

Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

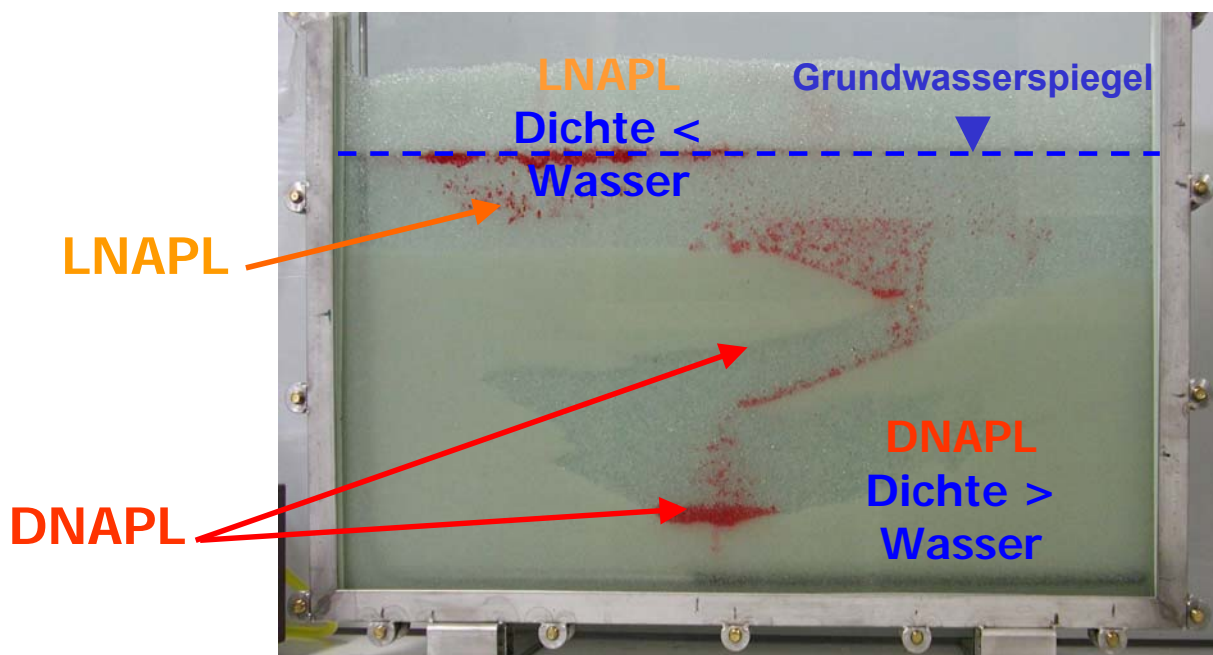


Dr.-Ing. Hans-Peter Koschitzky & Dipl.-Ing.(FH) Oliver Trötschler
Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und
Altlastensanierung, Universität Stuttgart

Bau- und Umweltausschuss, Magistrat Oberursel,
Sitzung am 18.02.2014

Entstehung von Schadensherden: LNAPL – DNAPL

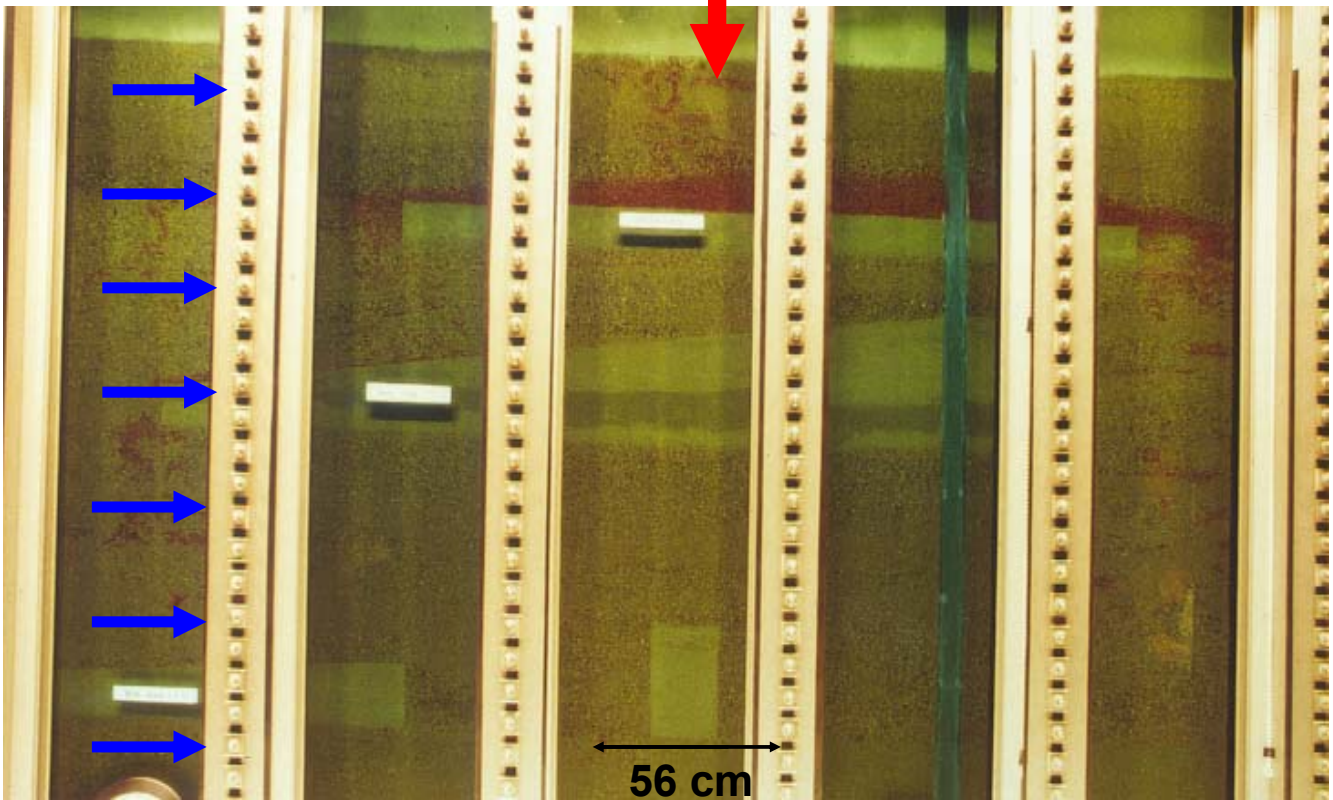
Einfluß der Dichte von Schadstoffen



NAPL = Non-aqueous phase liquid (nicht mit Wasser mischbar)

IS

CKW – Versickerung in einem inhomogenen Aquifer



Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
3

Fluideigenschaften - Temperaturabhängigkeit

$T_1 = 20^\circ\text{C}$

$T_2 = 70^\circ\text{C}$



ca. 2 cm

© VEGAS



Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
4

Grundlagen Thermische Sanierungsverfahren

- (1) Exponentielle Erhöhung des Dampfdrucks mit der Temperatur
- (2) Erniedrigung der Siedetemperatur durch Wasserdampfdestillation

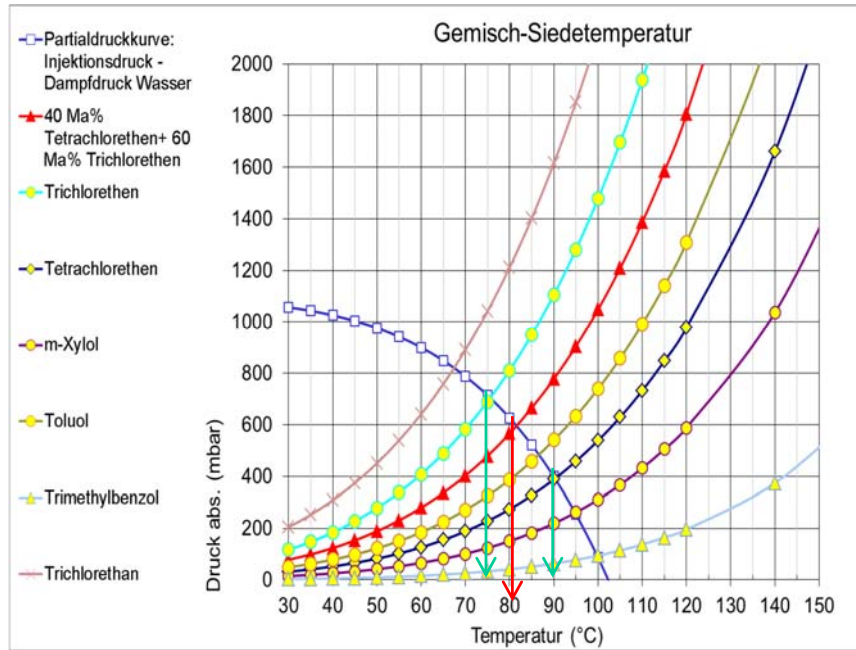
Gemisch-Siedetemperatur der LCKW im Grundwasser

→ Injektionsdruck:
1.100 mbar absolut

TCE: 102°C → 75°C

PCE: 128°C → 90°C

**LHKW Gemisch
"Eppsteiner Straße"
82°C**



© VEGAS

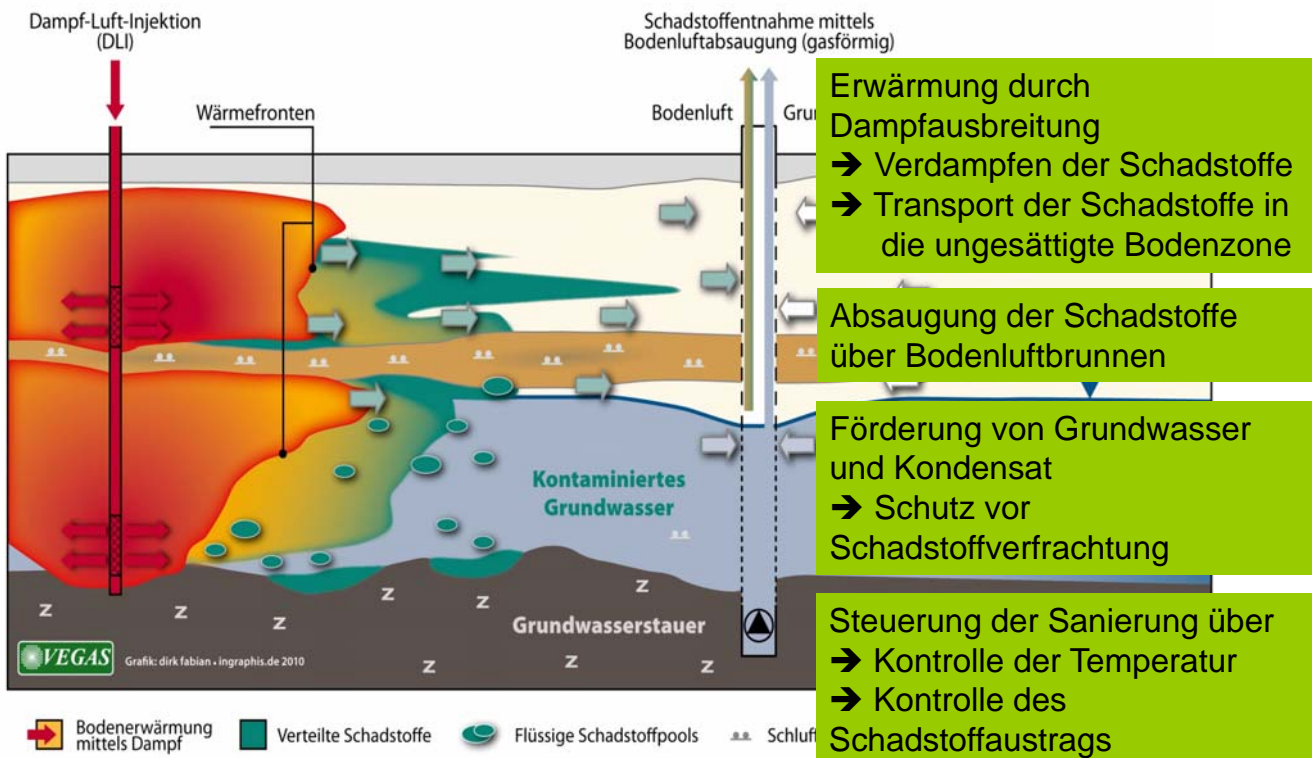


Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
5

DLI: Injektion eines Dampf-Luft-Gemisches in den Untergrund



© VEGAS



Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
6

Sanierung Lösemittel (CKW) mit Dampf-Luft-Injektion



C. Betz, A. Färber,
R. Schmidt

© VEGAS



Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
7

Sanierung CKW mit Dampf-Luft-Injektion



C. Betz, A. Färber,
R. Schmidt

© VEGAS



Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
8

Sanierung CKW mit Dampf-Luft-Injektion



C. Betz, A. Färber,
R. Schmidt

© VEGAS



Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
9

Sanierung CKW mit Dampf-Luft-Injektion



C. Betz, A. Färber,
R. Schmidt

© VEGAS

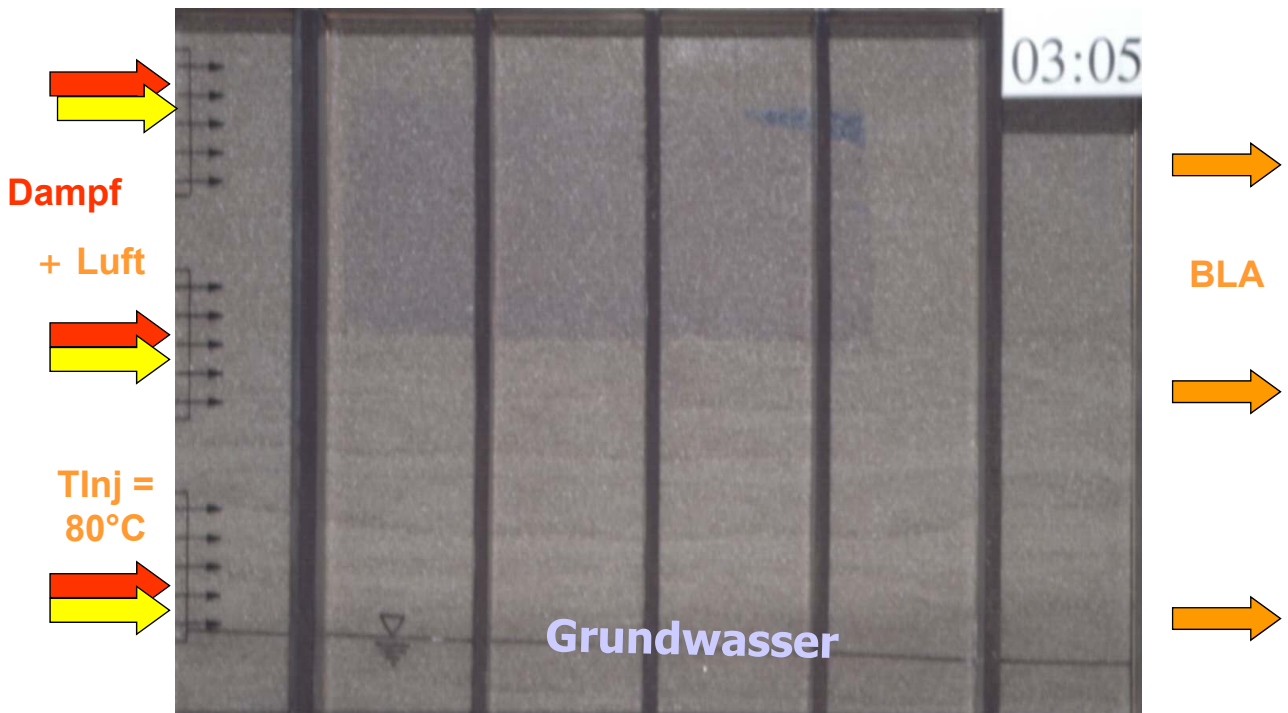


Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
10

Sanierung CKW mit Dampf-Luft-Injektion



C. Betz, A. Färber,
R. Schmidt

© VEGAS

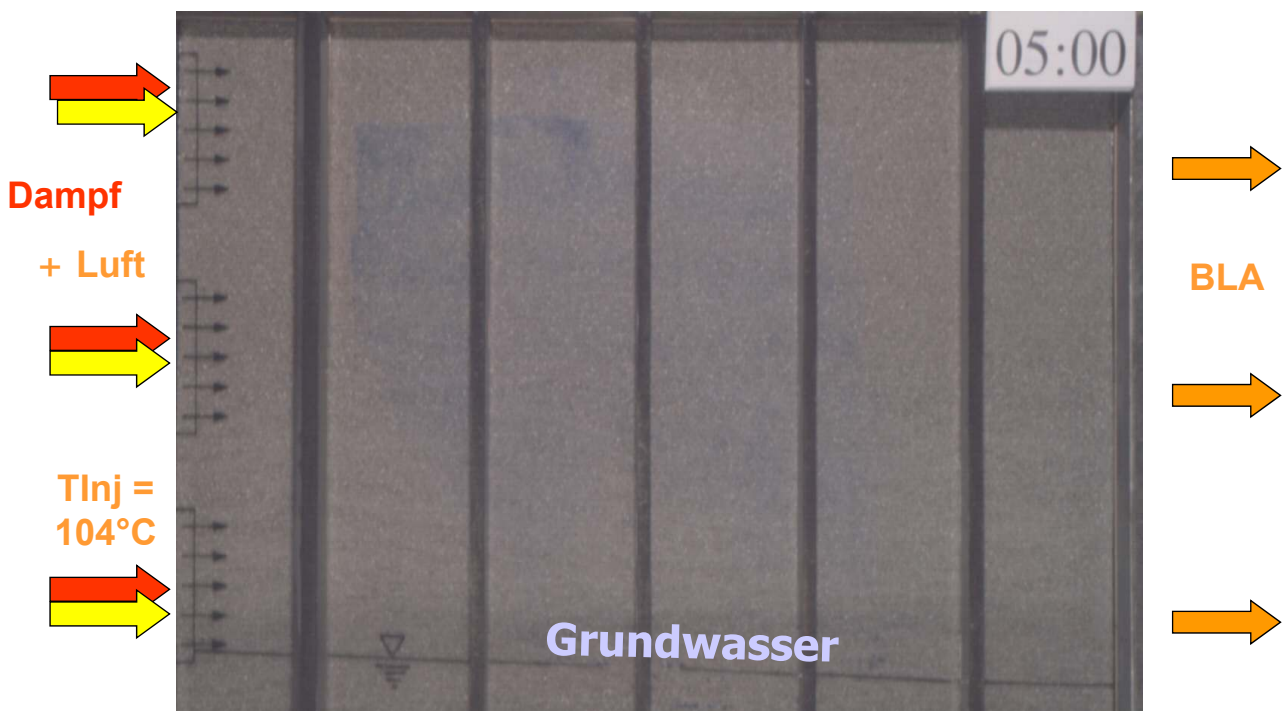


Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-
Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
11

Sanierung CKW mit Dampf-Luft-Injektion



C. Betz, A. Färber,
R. Schmidt

© VEGAS



Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-
Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
12

Technologie-Transfer durch Pilot Anwendungen seit 1998

- 1998 Plauen ehemalige Benzol-Verladestation (UZ, vadose)**
BTEX, sandiger Schluff (UZ, -2,5 bis -4,5 m) über kiesig/sandigem GWL)
- 1998 Mühlacker Sondermülldeponie (UZ)**
- 2000 **CKW**, verwitterte Ton-/Mergelsteine (Gipskeuper) getrennt durch Schichtwasserhorizont (-15m u. GOK, DRM-Aquifer bei -30 m)
- 2004 Albstadt ehemalige metallverarbeitender Betrieb (UZ / GZ)**
CKW, schluffig/tonig (-3,8 m), durchlässiger Kalkstein (-5,6 m) über Mergelgestein
- 2005 Durlach ehemalige chemische Reinigung (GZ, vadose, UZ)**
CKW (PER) in schluffig, sandigem Kies mit Schlufflagen (bis -9 m)
→ 2010/2011 **Gesamtsanierung erfolgreich abgeschlossen**
- 2008 Zeitz, ehemaliges Hydrierwerk & Verladestation (GZ, vadose, UZ)**
Benzol, kiesig/sandig, Schlufflage, sandig/kiesig (-12 m) über Kohlekomplex
- 2009 / Biswurm ehemalige Verbrennungsanlage (GZ, vadose, UZ)**
2011 **CKW**, geklüfteter Sandsteinaquifer, (Tonsteinbasis -21 m)
→ **Sanierungsbetrieb seit 06.08.2012 mit DLI (geplant DLI bis Ende 2014)**

© VEGAS



Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
13

TisS aktuelle Anwendungen

- 2010 Oberursel, Altstadt unter einem Gebäude,**
CKW, schlecht durchlässiger Untergrund, Tonsschichten (UZ, vadose)
→ **Feasibility, Pilotierung (bis Sept. 2013, Schadensherd II ab Herbst 2014)**
- 2011 / Sindelfingen Feasibility / Pilotierung unter einem Parkhaus**
2013 → **Abgeschlossen 30.09.2013, Gesamtsanierung geplant (2014?)**
- 2012 / EU-Projekt CityChlor: „Stuttgarter Str. 10“, LHS, Pilotversuch**
2013 **Feste Wärmequellen**, **CKW**, (UZ, GZ), **Wissenschaftliche Begleitung**
→ **Erfolgreich abgeschlossen 31.07.2013, Sanierung ab Dez. 2013**
- 2012 / Schwarzwald Nagoldtal: Feasibility / Sanierungsvorschlag, alternative**
2013 zur Großbohrlochverfahren, **CKW**, **GZ**, (DLI Tool)
→ **Entscheidung 2014**
- 2013 Frankfurt Höchst, Industriegelände: Pilotierung, CKW**
→ **Diplomarbeit Auslegung mit DLI Tool, August 2013 - Feb. 2014**
- 2013 / **Planungen: Rhein-Main Gebiet, CKW unter Fabrikhalle, Ostwürttemberg**
2014 **CKW**, ehemalige Kaserne, ...einige Anfragen NRW, Schweiz, Hamburg

© VEGAS

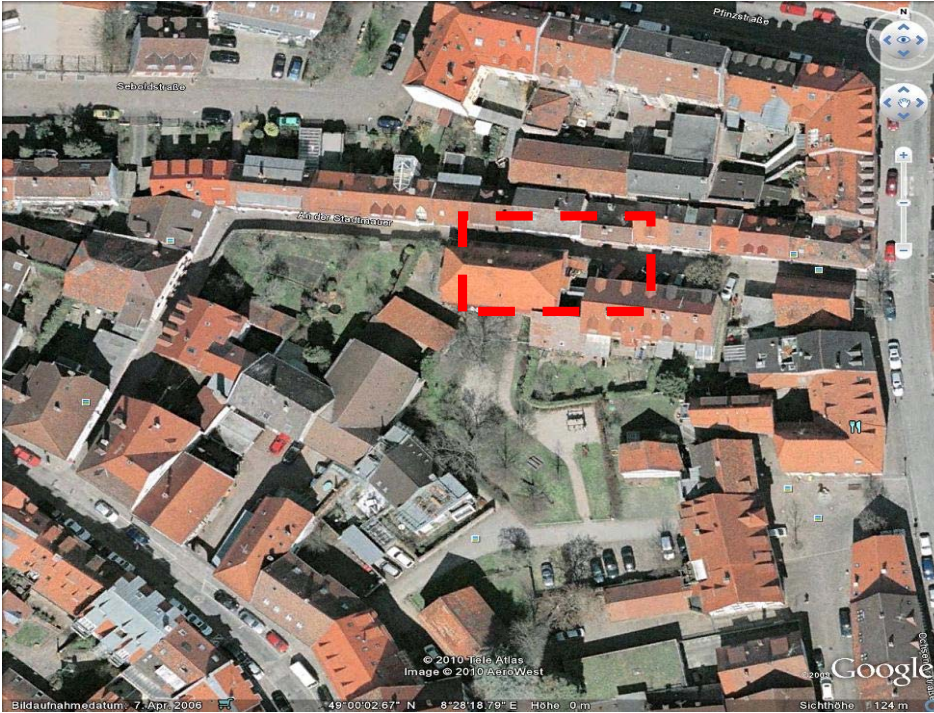


Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
14

Ehemalige Chemische Reinigung in Altstadt mit LHKW-Kontamination



Stadt Karlsruhe
Umwelt- u. Arbeitsschutz



© VEGAS



Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
15

Pilot-Standort Karlsruhe Durlach



Heutige Nutzung
Galerie und
Rahmenladen



© VEGAS

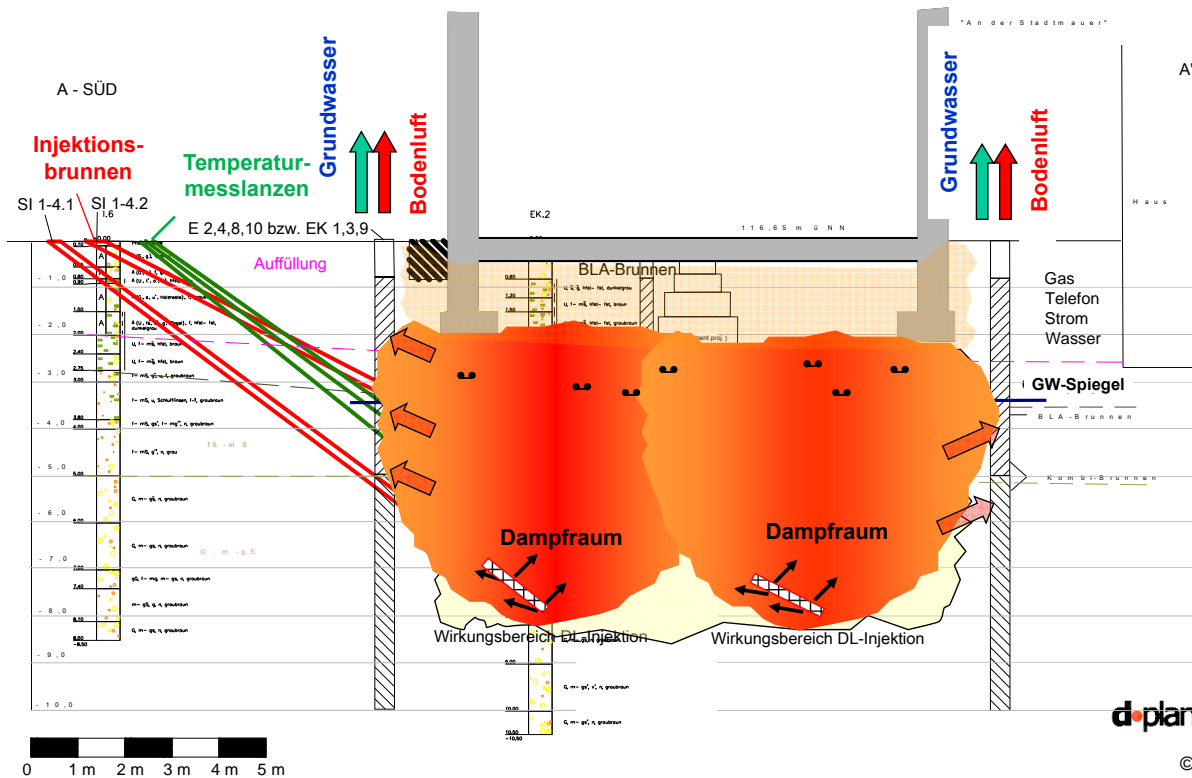


Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
16

Realisierung DLI unter dem Gebäude



doplan

© VEGAS

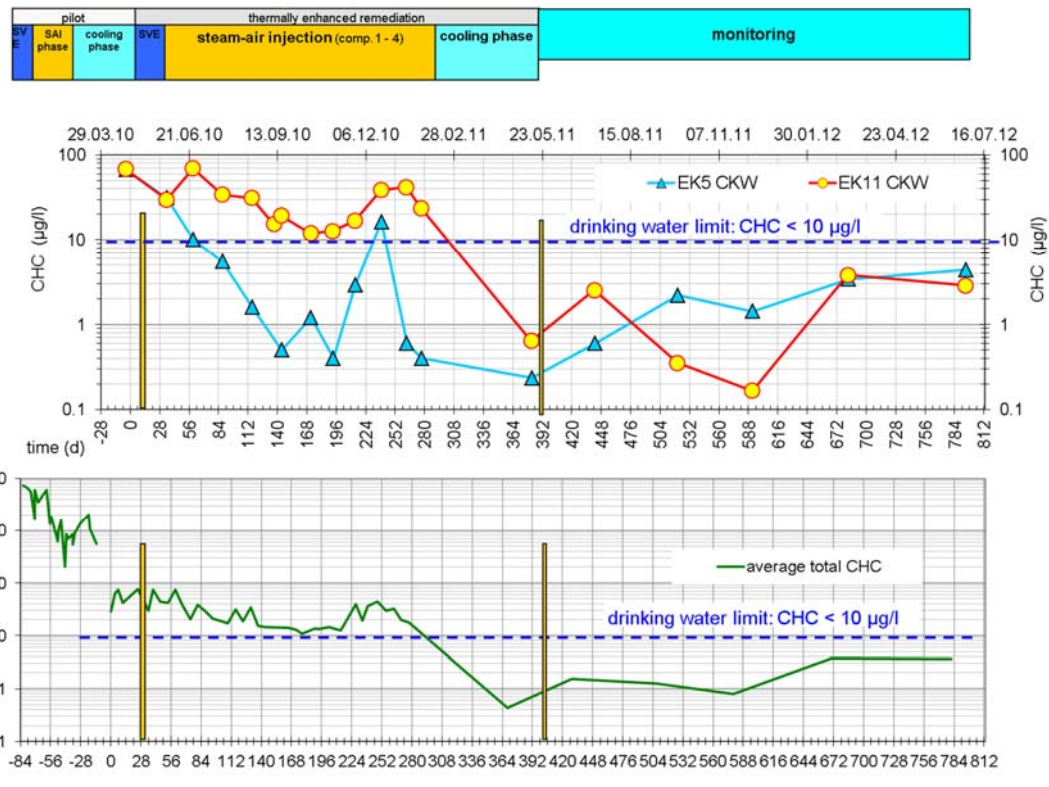


Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
17

Entwicklung der CKW - Konzentrationen im Grundwasser



© VEGAS



Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
18

Standort Eppsteiner Straße 13 Oberursel



© VEGAS

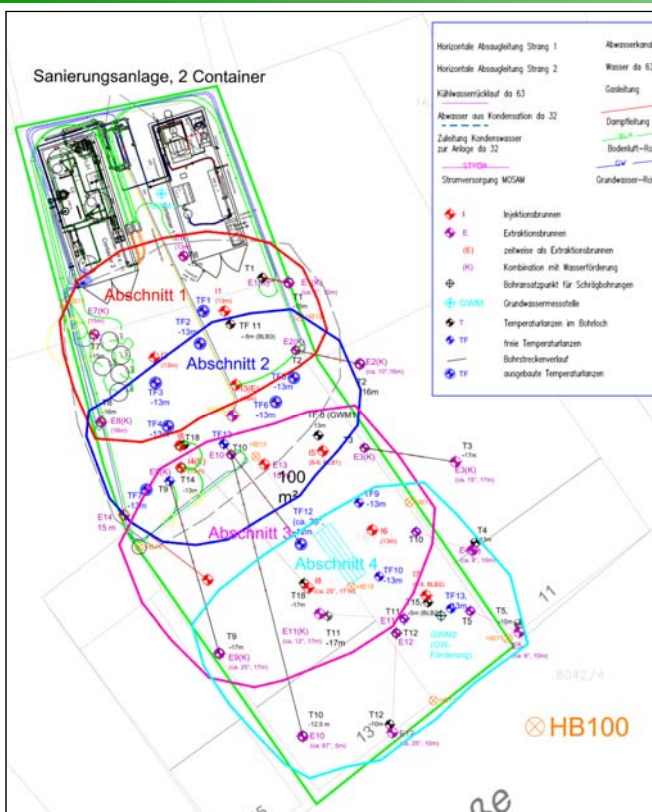


Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
19

Lageplan DLI Gesamtanierung „Eppsteiner Straße 13“



- vier Sanierungsabschnitte überlappend, je 100 m², 12 – 15 m Tiefe
- 8 Injektionsbrunnen, als Absaugbrunnen bivalent nutzbar
- Gebäude über Schrägbohrungen erschlossen
- Umlaufender Ring an 12 Bodenluftbrunnen mit Sicker-, Kondensat- und Grundwasserförderung
- Absaugung oberflächennah mittels Drainage unter Folienabdeckung
- Temperatur- und Schadstoffmonitoring online

© VEGAS

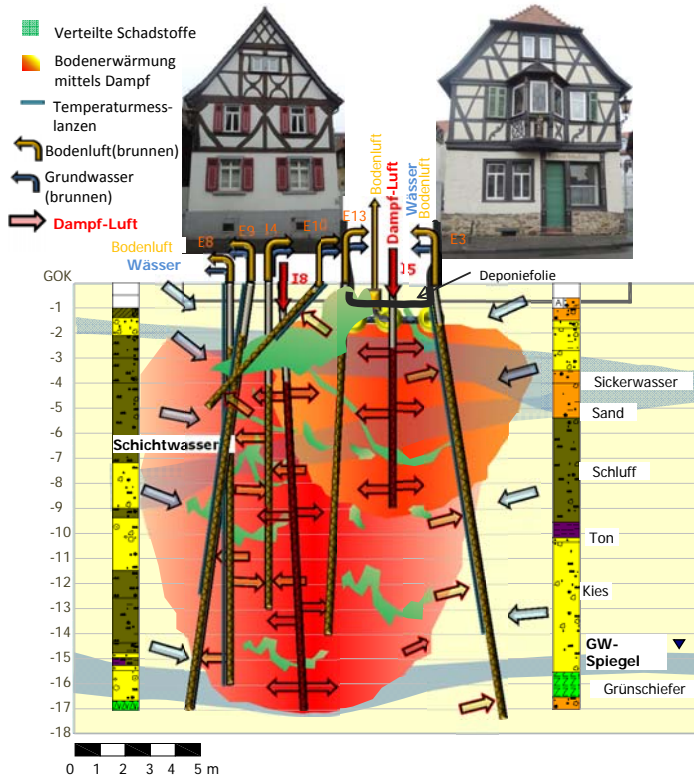


Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
20

Querschnitt DLI Sanierung Eppsteiner Straße 13



- Sicherung der verdampften Schadstoffe:
abgesaugte Masse = 2 x injizierte Masse
- Temperaturüberwachung dokumentiert
Wärmefortschritt,
gleichbedeutend hohen
Schadstoffgehalten
- Injektion an maximal 2
Brunnen, Extraktion an
mindestens 10 Brunnen
- Grünschieferersatz bildet
natürliche hydraulische und
thermische Sperre in der
Tiefe

© VEGAS



Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-
Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
21

Ablauf der Thermischen In-Situ Sanierung (I)

Sanierungszeit:

geplant: Januar 2013 bis Januar 2014, evtl. bis April 2014

➔ Pilotanwendung zur Verifizierung und Optimierung der DLI

- Inbetriebnahme der Messtechnik und Anschluss der Brunnen: Januar 2013
- Bodenluftabsaugung ohne Dampf-injektion: Ende Januar 2013
- Beginn Dampf-injektion nach Nachweis pneumatischer Sicherung und
Nachbesserungen im Brunnenbau: Mai 2013
- Erfolgskontrolle Pilotanwendung und Sanierungsplanung: Oktober 2013

➔ Thermische Sanierung mit DLI ab Oktober 2013

aber: Schadstoffmasse deutlich höher als erwartet

➔ Sanierungsdauer bis Oktober 2015 möglich

➔ Abschluss der Sanierung Feld 1 (Oktober 2013 – Februar 2014)

© VEGAS

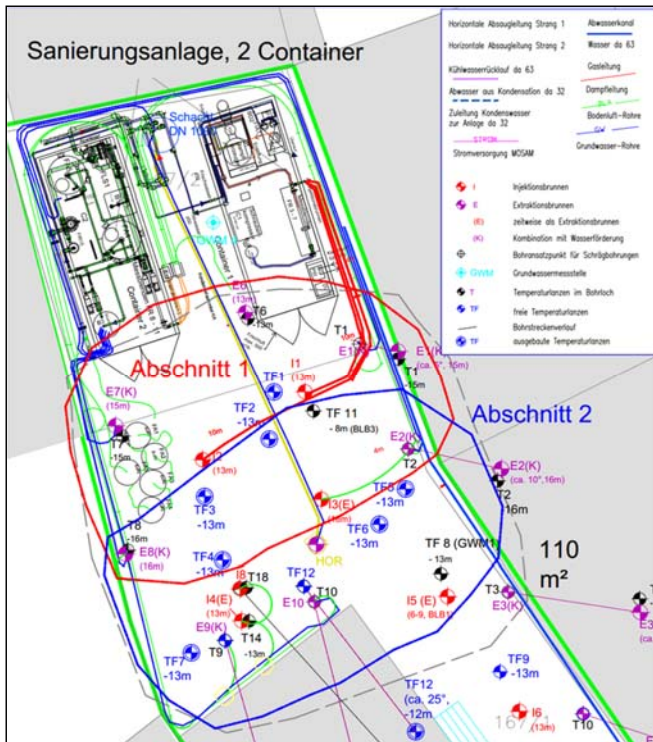


Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-
Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
22

Lageplan Pilotanwendung Oberursel



- **2 Injektionsbrunnen
Dampf-Luft-Gemisch**
- **10 Extraktionsbrunnen
Bodenluft und Kondensat**
- **Oberflächennahe
Bodenluftdrainage**
- **7 Temperaturmessanlagen im Feld**
- **Temperaturmessung in allen
Extraktionsbrunnen**
- **50 - 90 kW Heizleistung**
- **120 m³/h Bodenluftabsaugung**
- **4 – 6 Monate Dauer Heizbetrieb**

© VEGAS



Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-
Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
23

Ergebnisse der Pilotanwendung und Sanierung

- **Erwärmung Untergrund:**
Wärmeausbreitung steuerbar und erforderliche Temperaturen über 82°C zur LHKW-Verdampfung erzielt
- **Schadstoffaustrag effizient:**
 - Schadstoffaustrag mit 1,5 - 2 kg/d
 - nach 12 Monaten sind 750 kg LHKW entfernt
- **Kondensatförderung erforderlich zum Schutz vor Verfrachtung:**
 - Grundwasser- und Kondensatförderung erforderlich,
 - kontinuierlich zur Vermeidung von wassergelöstem LHKW-Eintrag, max. 6 g/d
- **Kontrolle der Dampfausbreitung:**
 - Steuerung über sehr geringe Injektionsdrücke von 0,2 – 0,3 bar entsprechend Schadstoffaustrag
- **Hebungen oder Setzungen:**
Unkritische Hebungen um 3 – 5 mm nachgewiesen

© VEGAS

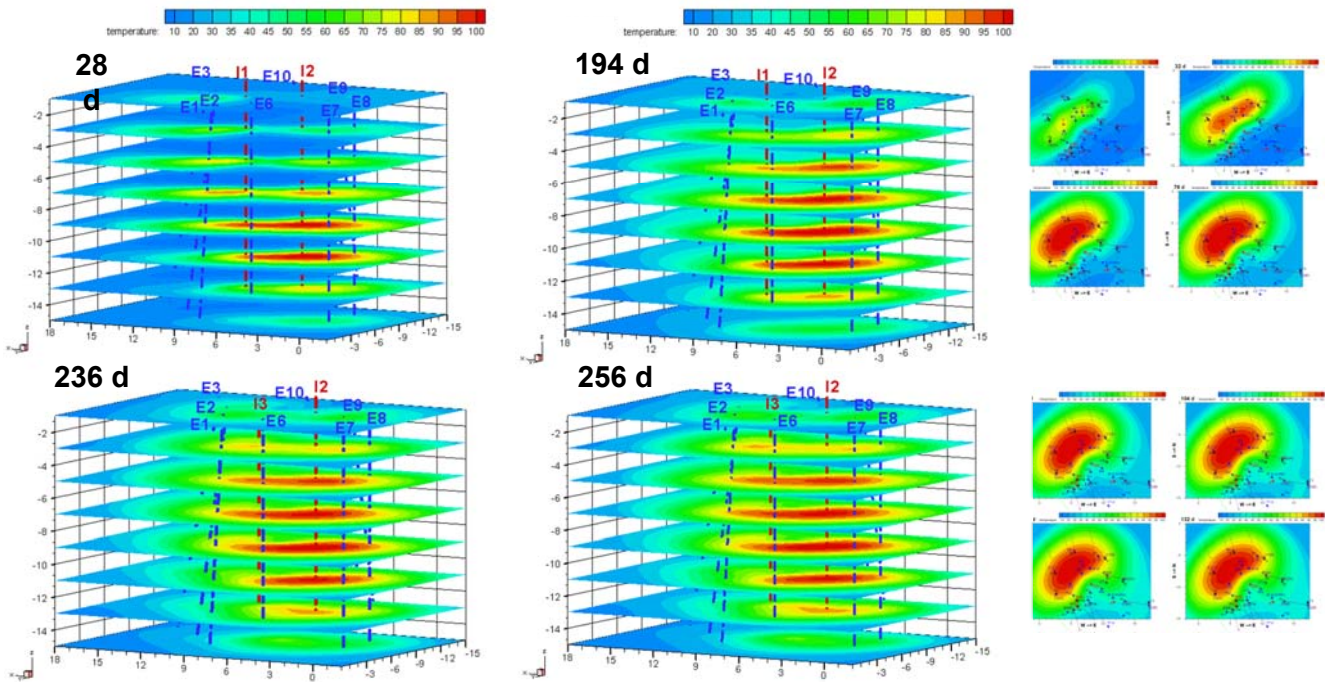


Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-
Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
24

Temperaturentwicklung im Sanierungsfeld



→ geschlossener Dampfraum zwischen 12 – 3 m Tiefe innerhalb des Sanierungsabschnitts

© VEGAS

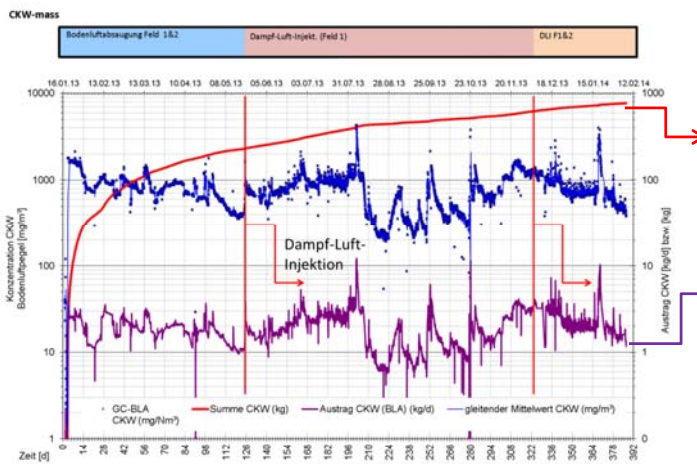


Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
25

Schadstoffaustrag Grundwasser und Bodenluft



750 kg LHKW entfernt

Austrag: ca. 2kg LHKW/d

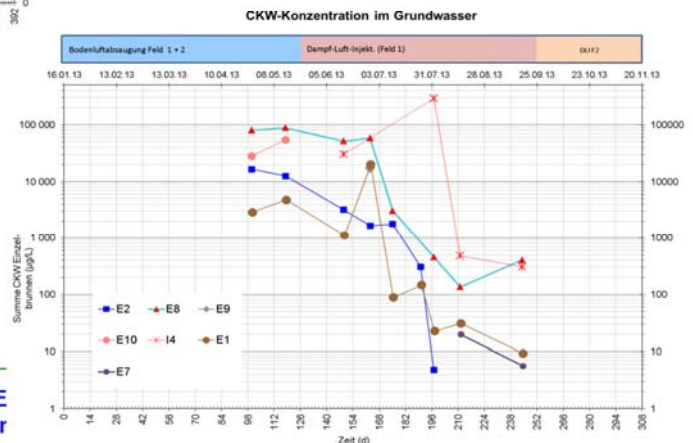
→ LHKW-Austrag über Wärmeeintrag steuerbar

→ bis 10 kg/d technisch möglich

LHKW-Konzentration im Grundwasser vom 10 000 auf 200 µg/l reduziert

LHKW-Gehalte unter 10 µg/l bereits gemessen

→ Prüfwert unterschritten



Thermische In-Situ-Sanierung: E Injektion am Standort Eppsteir

Thermische In-situ-Sanierung mit DLI: drei überlappende Feldabschnitte

- Feldabschnitt 2 (Dezember 2013 – Mai 2014)
- Feldabschnitt 3 (Juni 2014 – Februar 2015)
- Feldabschnitt 4 (März 2015 – Oktober 2015)

➔ **Zeitbedarf für 4.000 kg LHKW: 30 Monate DLI**

➔ **Bisheriger Zeitbedarf : 9 Monate DLI für 550 kg LHKW**

© VEGAS



Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-
Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
27



Thermische In-Situ-Sanierung: Einsatz der DLI – Dampf-Luft-
Injektion am Standort Eppsteiner Straße 13 in Oberursel

Magistrat Oberursel
Sitzung BUA 18.02.2014

trö/kos
28