

CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

Hans-Peter Koschitzky
Oliver Trötschler

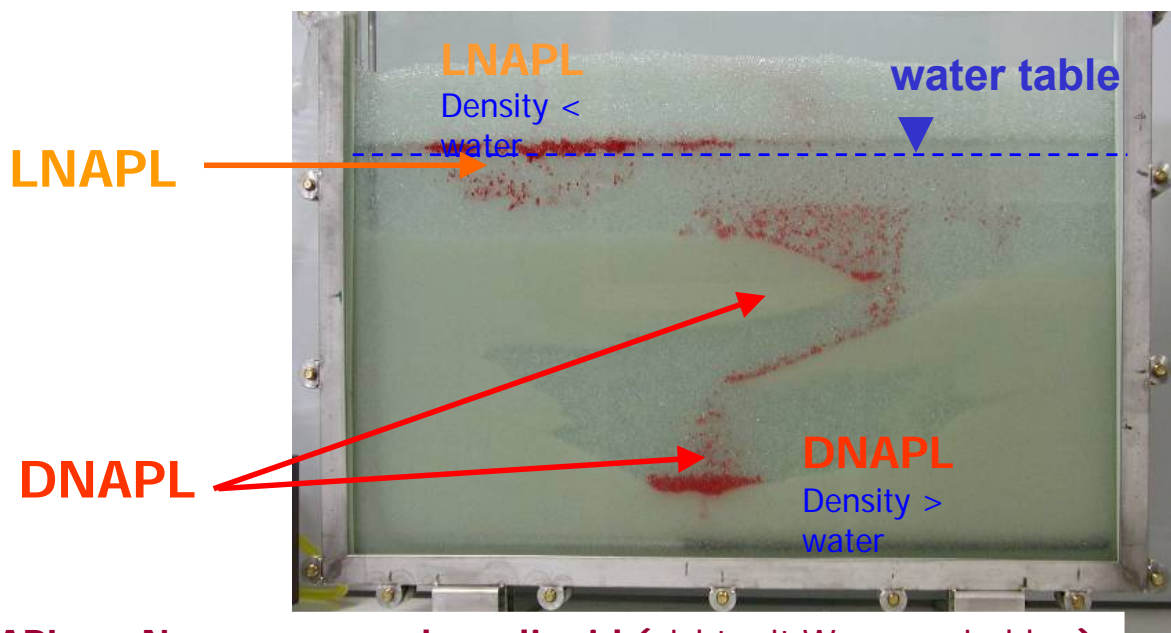


Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung
Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, Germany
vegas@iws.uni-stuttgart.de; www.vegasinfo.de

© ChloroNet 3. Fachtagung, Solothurn, 29. September 2010

Entstehung von Schadensherden: LNAPL – DNAPL

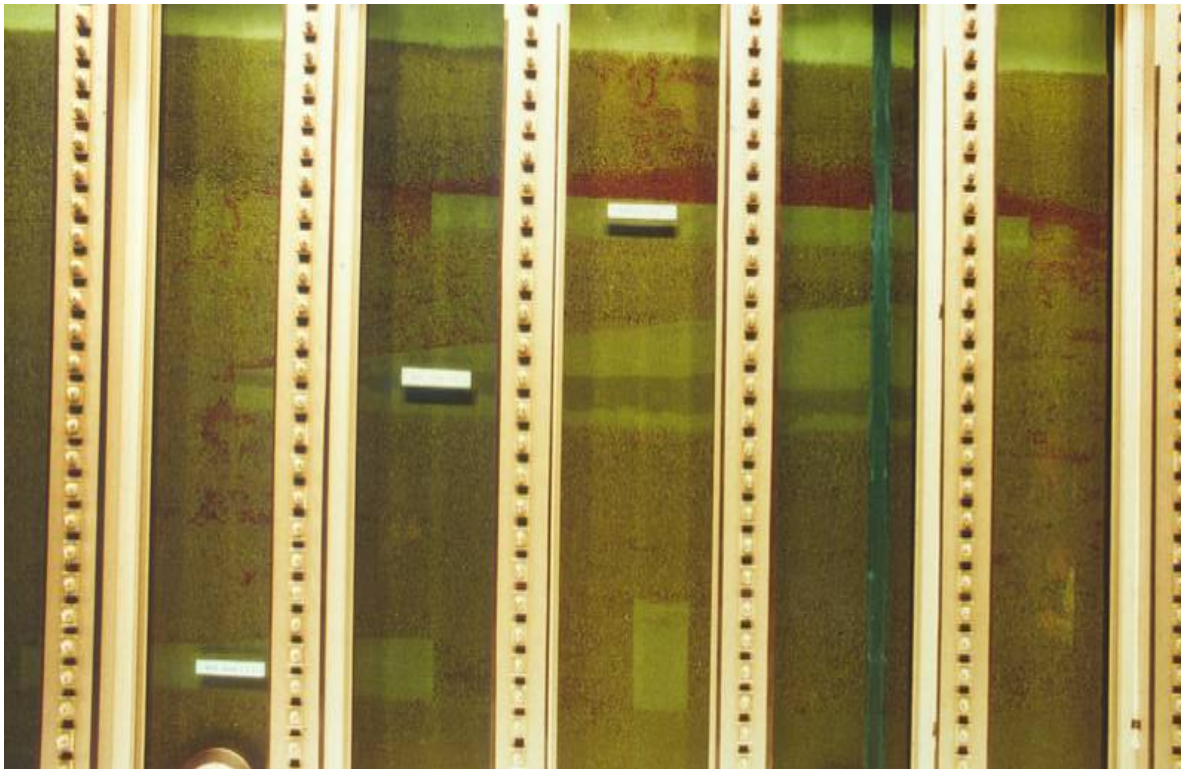
Sanierungstechnologien erforderlich



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

© VEGAS

CKW – Versickerung in einem inhomogenen Aquifer



© VEGAS

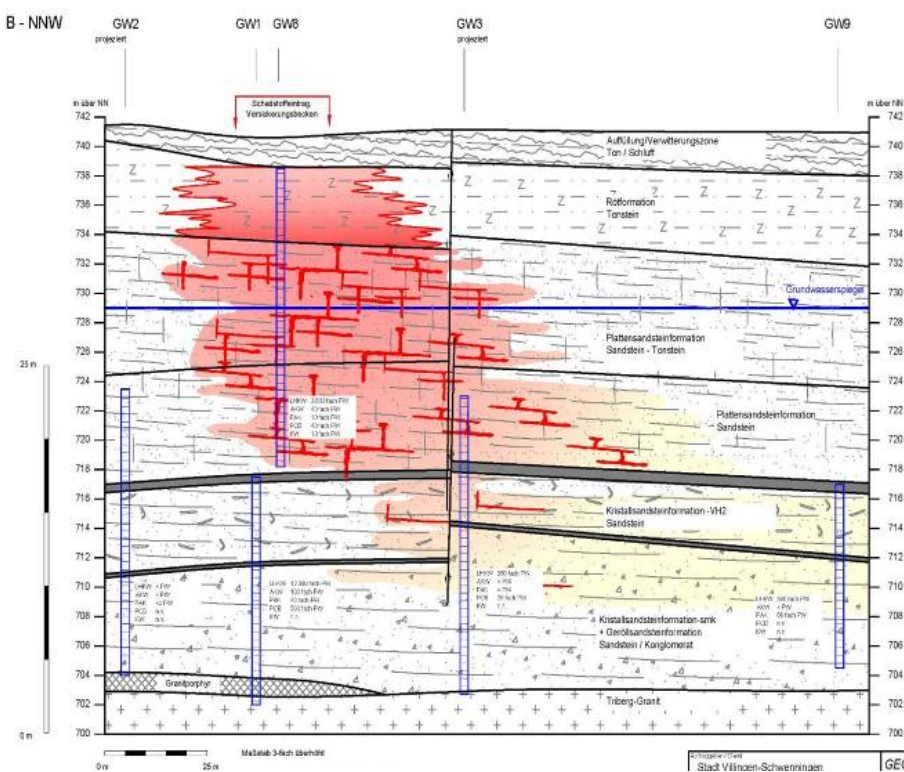


CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung
29.09.2010, Solothurn

3

Geologie und Schadensbild in einem Kluftaquifer



Komplexer, geklüfteter Festgesteinsaquifer

- oberer Plattensandstein-Aquifer mit Tonsteinbasis
- unterer Kristallsandstein-Aquifer mit Granitbasis

© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

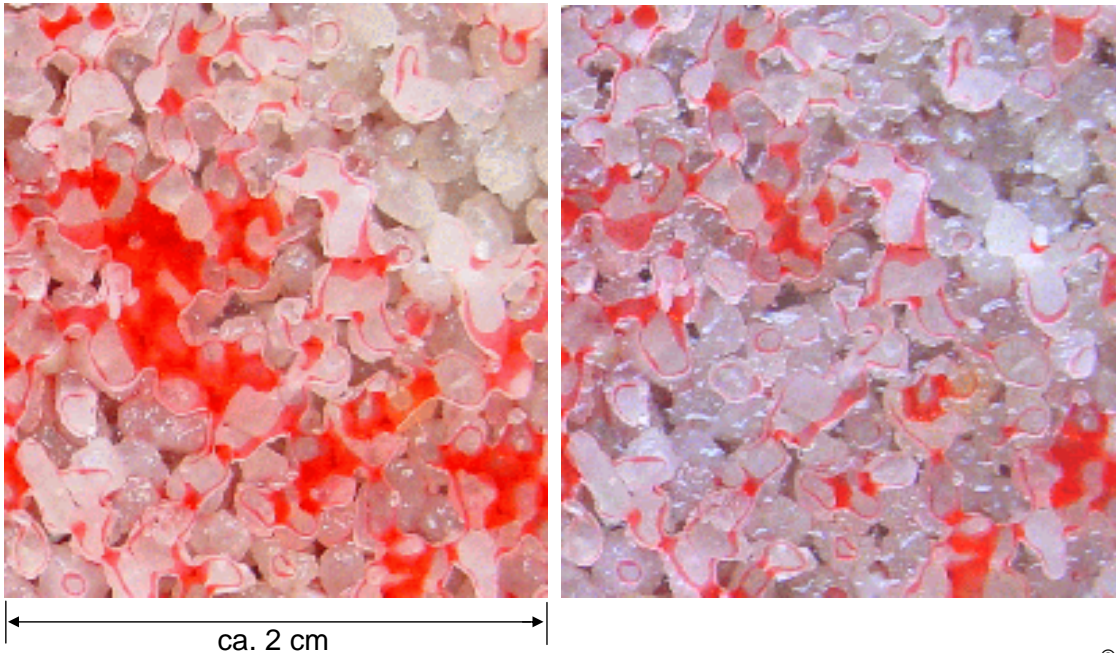
ChloroNet 3. Fachtagung
29.09.2010, Solothurn

4

Fluideigenschaften - Temperaturabhängigkeit

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

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



© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung
29.09.2010, Solothurn

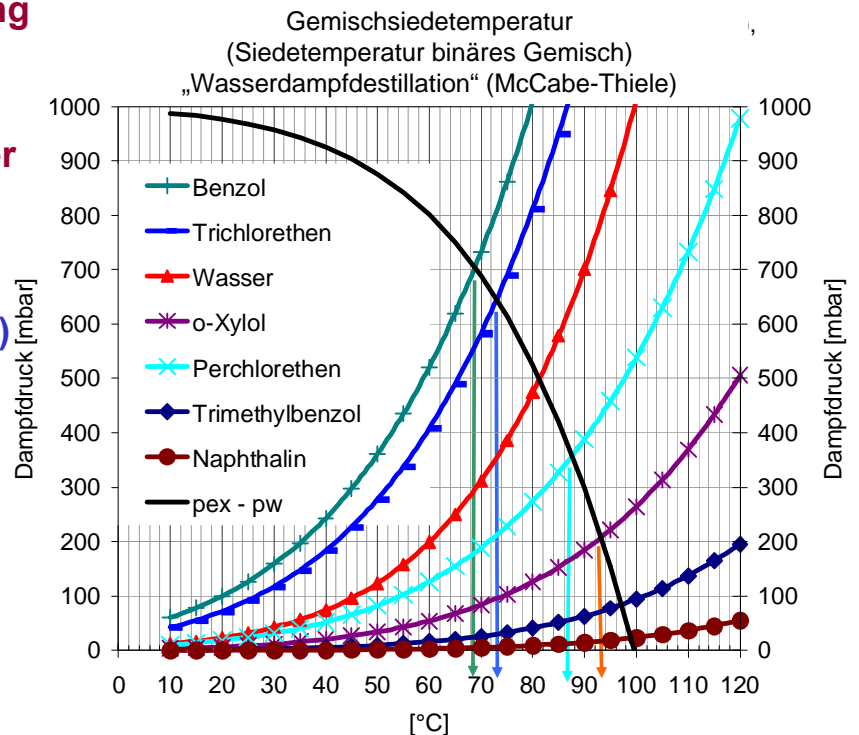
5

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



© VEGAS

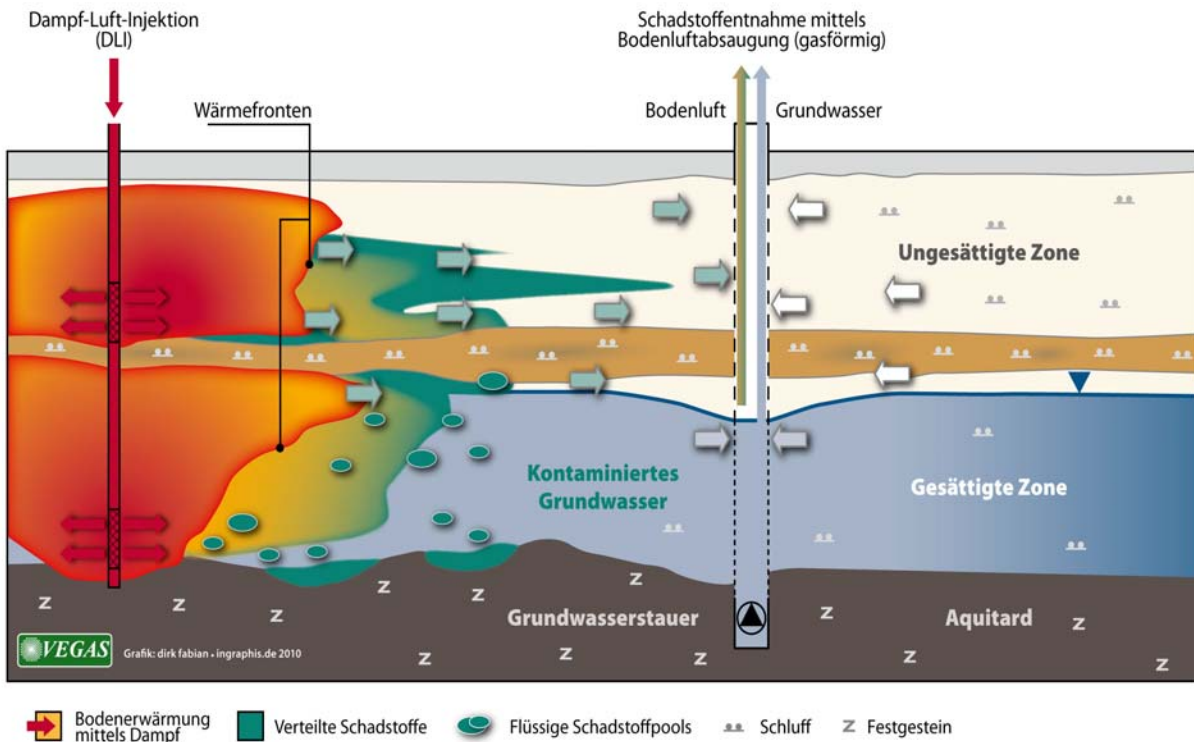


CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung
29.09.2010, Solothurn

6

Thermisches In-situ-Sanierungsverfahren, Dampf-Luft-Injektion



© VEGAS

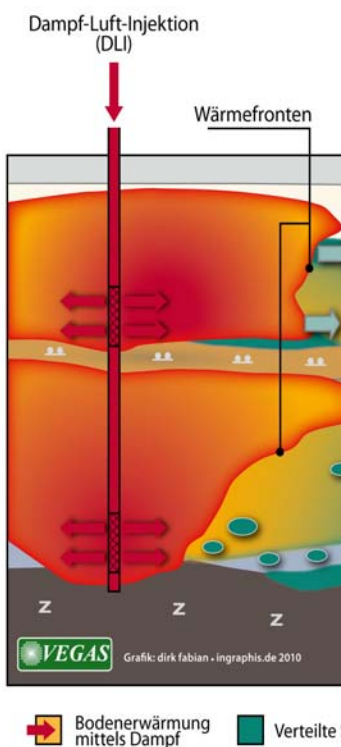


CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung
29.09.2010, Solothurn

7

Einsatzbereiche Dampf-Luft-Injektion



Einsatzbereiche:

DNAPL und LNAPL, leicht- und mittelflüchtig, Siedetemperaturen bis 180°C

UZ: Lockergestein mit mittlerer bis guter Durchlässigkeit (Schluff → Kies)

GZ: Porengrundwasserleiter (Sand bis Schluff) mit k_f : 5×10^{-5} bis 1×10^{-3} m/s

Thermische Reichweite GZ:

➤ Durchlässigkeiten: $0,5 - 5 \times 10^{-4}$ m/s

➤ Dampfausbreitung: 3 - 5 m Radius mit 150 kg/h Sattdampf

➤ anisotrope Schichtung vorteilhaft

© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung
29.09.2010, Solothurn

8



1. **Veranlassung und Zielsetzung**
2. **Einführung**
3. **Begriffe und Definitionen**
4. **Rechtliche Rahmenbedingungen**
5. **Anwendungsvoraussetzungen**
6. **Beurteilungskriterien**
7. **Physikalische Verfahren
(für die ungesättigte Bodenzone und die gesättigte Bodenzone)**
8. **Biologische Verfahren**
9. **Chemische Verfahren**
10. **Durchströmte Reinigungswände (PRB)**
11. **Fazit und Ausblick (Empfehlungen)**
12. **Literatur**
13. **Glossar**

Anhang: Zusammenfassung der Verfahrensbewertungen, Verzeichnis relevanter Rechtsnormen und Regelwerke, Arbeitsschutz bei Arbeiten in kontaminierten Bereichen

© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung
29.09.2010, Solothurn

9

Beispiel Verfahrensblatt (DLI)

ITVA	Innovative In-situ-Sanierungsverfahren	Innovative In-situ-Sanierungsverfahren	ITVA
7.2.2	Dampf-Luft-Injektion in der gesättigten Bodenzone (DLI)	Dampf-Luft-Injektion in der gesättigten Bodenzone (DLI)	
<p>Dampf-Luft-Injektion in der gesättigten Bodenzone (DLI)</p> <p>Prinzip Bei der Injektion des Wasserdampf-Luft-Gemisches in die gesättigte Bodenzone breitet sich - in Abhängigkeit von der injizierten Dampfrate und der Durchlässigkeit - ein geschlossener Dampfraum im Idealfall radialsymmetrisch mit Radien zwischen 1 - 5 m um die Injektionsstelle aus. Durch die Abgabe seiner Verdampfungsenthalpie wird der zu sanierende Bereich erwärmt. Im dampferfüllten Bereich werden die flüssigen, leicht- bis mittelflüchtigen organischen Schadstoffe verdampft und in die Gasphase überführt. Die mit dem Dampf injizierte Luft strömt als inertes Trägergas von der Injektionsstelle bis zur Dampfzonenfront, nimmt dabei die gasförmigen Schadstoffe auf und transportiert diese aus dem Grundwasserleiter (Aquifer) nach oben in die ungesättigte Bodenzone, ähnlich dem Air-Sparging, jedoch mit erheblich größerer Bedeckung. Die gasförmige Entfernung der Schadstoffe erfolgt über eine Bodenluftabsaugung.</p>		<p>Anwendungsgrenzen</p> <ul style="list-style-type: none"> Auf Grund der Notwendigkeiten kann bei anisotropen Schichtungen und Durchlässigkeiten im Bereich zwischen $k_f = 0,5 - 5 \times 10^{-3}$ m/s derzeit von einer „thermischen Reichweite“ von 3 - 5 m Radius bei einer Injektionsrate von 150 kg/h Sättigungsdampf (1 m Filterstrecke) ausgegangen werden. Bei REX-Kontaminationen sollte die Injektion zusätzlich in die ungesättigte Zone und insbesondere in den Grundwasserwechselbereich erfolgen. <p>Besonderheiten, Hinweise, Risiken</p> <ul style="list-style-type: none"> Keine Flüssigmobilisierung von Schadstoffen (DNAPL und LNAPL) Kontrolle der Sanierung über Temperaturmessungen im Sanierungsfeld online für effektive Steuerung der Sanierung und Nachweis der Dampfausbreitung und des Sanierungserfolgs Hydraulisch schlecht durchlässige Schichten, wie zum Beispiel Schluff- oder Tonsschichten bis zu mehreren dm Mächtigkeit, können thermisch mittels konduktiver Aufheizung saniert werden Pilotanwendung zur Reichweitenbestimmung wird empfohlen Geringe Sanierungskosten bei vollständiger Reinigung der über die Gemischtedtemperatur aufgewärmten Schadstoffe (bis zu erkrankten Bereichen) 	
<p>Aufbau und Beschreibung Anlagentechnisch ist neben einem Dampferzeuger und einem Dampf-Luft-Gemischs eine Anlage zur Bodenluftabsaugung (BLA) werden die Kontaminanten aus der ungesättigten Bodenzone in einen Verdichter sowie die Abluftbehandlung (zum Beispiel Luftaktivkohle, thermische Nachverbrennung (KATOX), Effluentliches Kühlwasser kann über die hydraulische Sicherung bereit gestellt werden. Das Grundwasser sollte mittels Wasseraktivkohle aufbereitet werden. Eine entsprechende Wasseraufbereitung wird zur Behandlung des anfallenden wässrigen Kondensats aus der heißen Bodenluft eingesetzt. Dem Kondensatabscheider sollte ein Phasenseparator zur Trennung der wässrigen und in der Regel anfallenden organischen Flüssigkeit nachgeschaltet werden. Die getrennte organische bzw. wässrige Phase ist gesondert zu behandeln bzw. zu entsorgen. Der Betrieb einer Grundwasserhaltung sichert die Entnahme der verdichteten wassergelösten Schadstoffe und schützt vor einer abströmigen Verfrachtung.</p> <p>Verfahrensspezifische Planungsgrundlagen Informationen zur Infrastruktur am Standort (Wasser-, Strom-, Gas-, Abwasseranschluss), zur Gründung von Gebäuden, Leitungen und Kanäle im Untergrund und zu temperaturempfindlichen Bauteilen. Informationen zur vertikalen Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit im Aquifer zur Reichweitenabschätzung (Pumpversuche, Flowlog-Messungen), Geotracer-Versuch für UZ empfindlichstwert</p> <p>Anwendungsbereich</p> <ul style="list-style-type: none"> Schadstoffquellen in der gesättigten Bodenzone Lockergesteine (Feinsand bis Schluff) mit hydr. Durchlässigkeit k_f: 5×10^{-3} bis 1×10^{-2} m/s organische Schadstoffe LNAPL und DNAPL (leicht- und mittelflüchtig mit Siedtemp. bis 180°C) Sanierung unter Gebäuden bei Erhalt der Gebäudenutzung während der Sanierung 		<p>und vertikal nach oben im Aquifer ausbreitet, an gereinigt werden den, strömt der Dampf unterhalb der hydraulischen Zone darüber anstehenden Bodenzone verdampft und gasförmig BLA erfasst werden. Etwas kondensiertes wieder verdampft gezielte geringleitende Schichten größerer auf die Gemischtedtemperatur aufgewärmte Schicht thermisch saniert</p> <p>in (s. Referenzen) in Deutschland Kluffgestein</p> <p>schutz. Die Genehmigungsvoraussetzungen (zweifelhaft mit den zuständigen Behörden abzu-</p> <p>und mittels Dampf-Luft-Injektion (September Landratsamt Zollern-Alt-</p> <p>als Grundlage der Sanierungsplanung</p> <p>mt.</p> <ul style="list-style-type: none"> Thermische In-situ-Sanierung ehemaliges Hygienewerk Zettl (Testfeld I) (Mai 2007 - Dezember 2007) / Landratsamt Balingen-Weilerdingen Pilotanwendung, CKW-Sanierung im gekühlten Festgesten ehem. Verbrennungsplatz Bismum, (März - Oktober 2009) / Stadtkreis Wülfringen-Schwörzingen <p>Ausgewählte Literatur</p> <ul style="list-style-type: none"> Trotzschler, O., Koschitzky, H.-P., Ochs, S.O., Denzel, S., Stöckl, K. (2008): Dampf-Luft-Injektion in der gesättigten Zone. Pilotanwendung zur Sanierungsplanung an einem innerstädtischen Standort im Rheintal. In: Braun, J., Koschitzky, H.-P., Blumhagen, M. (Hrsg.), Eigenverlag, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, 9/2008, Nr. 193, S. 68-70. ISBN: 3-609-01-98-7 Koschitzky, H.-P., Trotzschler, O., Limburg, B., Hirsch, M., Weh, H. (2007): Pilotanwendung DLI Zettl: Erste Ergebnisse der thermischen Sanierung des Kernbereichs eines Benzolochadens mittels Dampf-Luft-Injektion. In: Braun, J., Koschitzky, H.-P. & M. Stuhmann (Hrsg.), Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, 8/2007, Nr. 189, S. 52 - 52. ISBN: 3-609-01-98-7 Koschitzky, H.-P., Trotzschler, O. (2008): Thermische In-situ-Sanierungsverfahren: Einsatzbereich, Dimensionierung und erprobte Anwendung. In: Franzus, V., Altonböck, M. & Gehbold, T. (eds.): Hdr. 05. Aktual., S. Aufl. C.F. Müller Verlag, 9/2008, 5718 II. ISBN: 978-3-8114-9700-9 <p>Bewertung durch den Arbeitskreis Das Verfahren hat sich in der Erprobung als praxisreif erwiesen und kann unter entsprechenden Bedingungen als zuverlässiges, gut kontrollierbares, schnelles und kostengünstiges Vorgehen eingesetzt werden. Zur zuverlässigen Dimensionierung ist allerdings Expertenwissen erforderlich. Allgemein verfügbare Dimensionierungstools liegen noch nicht vor, werden jedoch in naher Zukunft erarbeitet.</p>	
<p>Weitere Informationen und Bezug ITVA e.V. Invalidenstr. 34 10115 Berlin E-Mail: info@itv-altlasten.de, www.itv-altlasten.de</p>			

© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung
29.09.2010, Solothurn

10

Pilot-Standort Karlsruhe Durlach



Pilotanwendung zur Sanierungsplanung

Hans-Peter Koschitzky¹
Oliver Trötschler¹
Steffen Ochs²
Stephan Denzel³
Kai Stöckl⁴
Claudia Purkhold⁴

¹ VEGAS Universität Stuttgart
² IWS LH² Universität Stuttgart
³ dplan gmbh, Karlsruhe
⁴ Stadt Karlsruhe

© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

3. Fachtagung 11
29.09.2010, Solothurn

Pilot-Standort Karlsruhe Durlach



© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

3. Fachtagung 12
29.09.2010, Solothurn

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

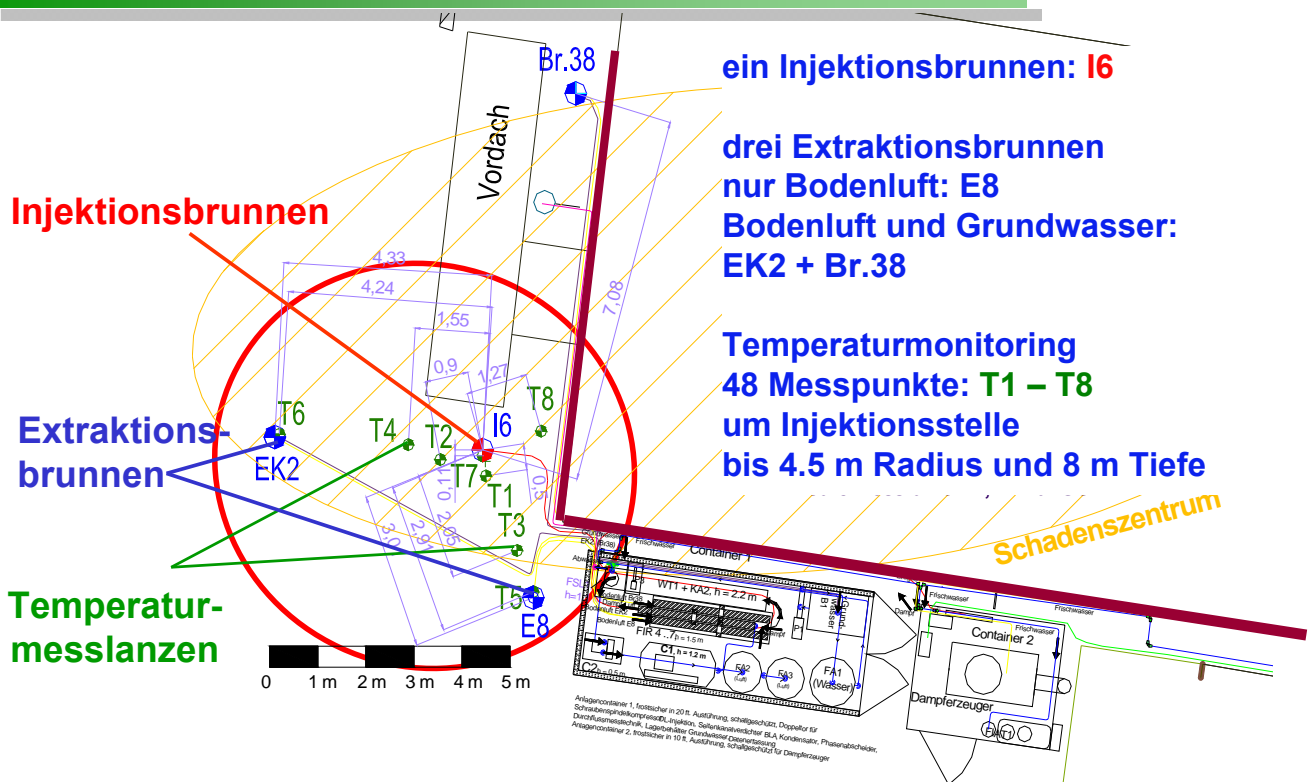
© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 13
29.09.2010, Solothurn

Pilot – Testfeld: Ausstattung



Injektionsbrunnen

Extraktionsbrunnen

Temperaturmesslanzen

ein Injektionsbrunnen: **I6**

drei Extraktionsbrunnen
nur Bodenluft: **E8**
Bodenluft und Grundwasser:
EK2 + Br.38

Temperaturmonitoring
48 Messpunkte: **T1 – T8**
um Injektionsstelle
bis 4.5 m Radius und 8 m Tiefe

Schadenszentrum

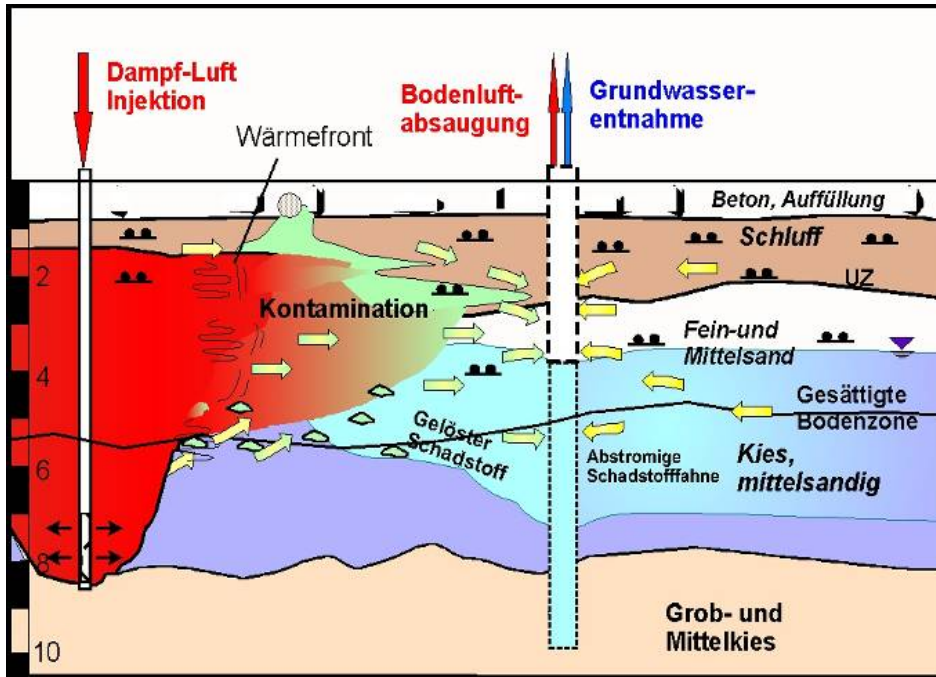
© O. Trötschler, H.-P. Koschitzki



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 14
29.09.2010, Solothurn

Geologie und Sanierungskonzept



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

**Bodenluft-
absaugung**
100 - 150 m³/h

**GW-Haltung
(Kühlwasser)**
1- 3 m³/h

Rheintallage: **Quartärer, fluvialer Aquifer**

© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 15
29.09.2010, Solothurn

Aufbau Container



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

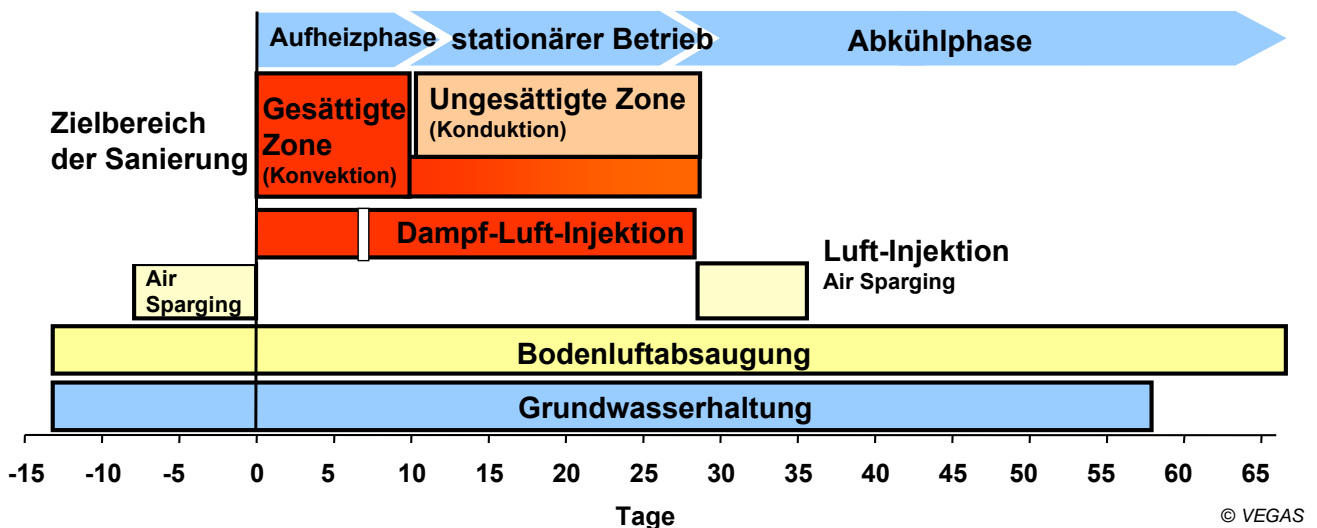
ChloroNet 3. Fachtagung 16
29.09.2010, Solothurn

Installation Pilotfeld

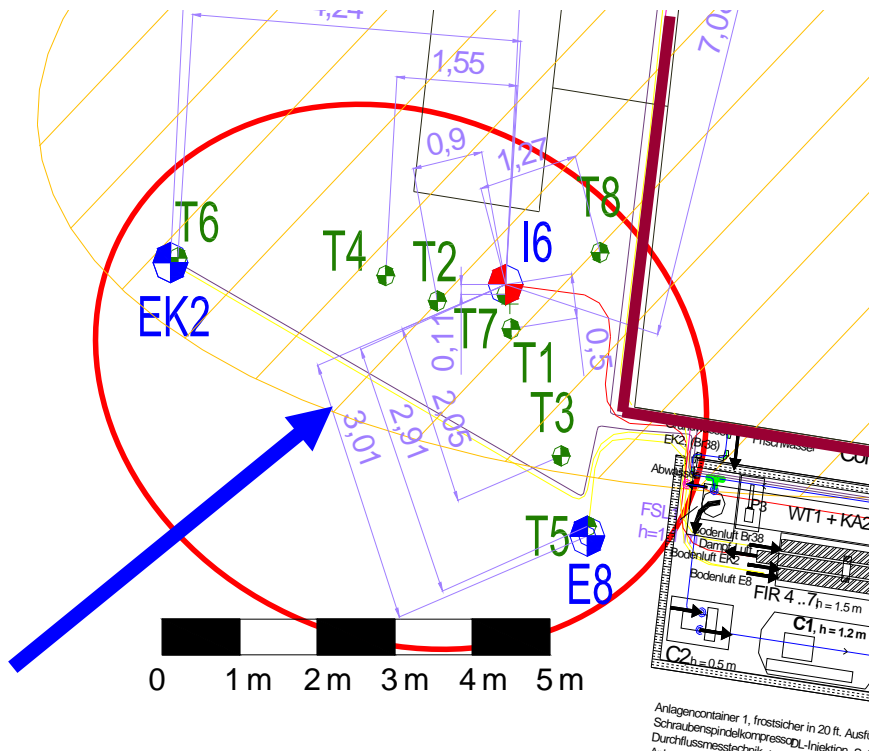


Ablauf der Pilotsanierung

- Betriebsweise an Sanierungsfortschritt angepasst**
- kontinuierliche Schadstoffmessung
- Bestimmung der Wärmeausbreitung



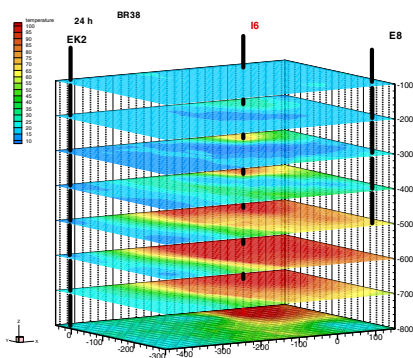
Temperaturmonitoring - Wärmeausbreitung



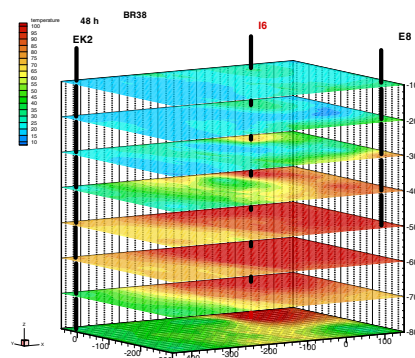
CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 19
29.09.2010, Solothurn

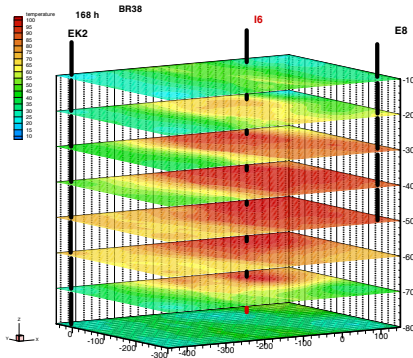
Dampfausbreitung - Temperaturmessungen



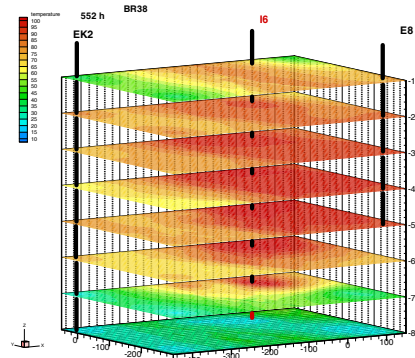
1 Tag



2 Tage



7 Tage



21 Tage

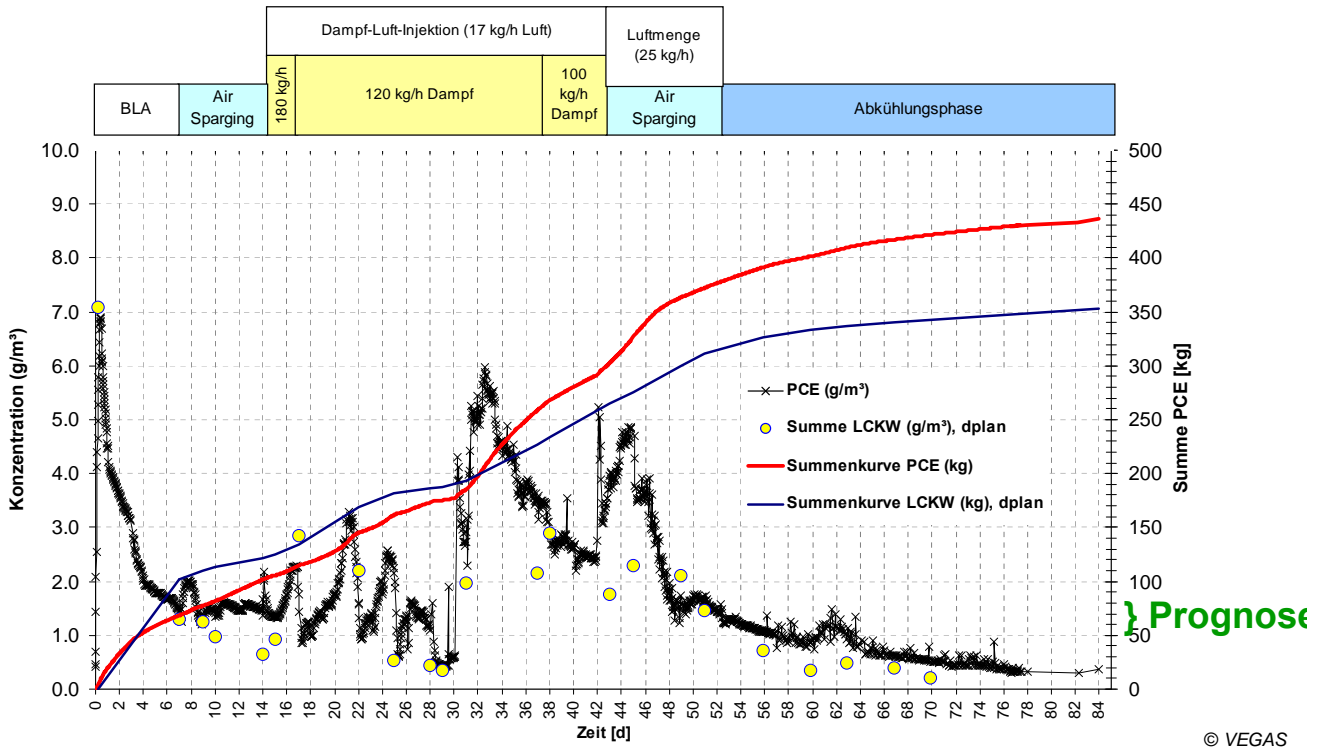
© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 20
29.09.2010, Solothurn

Massenbilanz Schadstoffaustrag



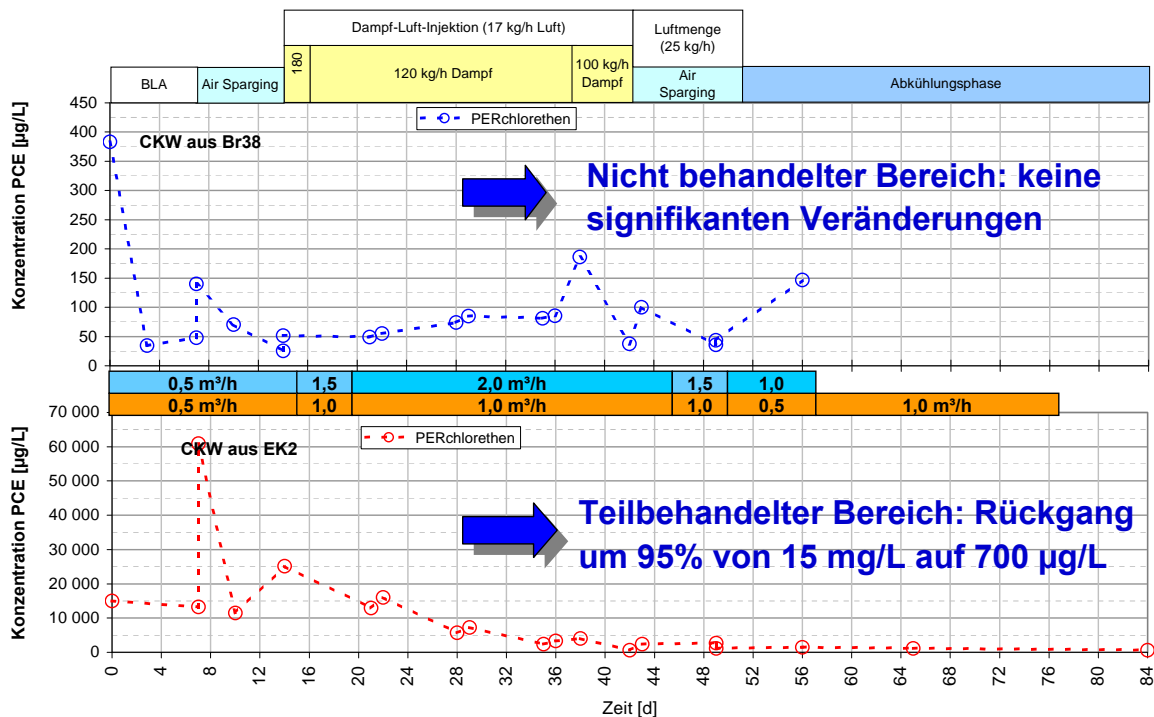
© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 21
29.09.2010, Solothurn

PCE-Konzentrationen im Grundwasser



© VEGAS

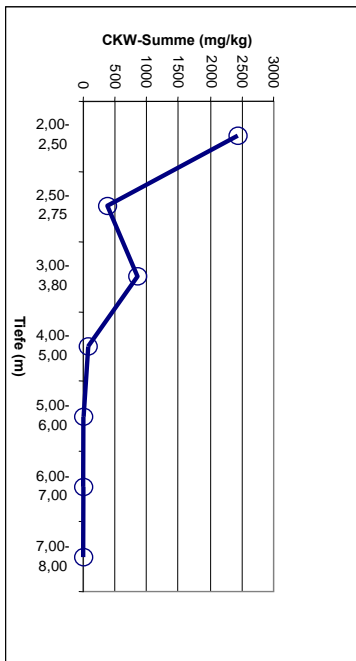


CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

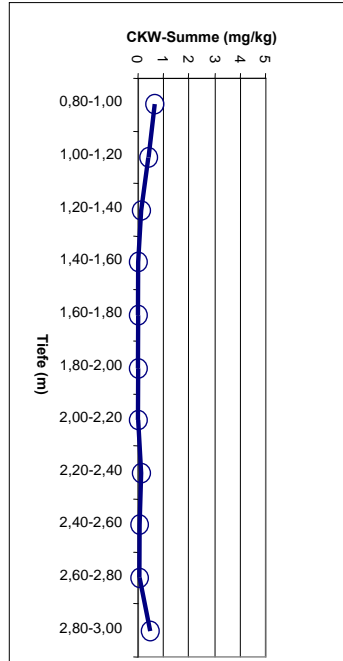
ChloroNet 3. Fachtagung 22
29.09.2010, Solothurn

Bodenproben vor & nach Pilot-Sanierung

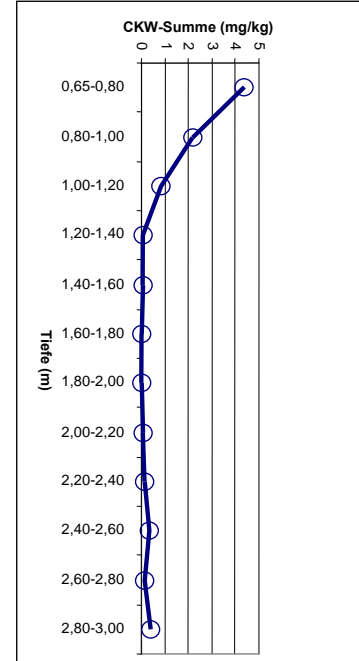
Sondierung Injektionsbr. I6
vor Sanierung



Sondierung 1,5 m Abstand
zu I6 nach Sanierung



Sondierung 3 m Abstand
zu I6 nach Sanierung



© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 23
29.09.2010, Solothurn

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

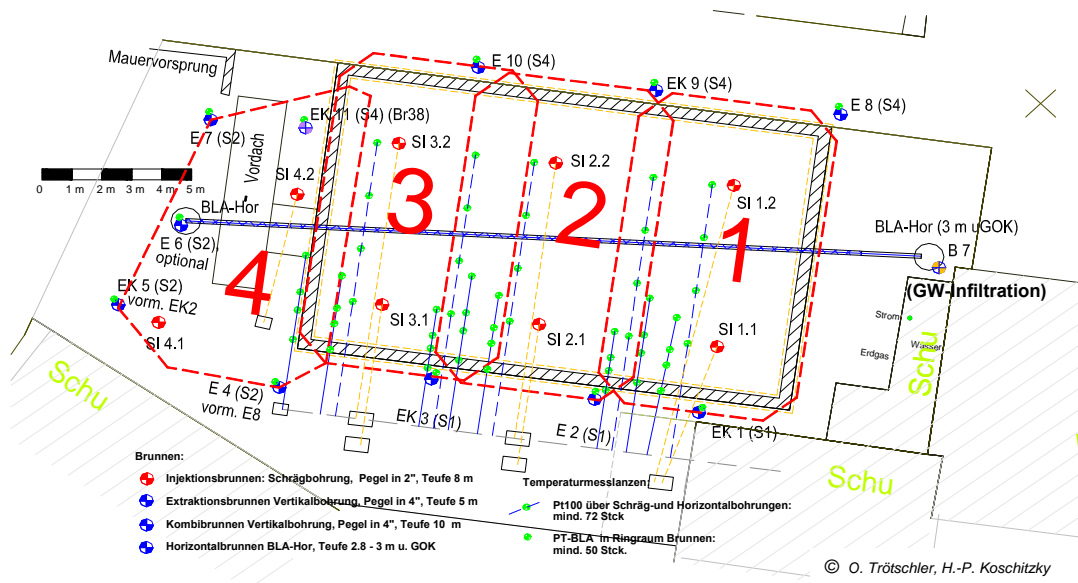
© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 24
29.09.2010, Solothurn

Vorschlag für Gesamtsanierung



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

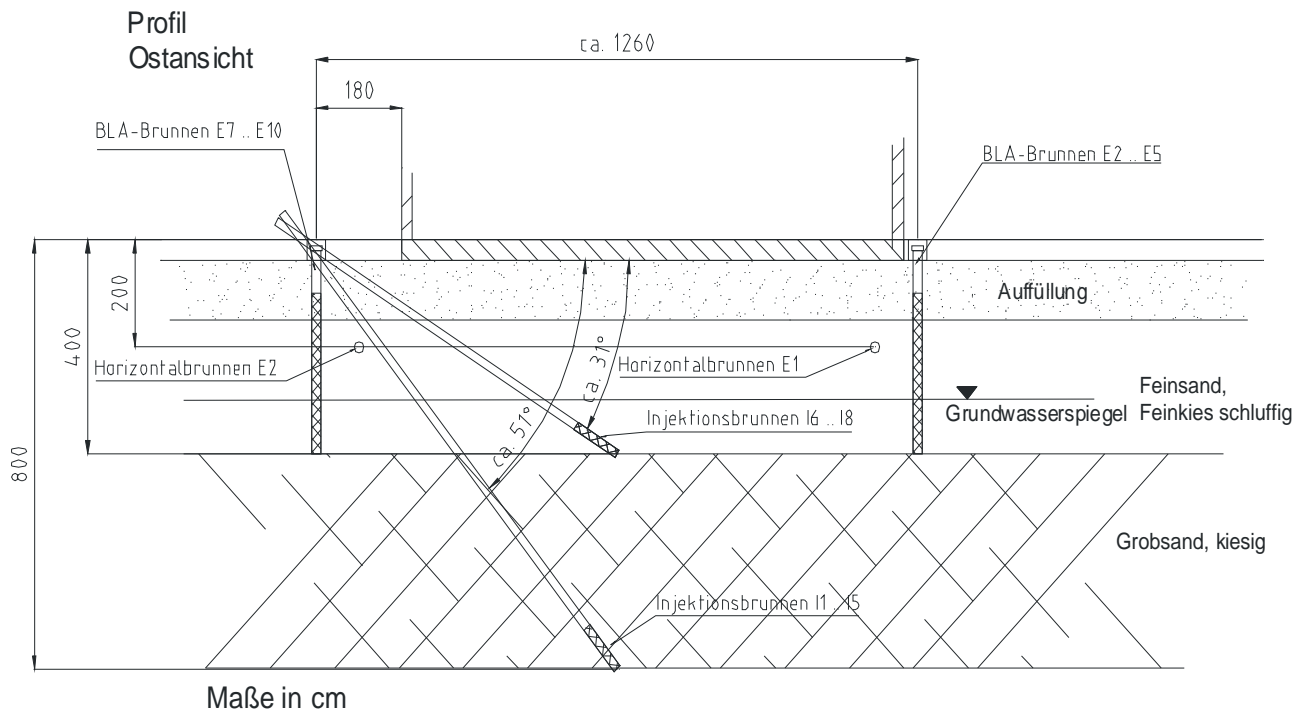
© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 25
29.09.2010, Solothurn

Vorschlag für Gesamtsanierung



© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 26
29.09.2010, Solothurn

Bohrarbeiten und Brunnenbau



Photo: Steffen Hetzer, ZUT



Photo: Steffen Hetzer, ZUT



Photo: Steffen Hetzer, ZUT



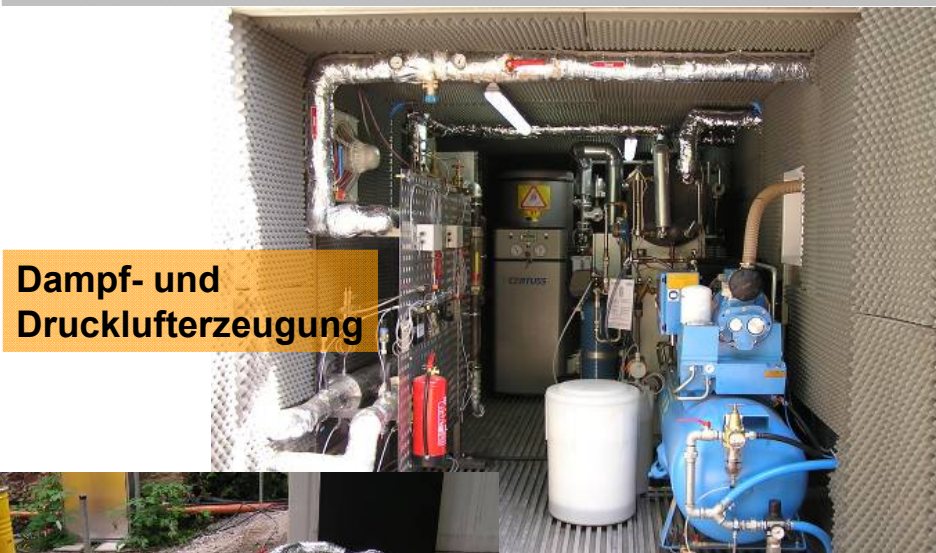
© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 29
29.09.2010, Solothurn

Betrieb Mai - Juli 2010



Dampf- und Druckluftzeugung



Injektionsbrunnen



Abluftkamin vom Dampferzeuger

© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 30
29.09.2010, Solothurn



**Grundwasserförderung, Bodenluftabsaugung
und On-line-Datenerfassung**

© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 31
29.09.2010, Solothurn



**Grundwasserförderung, Bodenluftabsaugung
mit A-Kohleaufbereitung**

Abluftkamin BLA

**Extraktionsbrunnen und
Temperaturmessung**

© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 32
29.09.2010, Solothurn



Heutige Nutzung
Galerie und
Rahmenladen



© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 33
29.09.2010, Solothurn

Zusammenfassung und Ausblick Sanierung Durlach

- **Pilotierung zur gesicherten Auslegung**
→ Reichweite, abgestufte Betriebsweise, Sanierungsplanung
- **Umfassende Leistungsausschreibung**
→ Expertenwissen innovativer In-situ-Techniken
- **Sanierungsziele über Verbindlichkeitserklärung**
→ BBodSchV, BetrSichV, BImSchV,
- **...ökonomisch nur für Schadensherdsanierung**
→ Erreichen der Sanierungsziele in 8 - 10 Monaten

... Geplantes Sanierungsende: Winter 2010

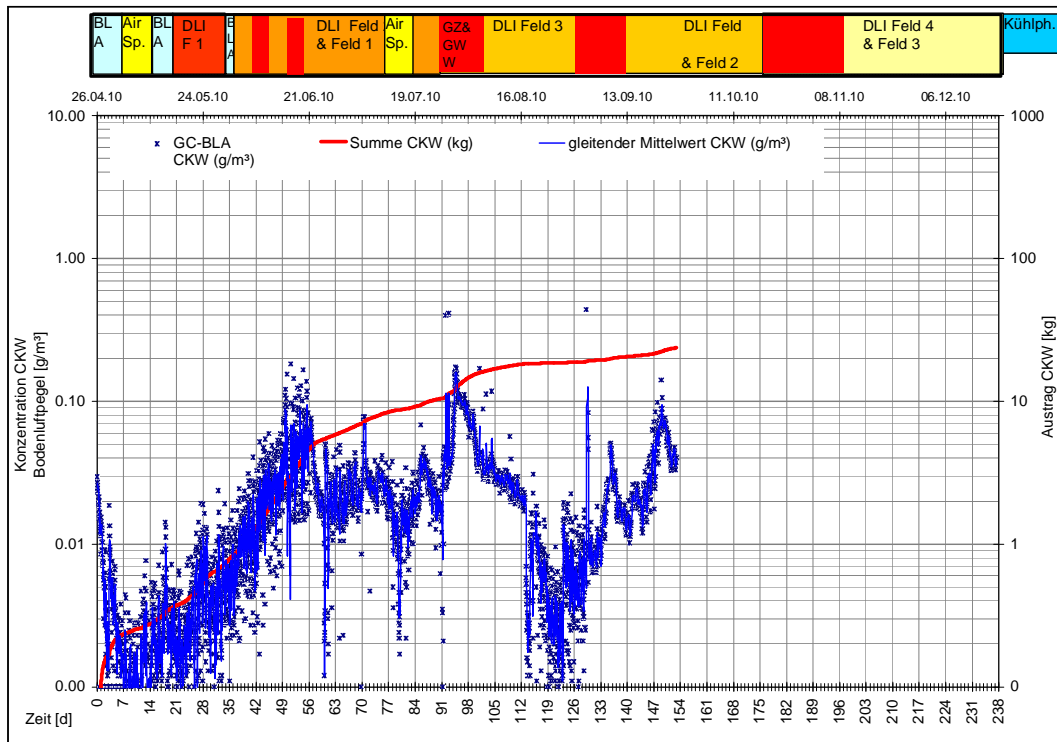
© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 34
29.09.2010, Solothurn

Aktueller Stand Schadstoffaustrag



© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 35
29.09.2010, Solothurn

2. Fallbeispiel

Altstandort Biswurm - ehemaliger Verbrennungsplatz

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

- Ergebnisse Pilotprojekt und Ausblick -

Hans-Peter Koschitzky¹, Oliver Trötschler¹
Bernd Lidola², Michaela Epp², Stefan Schulze³

¹ VEGAS, Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung, Universität Stuttgart

² Stadtbauplatz Villingen-Schwenningen, Abteilung Wasser und Boden

³ GEOsens, Ingenieurpartnerschaft, Ebringen

© VEGAS



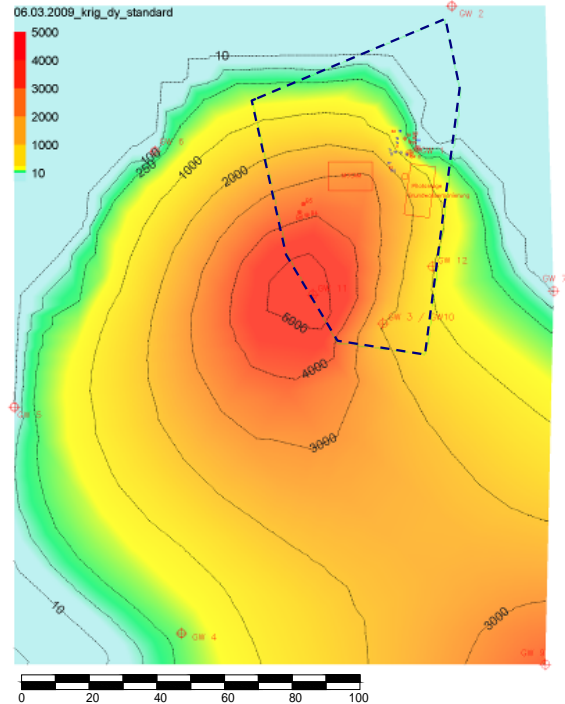
CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 36
29.09.2010, Solothurn

Schadenssituation

Schadensbild 2007 / 2009

- ➔ ca. 2.800 m² Kernbereich (Schadensquelle) bis 40 m Mächtigkeit
- ➔ CKW bis 40 mg/L im Grundwasser, bis 3.000 mg/m³ in der Bodenluft
- ➔ Länge Schadstofffahne unbekannt, mind. 1 ha Fläche kontaminiertes Grundwasser
- ➔ Schadstoffe mit hohem Potenzial in UZ und geringerem Potenzial in gesättigter Zone



Stichtag: 06.03.2009

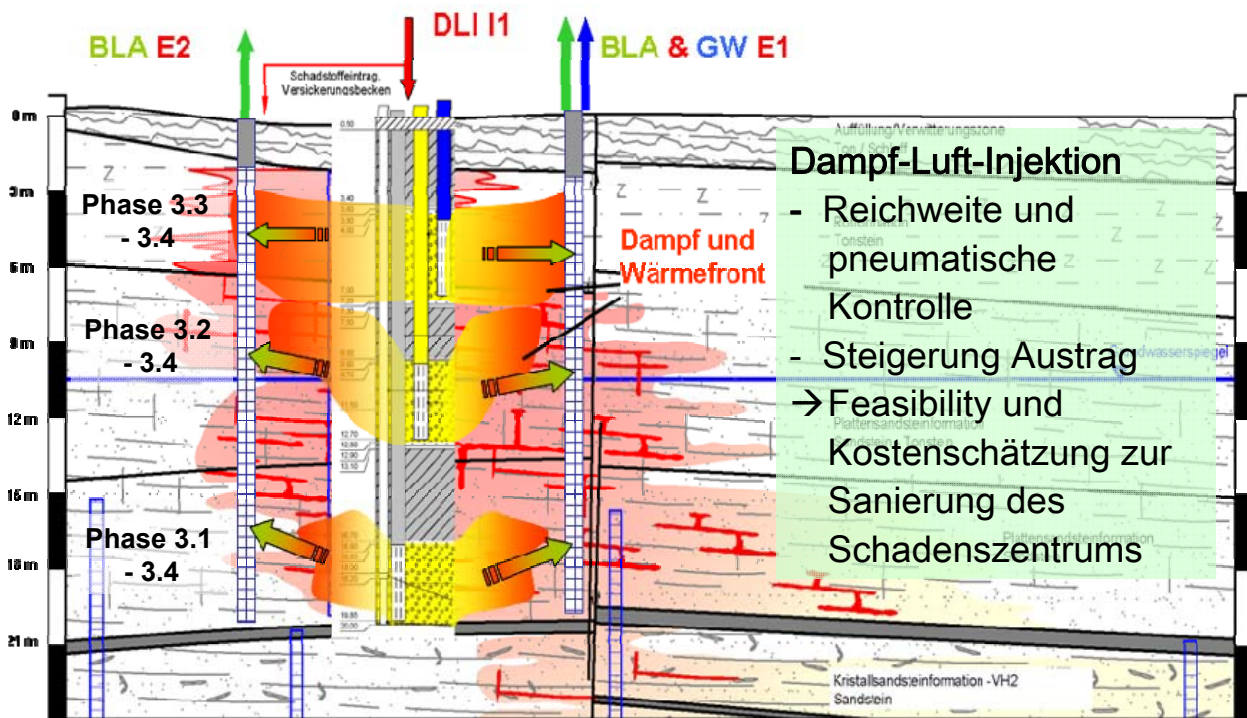
© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 37
29.09.2010, Solothurn

Geologie und thermische Erschließung



Vorlage GEOSens (2007) ©

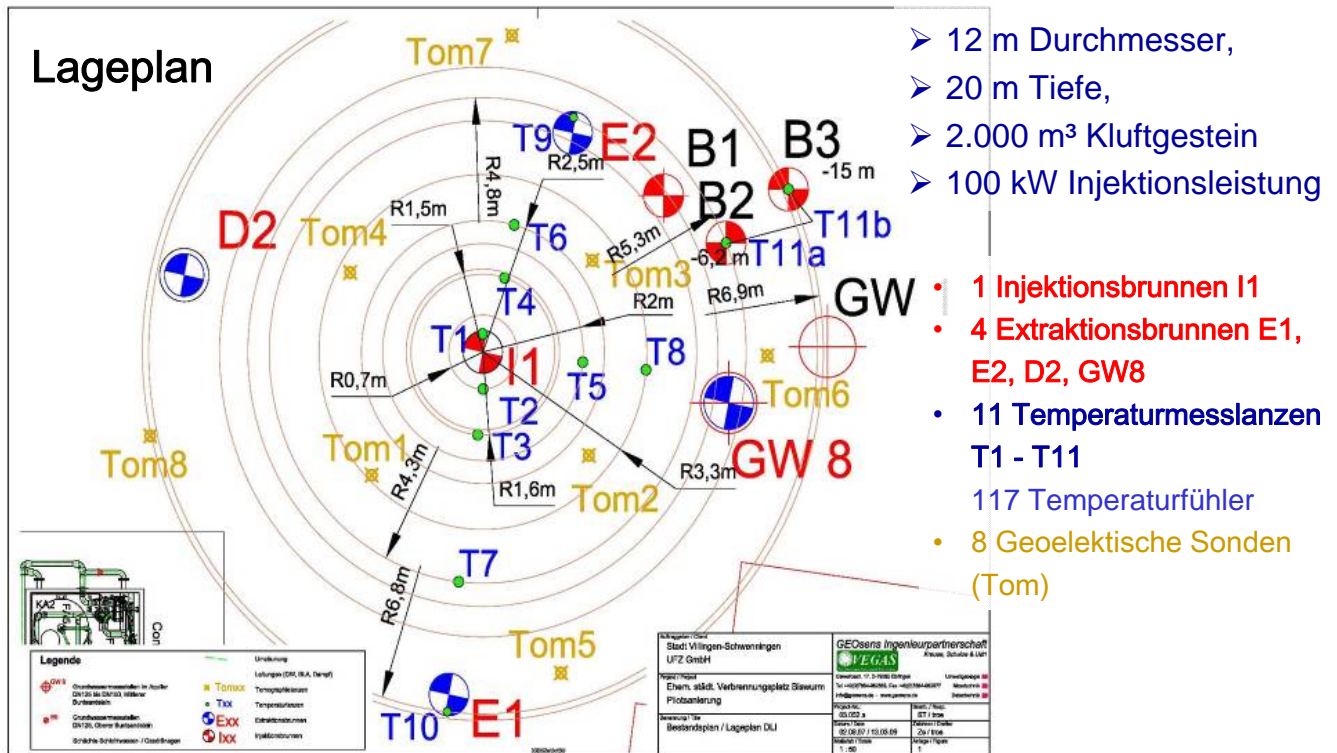
© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 38
29.09.2010, Solothurn

Ausstattung Pilotfeld Biswurm



© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 39
29.09.2010, Solothurn

Eindrücke vom Testfeld (I)



Inbetriebnahme 26.02.2009



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 40
29.09.2010, Solothurn

Eindrücke vom Testfeld (II)



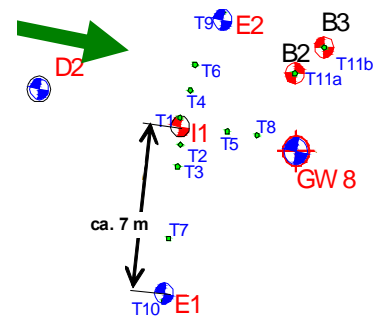
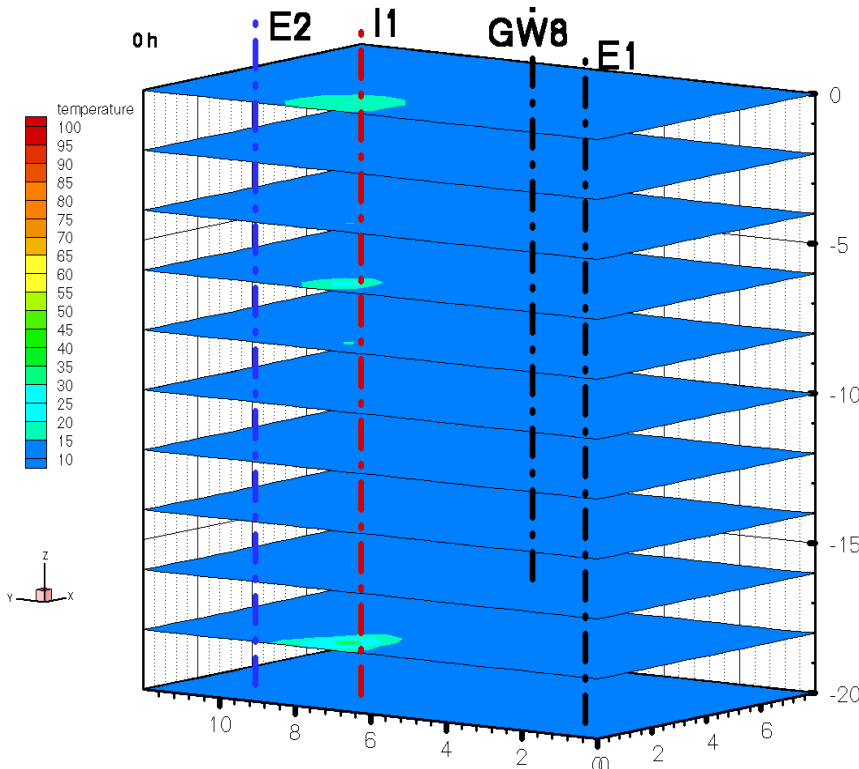
© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 41
29.09.2010, Solothurn

Dampf- und Wärmeausbreitung



→ Thermische Reichweite an Aquiferbasis: 2 – 3 m Radius

→ Thermische Reichweite GW-Höhe und UZ: größer 5 m Radius

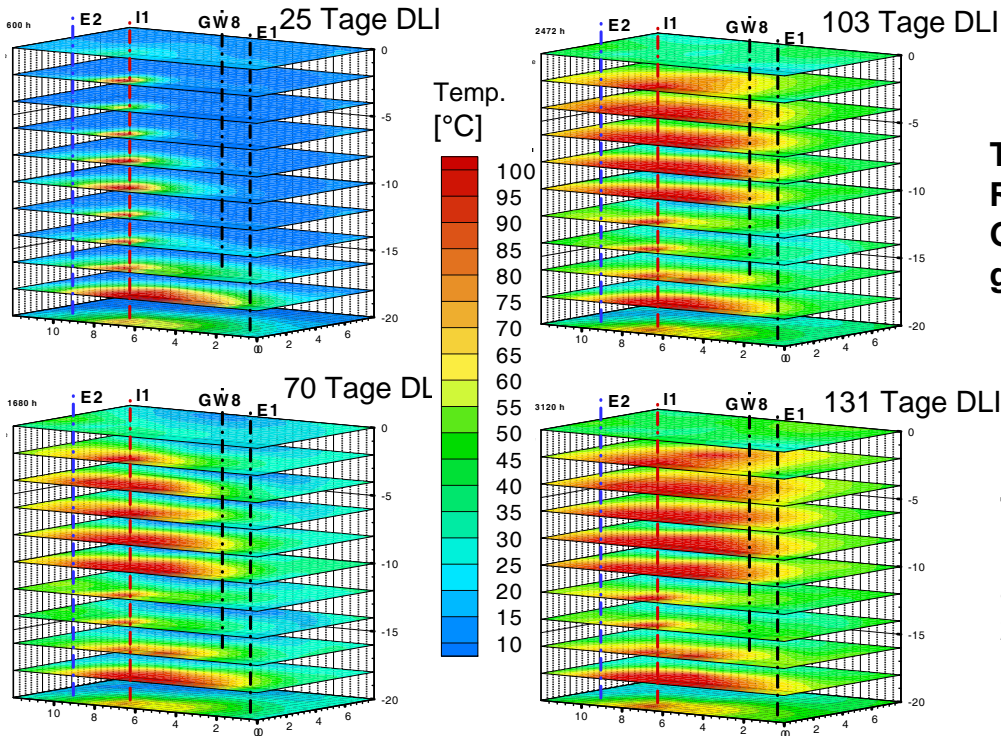
© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 42
29.09.2010, Solothurn

Überblick Wärmeausbreitung



Thermische Reichweite GW-Höhe und UZ: größer 5 m Radius

Thermische Reichweite an Aquiferbasis: 2 – 3 m Radius

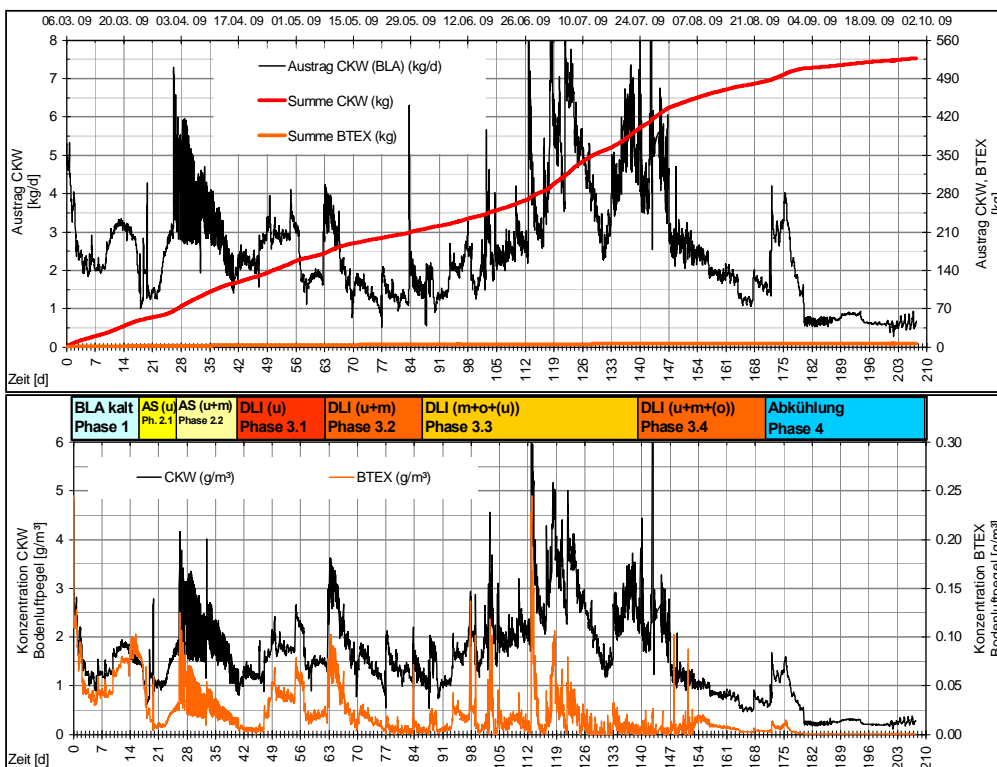
© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 43
29.09.2010, Solothurn

Schadstoffaustrag Bodenluft



→ Hohes Schadstoffpotenzial GW-Wechsel und UZ

→ Air-Sparging mit zeitlich limitierter, hoher Austragsleistung

→ Höchste Austragsleistungen DLI auf GW-Höhe und in UZ

→ CKW-Gehalt um Faktor 15 reduziert

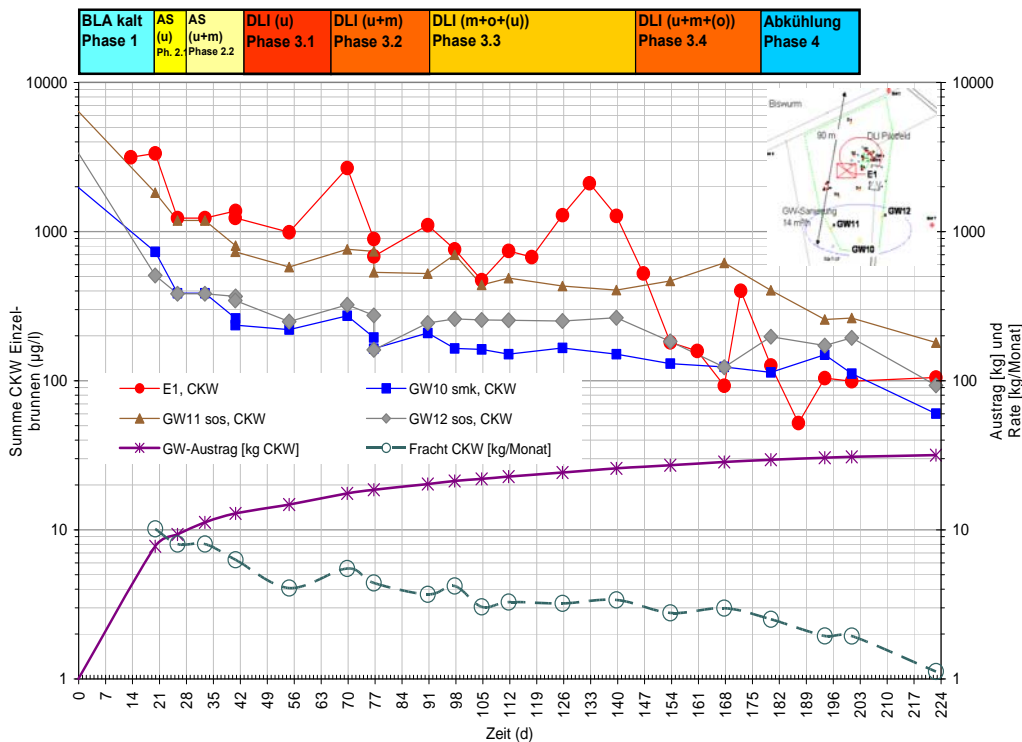
© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 44
29.09.2010, Solothurn

Entwicklung CKW-Gehalte Grundwassersanierung



- Rückgang an E1 (Abstrom Pilotfläche) auf 100 µg/l
- Kein Wiederanstieg nach Sanierung
- Emission Schadensherd bei 1,1 kg CKW je Monat
- CKW-Austrag über GW „nur“ 6% des Gesamtaustrags

© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 45
29.09.2010, Solothurn

Zusammenfassung Pilotierung Biswurm

- Eignung der thermischen In-situ-Sanierung mit DLI für den vorliegenden oberen Kluftaquifer (Plattensandstein) wurde bestätigt
- Steigerung des Schadstoffaustrags um einen Faktor 2 – 5 im Vergleich zum Air-Sparging, bzw. zur „kalten“ Bodenluftabsaugung
- Dampfausbreitung auf Höhe der Aquiferbasis mit 4 – 6 m Durchmesser fiel deutlich geringer aus als für die oberen Bereiche
- Im oberen Aquifer und in der ungesättigten Zone thermische Reichweite von mehr als 10 m Durchmesser möglich

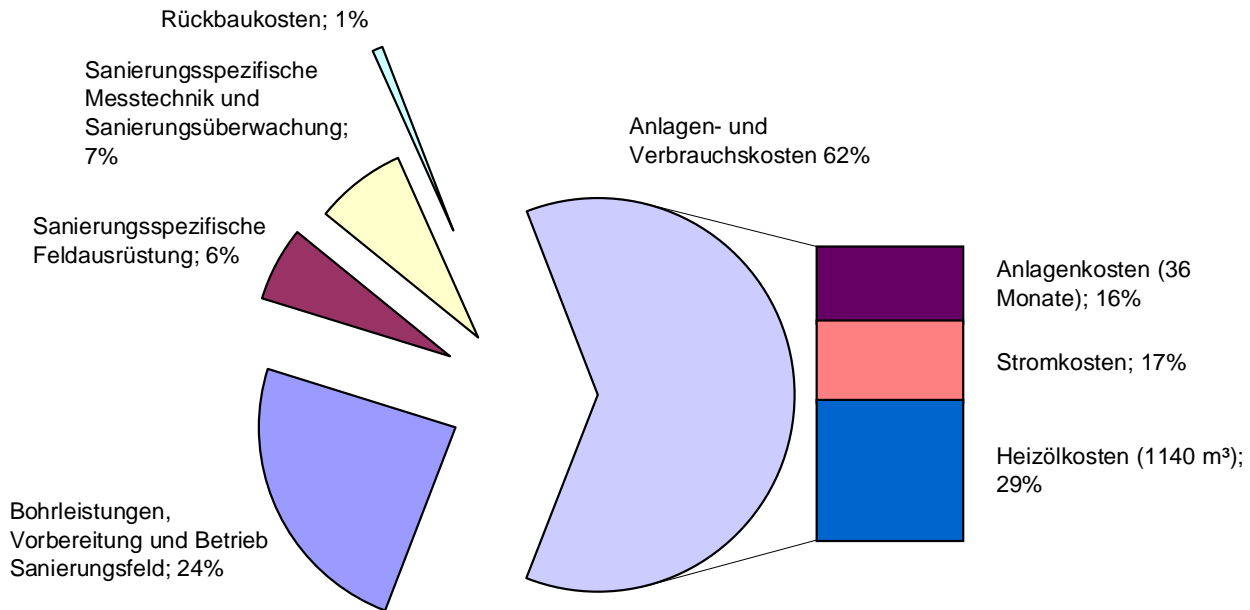
© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 46
29.09.2010, Solothurn

Kostenschätzung Thermische Sanierung Biswurm



→ 4 Jahre Projektdauer

→ Kosten Thermische Sanierung: 2,6 Mio. EUR netto

→ Jährliche Betriebskosten Grundwassersicherung: 98.000 EUR

© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 47
29.09.2010, Solothurn

Empfehlung Biswurm

- Sanierungsplanung für eine thermische Sanierung des oberen Grundwasserbereichs und der ungesättigten Zone mittels DLI für eine Fläche von ca. 2.800 m² und einer Mächtigkeit von 15 m:
Kostenrahmen für ca. 80.000 to Festgestein:
2,6 Mio. EUR netto in 3 Jahren Betriebszeit
- Kostenparität der DLI mit der Grundwassersicherung nach 20 – 25 Jahren Betriebsdauer
- Geschätzte Betriebsdauer Grundwassersicherung länger als 100 Jahre
- Im oberen Plattensandsteinaquifer kann eine kosten- und zeiteffiziente Thermische Sanierung erfolgen
- Aus Kosten-Nutzen Erwägungen keine Empfehlung für DLI im unteren Aquiferbereich, wenngleich dies technisch möglich ist

© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 48
29.09.2010, Solothurn

Zusammenfassung & Ausblick Dampf-Luft-Injektion

- **Dimensionierung Dampf-Luft-Injektion entsprechend Stand der Technik** - Sanierungsplanung möglich (Sicherheitsfaktoren)
→ standortspezifische Pilotierung (Machbarkeitsstudie)
- **Kosten stark abhängig von Standortbedingungen, Feldgröße und Schadstoffverteilung:** 100 – 300 EUR/m³
- **Entwicklung eines Dimensionierungstools** zur Auslegung einer Sanierung in Bearbeitung (TASK Mitte 2011)
- **Bestimmung der Einsatzgrenzen über Pilotanwendungen**
Kluftaquifere, dampfunterstützte konduktive Sanierung gering durchlässiger Sedimente (Schluffe, Tone), Tiefen über 20 m, große Aquifermächtigkeiten



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



LU:W



d-plan

Stadt Karlsruhe
Umwelt- u. Arbeitsschutz



© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der
thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 49
29.09.2010, Solothurn

Zum guten Schluss

**Dank an alle Beteiligten
und Ihnen für Ihr Interesse**

Gerne beantworte ich Ihre Fragen

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

<http://www.vegasinfo.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

© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der
thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

ChloroNet 3. Fachtagung 50
29.09.2010, Solothurn

In eigener Sache

VEGAS - Kolloquium 2010 In-situ-Sanierung Stand und Entwicklung Nano und ISCO

Donnerstag, 07. Oktober 2010
Universität Stuttgart, Campus Stuttgart-Vaihingen
Ingenieurwissenschaftliches Zentrum IWZ
Pfaffenwaldring 9, Hörsaal V 9.01

anschließend
Young Scientists´ Workshop
Nano / Micro-Fe

Thursday / Friday , October 07-08, 2010
VEGAS-Laboratory, Pfaffenwaldring 61

© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der
thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

 **ChloroNet** 3. Fachtagung 51
29.09.2010, Solothurn

In Sachen ÖVA



2. ÖVA Technologieworkshop „Thermisch unterstützte In-Situ Sanierungsverfahren“

am: **Donnerstag, 28. Oktober 2010**
10:30 – 15:30 Uhr

Ort: Democenter, Brigittenauer Lände 50-54, Durchgang bei Stiege 1,
(oder Zugang Treustrasse 35), A-1200 Wien

© VEGAS



CKW-Schadensherde: Möglichkeiten und Beispiele der
thermischen In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion

 **ChloroNet** 3. Fachtagung 52
29.09.2010, Solothurn