

Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude - von der Planung bis zur Umsetzung



Hans-Peter Koschitzky, Oliver Trötschler, Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung, Universität Stuttgart

Stephan Denzel, dplan, Karlsruhe



Claudia Purkhold, Stadt Karlsruhe, Umwelt- und Arbeitsschutz

Stadt Karlsruhe
Umwelt- u. Arbeitsschutz

ZUBLIN

Wolfgang Maier-Oßwald, Steffen Hetzer
Zublin Umwelttechnik GmbH, Stuttgart



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli 2011, Neu-Ulm



Was können Sie erwarten

Pilotierung

- Start: Sanierungsuntersuchung → Standort
- Thermische In-situ-Sanierung → DLI
- Pilotierung, wieso, wie → Nachweis DLI

→ Sanierungskonzept

Sanierungsdurchführung / Überwachung

- Sanierungsfelder → Bohrarbeiten
- Anlagentechnik → DLI, Grundwasser, Bodenluft
- Anlagenbetrieb → Sanierungsverlauf
- Datenerfassung → Überwachung / Sanierungssteuerung

→ Sanierungsabschluss / Ausblick

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens
unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 2



Impressionen vom
Standort im Jahr 2005

Pilot-Standort Karlsruhe Durlach



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens
unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 4

Standort Karlsruhe Durlach



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 5

Standortbeschreibung

Altstadt Karlsruhe-Durlach

historisches Gebäude, eng bebautes Wohngebiet



Ehemalige chem. Reinigung

Schadstoffquelle PCE
Schluffschicht in ungesättigter Zone, Kapillarsaum und gesättigte Zone bis ca. 5 m u. GOK

Schadstoffgehalte
bis 3800 mg/kg (in Schluff),
bis 60 mg/l im GW

Grundwasserschaden

Fahnenlänge: > 300 m

PCE Konzentration bis 350 µg/L

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 6

Standort Karlsruhe Durlach



**Heutige Nutzung
Galerie und
Rahmenladen**

© VEGAS

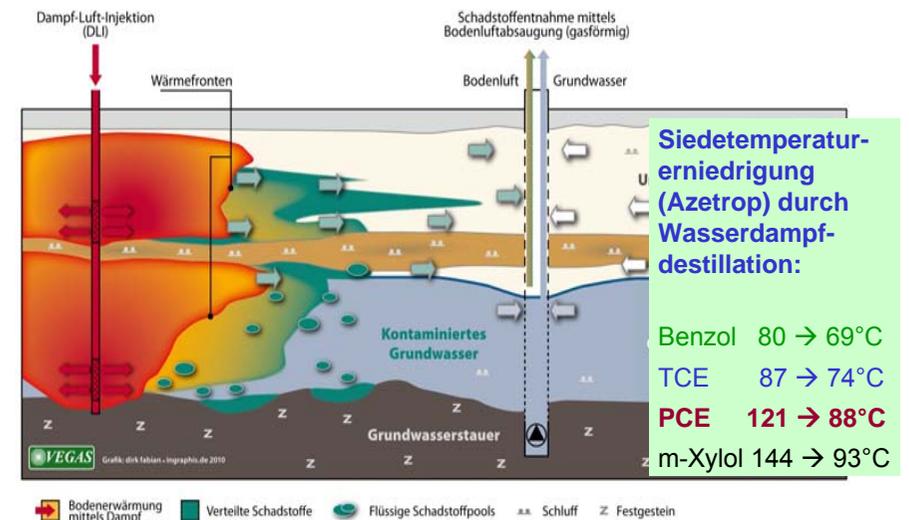


Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 7

Thermische In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion



VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



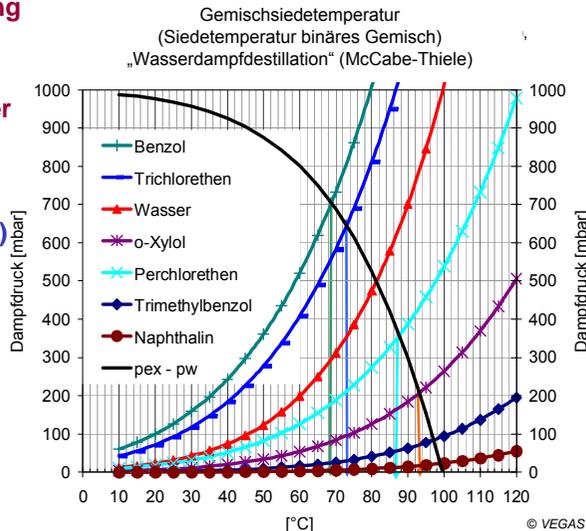
Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 8

Grundlagen Thermische Sanierungsverfahren

→ exponentielle Erhöhung des Dampfdrucks organischer Kontaminanten mit der Temperatur

→ Siedetemperaturerniedrigung (Azetrop) durch Wasserdampfdestillation:

- Benzol: 80 → 69°C
- TCE: 87 → 74°C
- PCE: 121 → 87°C
- Xylol: 144 → 93°C



Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 9

Variantenvergleich SU "Durlach"

■ DU: weiterer Handlungsbedarf: SU

■ Hydraulische Sanierung: ca. 1,0 Mio €

■ Dampf-Luft-Injektion:

40-Brunnen: Reichweite 1 m: ca. 800.000 €

20-Brunnen: Reichweite 1,5 m: ca. 650.000 €

➔ Dampf-Luft-Pilotinjektion zur Reichweitenbestimmung, numerisch begleitet (Steffen Ochs)

© VEGAS

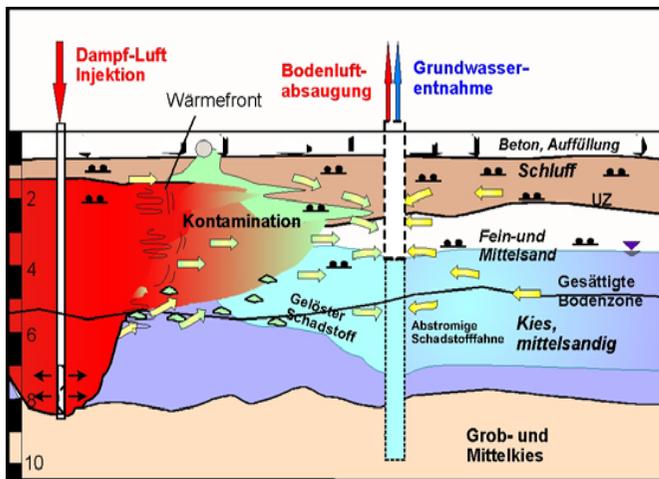


Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 10

Geologie und Sanierungskonzept Pilotierung



DL-Injektion

7- 8 m u. GOK,
max. 200 kg/h

Bodenluftabsaugung

100 - 150 m³/h

GW-Haltung
(Kühlwasser)

1- 3 m³/h

Rheintalage: Quartärer, fluvialer Aquifer

© VEGAS

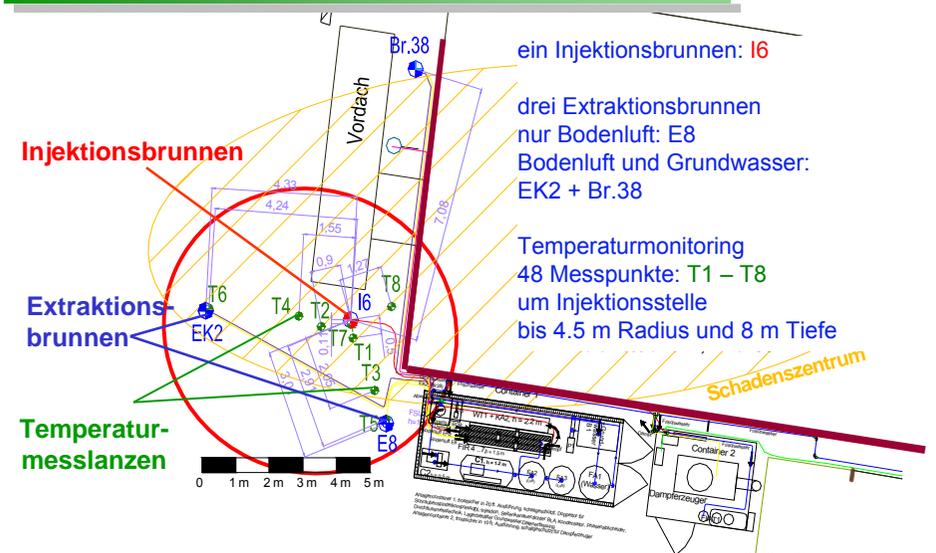


Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 11

Pilot – Testfeld: Ausstattung



© O. Trötschler, H.-P. Koschitz



Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude

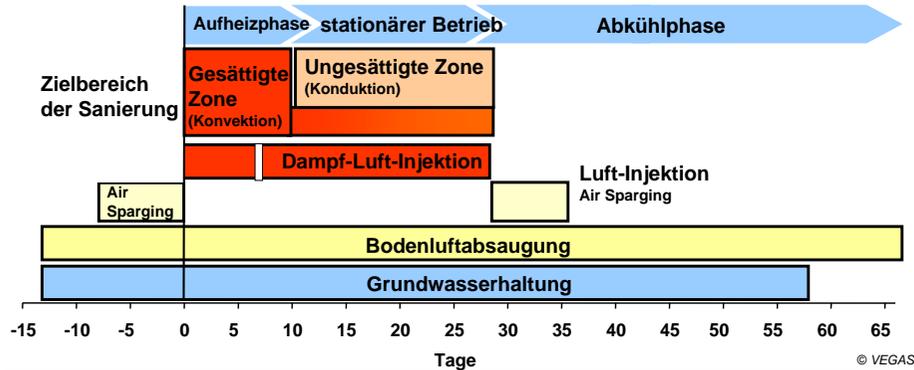


Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 12

Ablauf der Pilotsanierung

Dauer drei Monate → unterteilt in vier Phasen:

- (1) kalte BLA und Grundwasserförderung (5 Tage)
- (2) Air-Sparging (ca. 1 Woche)
- (3) Dampf-Luft-Injektion (28 Tage)
- (4) Abkühlphase: Air-Sparging, BLA und GW-Förderung (5 Wochen)



Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude

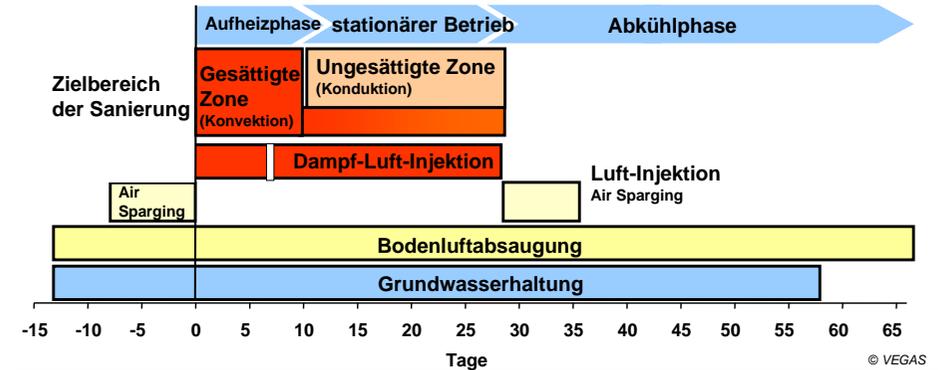


Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 13

Ablauf der Pilotsanierung

Betriebsweise an Sanierungsfortschritt angepasst

- kontinuierliche Schadstoffmessung
- Bestimmung der Wärmeausbreitung

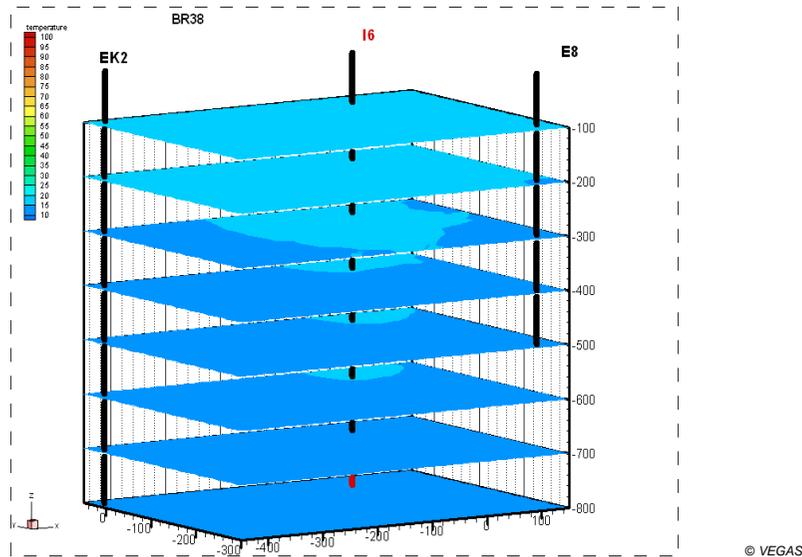


Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 14

Dampfausbreitung - Temperaturmessungen

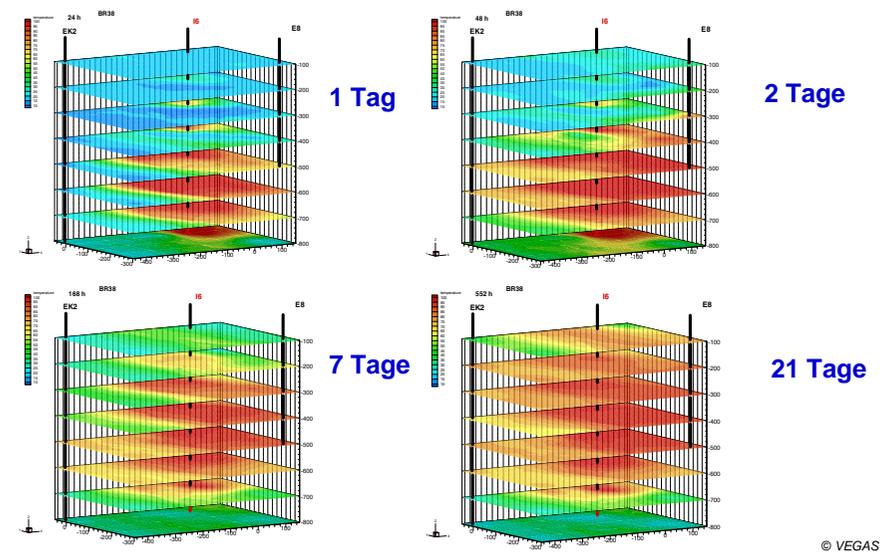


Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude

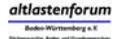


Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 15

Dampfausbreitung - Temperaturmessungen

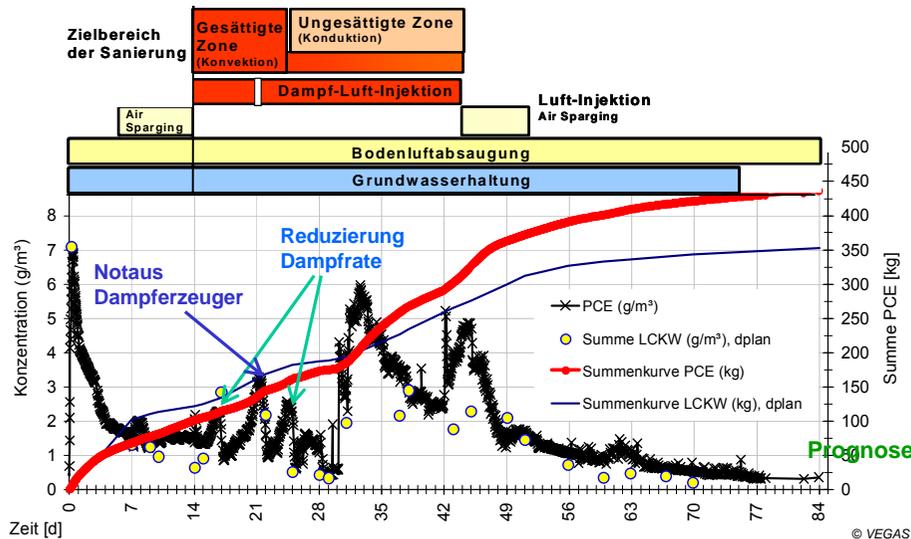


Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 16

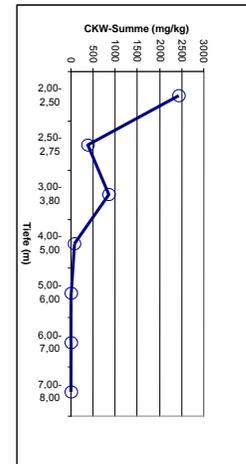
Massenbilanz Schadstoffaustrag



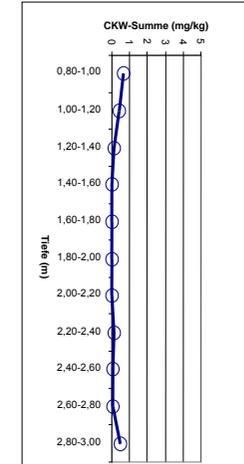
© VEGAS
 Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude
 altlastenforum Baden-Württemberg e.V. Altlastensymposium 2011 07. & 08. Juli, Neu-Ulm 17

Bodenproben vor & nach Pilot-Sanierung

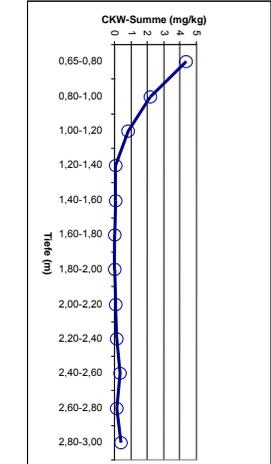
Sondierung Injektionsbr. I6 vor Sanierung



Sondierung 1,5 m Abstand zu I6 nach Sanierung



Sondierung 3 m Abstand zu I6 nach Sanierung



© VEGAS
 Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude
 altlastenforum Baden-Württemberg e.V. Altlastensymposium 2011 07. & 08. Juli, Neu-Ulm 18

Zusammenfassung Pilotanwendung Durlach

- Reichweite der Dampfausbreitung > 4 m Radius
 → mehrtägige hohe Dampftrate erforderlich
- Dauer der Sanierung durch konduktive Aufheizung der Schluffschicht reglementiert
 → 4 – 6 wöchige Erwärmung Schlufflagen mit red. Dampftrate
- 440 kg PCE über BLA & 10 kg über GW entfernt:
 - BLA "kalt": ca. 70 kg
 - Air-Sparging: ca. 30 kg
 - Dampf-Luft: ca. 340 kg
- Steigerung Sanierungsleistung um Faktor 5 durch DLI
- Sanierungskonzept für Gesamtsanierung

© VEGAS

© VEGAS
 Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude
 altlastenforum Baden-Württemberg e.V. Altlastensymposium 2011 07. & 08. Juli, Neu-Ulm 19

Vorschlag für Gesamtsanierung

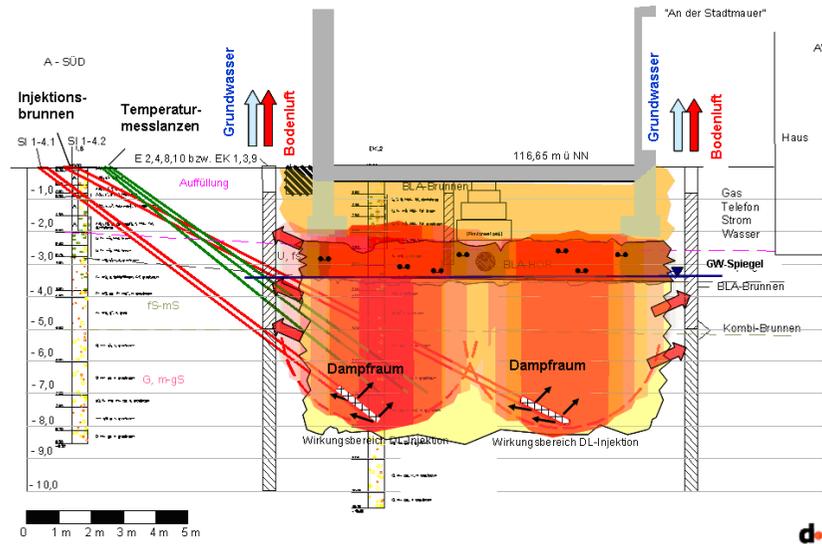


- Sanierungsdauer: 10 Monate = 4 x 6 Wochen DLI
- Budget: 600.000 EUR
- Thermische Sanierung von ca. 1.600 m³ Boden
- 300 kW Dampf-Injektionsleistung

© VEGAS

© VEGAS
 Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude
 altlastenforum Baden-Württemberg e.V. Altlastensymposium 2011 07. & 08. Juli, Neu-Ulm 20

Realisierung DLI unter dem Gebäude



Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 21

Sanierungskonzept

Sanierung analog Pilotierung in vier Phasen sukzessive in den vier Sanierungsfeldern

- (1) kalte Bodenluftabsaugung und Grundwasserförderung alle Felder (1 Woche)
- (2) Air-Sparging (je 1 Woche)
- (3) Dampf-Luft-Injektion, DLI (je 6 Wochen)
- (4) Abkühlphase: Air-Sparging, BLA und Grundwasserförderung (insgesamt 6 Wochen)

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 22

Sanierungsüberwachung

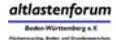
Datenerfassungssystem mit Online-Überwachung aller kritischen Anlagenparameter: Drücke, Temperaturen, Volumenströme (Dampf, Luft, Wasser) und Schadstoffkonzentrationen

- Kurzfristige (möglichst tägliche) Auswertung aller Messdaten, Interpretation....
- quasi-kontinuierlichen Prozess-Steuerung, räumliche und zeitliche Steuerung der DL-Injektion
- Fehlermeldungen, (Ausfall von Geräten oder kritische Zustände) SMS an ZUT und VEGAS

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 23

Datenerfassungssystem

- GC-PID zur kontinuierlichen Erfassung der CKW-Konzentrationen in der Bodenluft
- Kontrollanalytik des geförderten Grundwassers und Abwassers
- Temperaturmesssystem im Sanierungsfeld zur Bestimmung der räumlichen Wärmeausbreitung
- Wesentliche Anlagenprozessparameter
- Raumluftüberwachungsanlage

© VEGAS

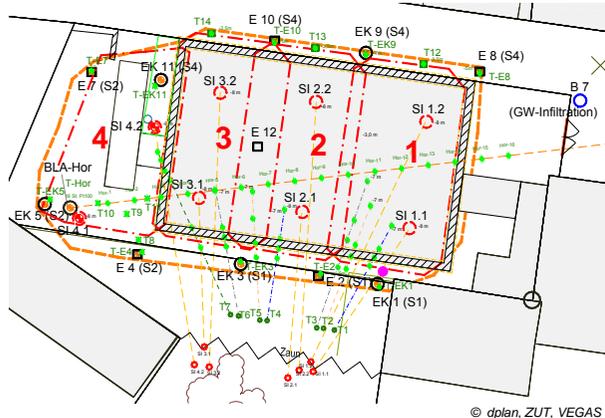


Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 24

Sanierungsausführung



- **Ausführungsplanung und Ausschreibung:** Standortgutachter dplan (& VEGAS)
- **Auftraggeber:** Stadt Karlsruhe
- **Ausführung:** Züblin Umwelttechnik
- **Wissenschaftliche Begleitung/Beratung, Sanierungsüberwachung und -steuerung:** VEGAS & dplan
- **Begleitkreis:** RP-Ka, Stadt, LUBW...

Stadt Karlsruhe
Umwelt- u. Arbeitsschutz



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
Baden-Württemberg e.V.
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 25



In-situ thermische Sanierung eines LCKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude

Wolfgang Maier-Osswald und Steffen Hetzer

Altlastensymposium 2011- Ulm, 7.7. - 8.7.2011

ZÜBLIN Umwelttechnik GmbH

Stuttgart · Berlin · Chemnitz · Dortmund · Hamburg · Nürnberg
Frankreich · Italien · Schweiz · Polen · Rumänien

Fon +49 711 8 20 22 57

Fax +49 711 8 20 21 54

umwelttechnik@zueblin.de

www.zueblin-umwelttechnik.com

ZÜBLIN

LCKW-Schaden, Karlsruhe-Durlach



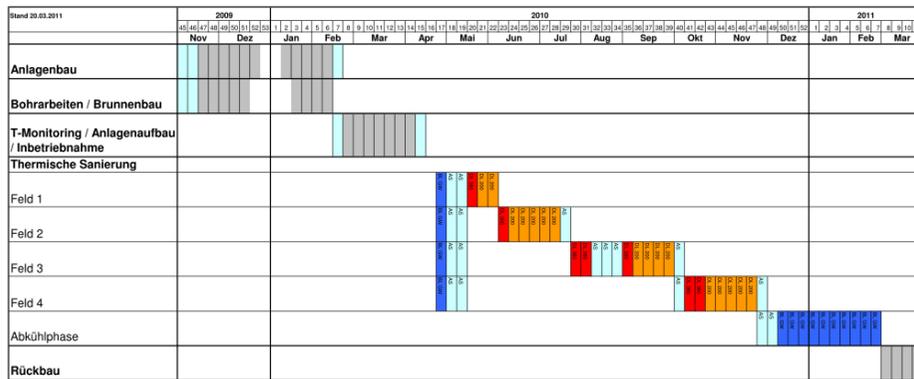
- Altstadt Karlsruhe-Durlach
 - Eng bebautes Wohngebiet
 - Denkmalgeschütztes Gebäude
- Ehemalige chem. Reinigung
 - Schadstoffquelle PCE
 - Grundwasserflurabstand 4 m
 - Schluffschicht von 3 m bis 3,50 m, darunter Mittelsande
 - CKW bis ca. 7m, Fläche ca. 220 m²
 - c(PCE) bis 3.800 mg/kg (Schluff)
 - c(PCE) bis 60 mg/L (Grundwasser)
- Grundwasserschaden
 - Fahnenlänge >300 m
 - c(PCE) bis 350 µg/L

ZÜBLIN

Besonderheiten

- Beengte Platzverhältnisse für Bau-/Bohrarbeiten / Antransport / Anlagenstellfläche (Spielplatz)
- Horizontalbohrung für Absaugpegel, 35 m, da110
- Schrägbohrungen, um unter Gebäude zu gelangen
- Lärmemission nachts maximal 45 dB(A)
- Dampferzeuger 500 kg/h mit Brennerleistung 400 kW
- Raumluftüberwachung 6 Messstellen im Erdgeschoss + Bewetterung
- Mehrstufige Kühlung (3 Wärmetauscher)
- Redundante Anlagenbauteile
- SPS mit Warmmodem
- Online-Datenerfassung von ca. 150 Messsignalen
- 2 GC-PID mit Messstellenumschaltung für Raumluft und Abluft

ZUBLIN Sanierungsablauf, Zeitplan



Sanierungsablauf je Feld:

1. Air-Sparging-Phase (Hintergrundbelastung)
2. Dampfleistung 100% ca. 1 Woche -> Dampfdurchbruch
3. Dampfleistung 50% ca. 5 Wochen -> Aufheizen

ZUBLIN Sanierungsablauf, Zeitplan

Steuerung / Bilanzierung

- Über ca.110 Temperatursonden im Feld erfolgt die Überwachung der Dampfausbreitung
- Über einen GC-PID wird die abgesaugte Bodenluft analysiert

Zwei Kriterien:

1. Zieltemperatur von 92°C im Feld muss erreicht sein (Gemischsiedetemperatur Wasser-PCE)
2. Schadstoffgehalt in Bodenluftabsaugung muss abfallen
-> Feld gilt als saniert -> Umschalten auf das nächste Feld

ZUBLIN Horizontalbohrung



ZUBLIN Schrägbohrungen





Injektionsbrunnen



Extraktionsbrunnen und Temperaturmessung

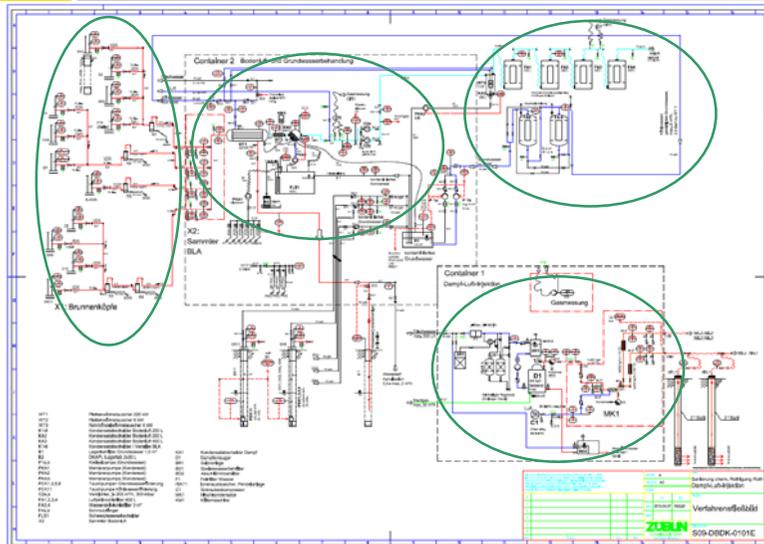


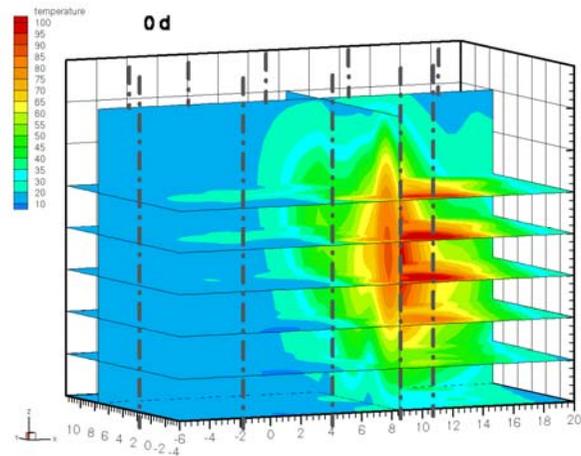
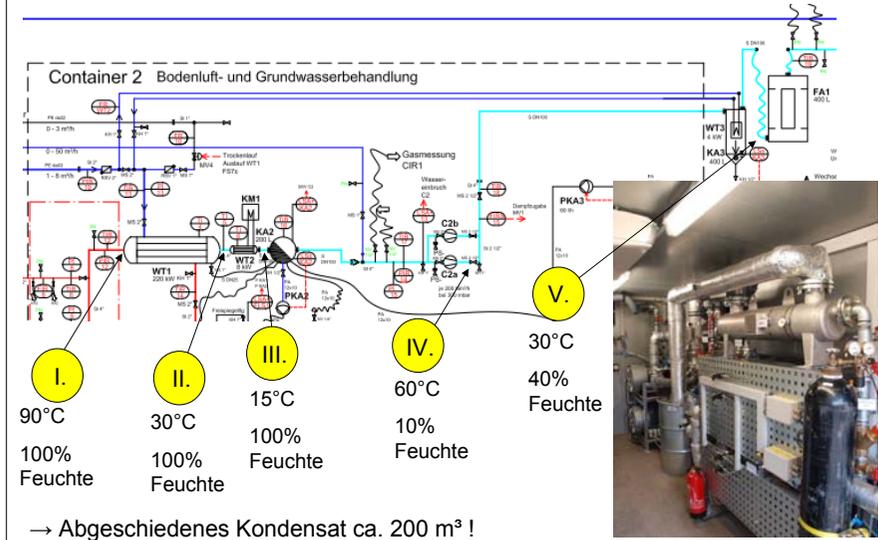
Abluftkamin BLA



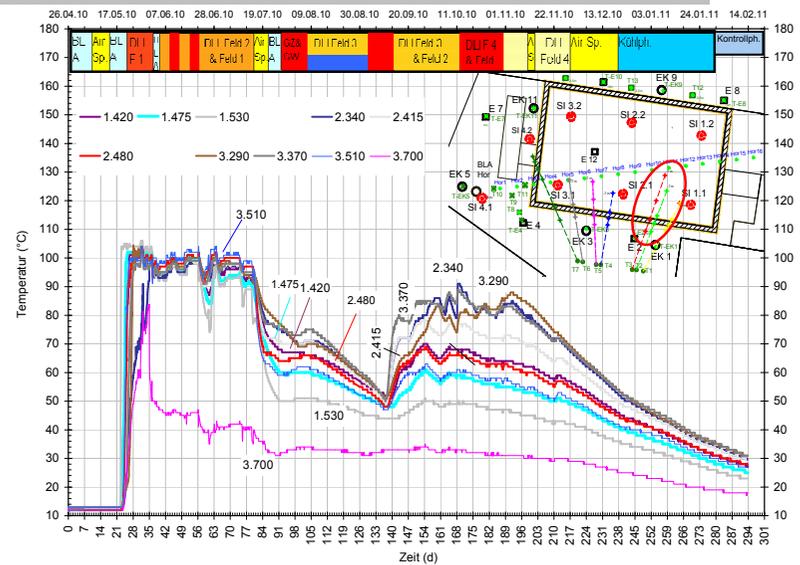
Grundwasserförderung, Bodenluftabsaugung mit A-Kohleaufbereitung

- Dampf-Luft-Erzeugung
- Bodenluftabsaugung
- Kondensation
- Grundwasserreinigung (Kühlung und Abstromsicherung)
- Abluftbehandlung
- Messtechnik

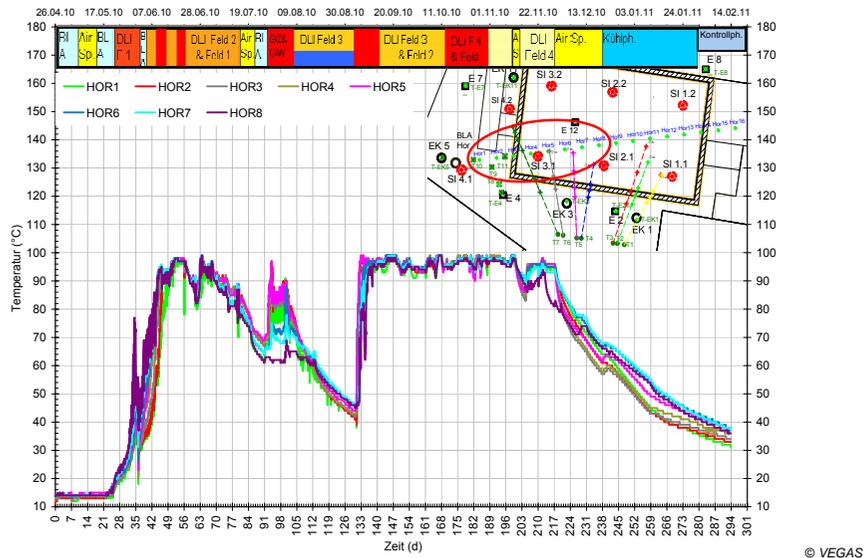




Temperaturen im Sanierungsfeld 1



Temperaturen im Horizontalbrunnen



© VEGAS

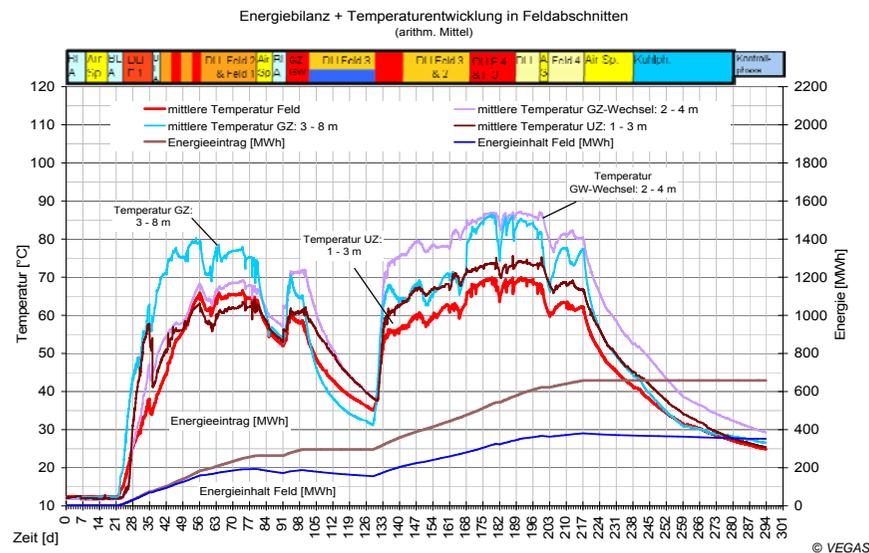


Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
Baden-Württemberg e.V.
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 45

Mittlere Temperaturen im Sanierungsfeld



© VEGAS

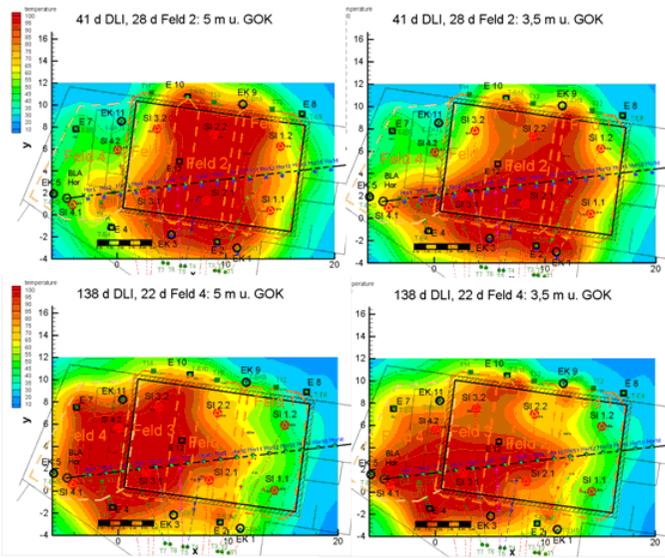


Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
Baden-Württemberg e.V.
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 46

Temperaturausbreitung



© VEGAS

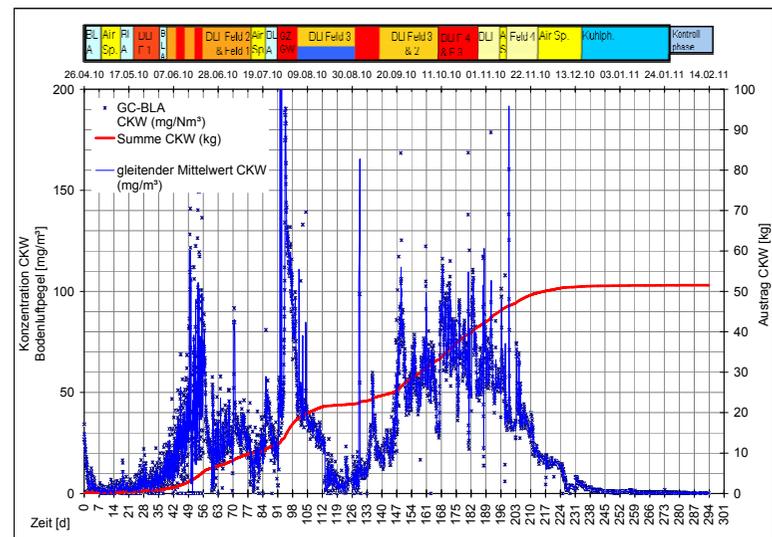


Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
Baden-Württemberg e.V.
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 47

CKW-Austrag über die Bodenluft



© VEGAS

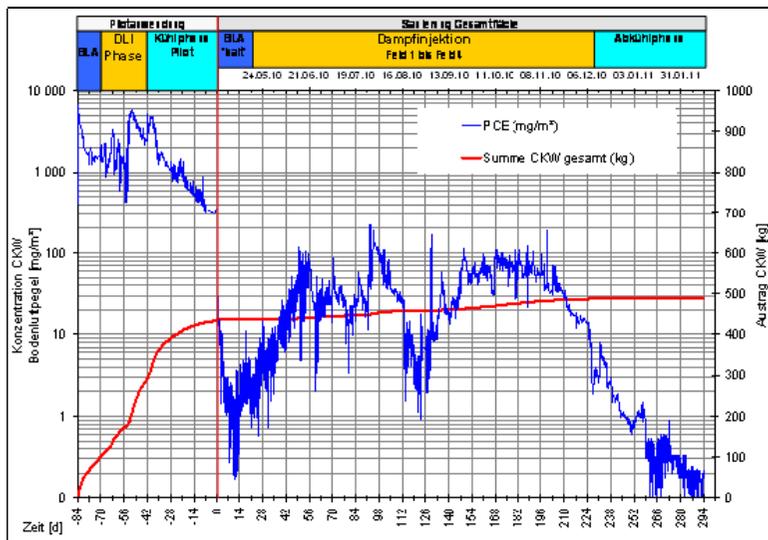


Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
Baden-Württemberg e.V.
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 48

Schadstoffaustrag Bodenluft



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
Baden-Württemberg e.V.
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 49

ZUBLIN Kosten

- Auftragswert: ca. 600.000 €
 - 25% Bauleistung
 - 25% Verbrauchsstoffe (Hauptanteil Gas zur Dampferzeugung)
 - 50% Anlagenbau + Sanierungsbetrieb
- Spezifische Betriebskosten bezogen auf Boden
 - 180 €/to Boden

→ **Schadstoffmenge ist bei thermischen Sanierung nicht ausschlaggebend, sondern die Größe / Volumen des behandelten Untergrunds!**

Altlastensymposium 2011- Ulm, 7.7. - 8.7.2011

50

ZUBLIN Ergebnis

- Sanierungsdauer 42 Wochen (ca. 30 Wochen DLI)
- Gesamtdauer inkl. Bauarbeiten ca. 70 Wochen
- 50 kg LCKW wurden entfernt (500 kg inkl. Pilotversuch)
- Sanierungszielwerte wurden erreicht (10 mg/m³ in der Bodenluft, 10 µg/L im Grundwasser)
- Drastischer Rückgang der Grundwasserbelastung
 - vorher: 60.000 µg/L
 - aktuell: < 0,7 µg/L bis n.n.
- Rückgang der Raumluftbelastung
 - vorher: LCKW bis 10 mg/m³
 - während und nach Sanierung: LCKW = 0 mg/m³
- Energiebilanz
470 kWh/m³ Boden (84% thermisch; 16% elektrisch)

Altlastensymposium 2011- Ulm, 7.7. - 8.7.2011

51

Dampf-Luft-Injektion: von der Forschung zur Anwendung

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):**
CKW, geklüfteter Sandsteinaquifer, (Tonsteinbasis -21 m)
- 2011 **Ausschreibung Gesamtsanierung läuft derzeit**

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
Baden-Württemberg e.V.
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 52



Vision
Standort im Jahr 2012

Zum guten Schluss

Danke für Ihr Interesse

Gerne beantworten wir Ihre Fragen

hans-peter.koschitzky@iws.uni-stuttgart.de

wolfgang.maier-osswald@zueblin.de

<http://www.vegas.uni-stuttgart.de>

Dr.-Ing. Hans-Peter Koschitzky, Technischer Leiter
VEGAS, Versuchseinrichtung zur Grundwasser-
und Altlastensanierung, Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 61, 70569 Stuttgart
Tel.: 0711 685-64716, Fax: 0711 685-67020

Wolfgang Maier-Osswald
ZÜBLIN Umwelttechnik GmbH
Tel. +49 711 8202-115



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens
unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 54

In eigener Sache

VEGAS - Kolloquium 2011 Flache Geothermie – Risiken und Perspektiven

In Kooperation mit dem LFZG,
Landesforschungszentrum Geothermie
Baden-Württemberg

Donnerstag, 06. Oktober 2011
Universität Stuttgart, Campus Stuttgart-Vaihingen
Ingenieurwissenschaftliches Zentrum IWZ

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens
unter einem denkmalgeschützten Gebäude



Altlastensymposium 2011
07. & 08. Juli, Neu-Ulm 55