was erfolgreich in einem Pilotfeldversuch aktuell durchgeführt wurde, an. Durch die Fortsetzung der bis 2001 erfolgten klassischen Bodenluftsanierung ist aufgrund der bindigen Bodenstruktur und des Schichtwassers keine vollständige Sanierung in einem vertretbaren Zeitraum erreichbar. Neben dem o. g. In-Situ-Verfahren könnte auch durch Bodenaushub bzw. durch Großbohrungen die Kontamination entfernt werden. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass im Untergrund Leitungen vorhanden sind und die Standsicherheit der Gebäude gewährleistet sein muss. Auch bestehen im Hofbereich der ehemaligen Lederfabrik beschränkte Platzverhältnisse, da zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht vorgesehen ist, die Gebäude rückzubauen.

In der Tabelle 2 sind die Sanierungsverfahren für die wasserungesättigte Bodenzone, die auf dem Berninger-Gelände durchführbar wären, mit ihren Vor- und Nachteilen zusammengestellt.

Möglich wäre auch eine häufig eingesetzte Kombination von innovativen Verfahren mit herkömmlichen Verfahren, z. B. Aushub des Eintragsbereiches in Kombination mit In-situ-Verfahren.

In der Tabelle 3 werden die Kosten für eine vollständige Sanierung mittels einem klassischen Bodenaushub, Großbohrungen und dem THERIS-Verfahrens (Varianten A bis C) abgeschätzt. Kosten für die Herstellung der Oberflächenversiegelung werden nicht berücksichtigt.

Die Kosten des THERIS-Verfahrens liegen am Beispiel des Falles „Idstein, Lederfabrik Berninger" in vergleichbarer Größenordnung einer Aushubsanierung.

Das THERIS-Verfahren ist für die Sanierung der LCKW-Belastungen im Innenhof der ehemaligen Lederfabrik prinzipiell geeignet.

Tab. 2: Sanierungsverfahren der wasserungesättigten Bodenzone Berninger-Gelände Idstein.

	Verfahren	Vorteile	Nachteile
A	**Auskofferung (mit Baugrubenverbau)**	• Vollständige Sanierung auch bindiger Bodenbereiche	• Hohe Kosten für Entsorgung/Wiederverfüllung und Bauarbeiten, Sicherungsmaßnahmen Gebäude • Beeinträchtigungen durch Erschütterungen beim Errichten des Verbaus • Erhöhter Arbeitschutz • Behandlung anfallendes Stau-/Schichtwasser • Baustellenverkehr und -lärm
B	**Sanierung mittels Bodenaustausch (Großbohrungen)**	• Vollständige Sanierung auch bindiger Bodenbereiche	• Hohe Kosten für Baustelleneinrichtung und Bohrarbeiten • Hohe Kosten für Entsorgung/Wiederverfüllung • Behandlung anfallendes Stau-/Schichtwasser • Baustellenverkehr und -lärm
C	**Thermische In-Situ Sanierung (THERIS)**	• Sanierung unter Beibehaltung der bestehenden Bebauung • Kurzer Sanierungszeitraum und geringerer Energieverbrauch gegenüber Verfahren D	• Hoher Energieaufwand, • Geringe Reichweite in bindigen Bodenschichten • Hoher Planungs- und Überwachungsaufwand • Aufwendige Technik • Geringe Reichweite des Verfahrens • Lärm durch Bohrarbeiten und BLA-Betrieb
D	**Klassische „kalte“ Bodenluftabsaugung**	• Absaugung unter Beibehaltung der bestehenden Bebauung	• Sehr hoher Energie- und Überwachungsaufwand, hoher Zeitaufwand • Geringe Reichweite in bindigen Bodenschichten • Geringer Austrag bei Zufluss von Stau- und Schichtwasser • Lärm durch Bohrarbeiten und BLA-Betrieb • **Keine vollständige Sanierung möglich**

Tab. 3: Kostenschätzung über die Sanierung der wasserungesättigten Bodenzone im Hofbereich (max. Fläche: ca. 100 m², Tiefe: ca. 5 m).

		ca. T€
A	**Aushub mit Baugrubenverbau (Durchführung Baugrubenstatik)** 1. Baustelleneinrichtung/Umlegung Stromleitung/Kanal im Hofbereich wiederherstellen/Arbeitsschutz 2. Baugrubenverbau, Wasserhaltung, Bodenaushub und Wiederverfüllung Baugrube; Entsorgung Bodenaushub 3. Überwachung/Dokumentation	**140**
B	**Sanierung mittels Großbohrungen** 1. Baustelleneinrichtung/Umlegung Stromleitung/Kanal im Hofbereich wiederherstellen/Arbeitsschutz 2. Großbohrungen (Æ 1000 mm), Wasserhaltung, Wiederverfüllung Bohrlöcher, Entsorgung Bodenaushub 3. Überwachung/Dokumentation	**180**
C	**Thermische „In situ“-Sanierung (THERIS)** (30 Heizelemente, 6 Bodenluftabsaugpegel, Abreinigung Boden bis max. 1 mg/kg) 1. Baustelleneinrichtung, Bohrarbeiten, Umlegung Stromleitung/Kanal Hofbereich wiederherstellen/Arbeitsschutz 2. Betriebskosten, Baustellenräumung, Stromkosten (aktuelle Preise) 3. Planung, Überwachung/Dokumentation	**135**