

Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par injection de vapeur et d'air (IVA)

Hans-Peter Koschitzky
Oliver Trötschler

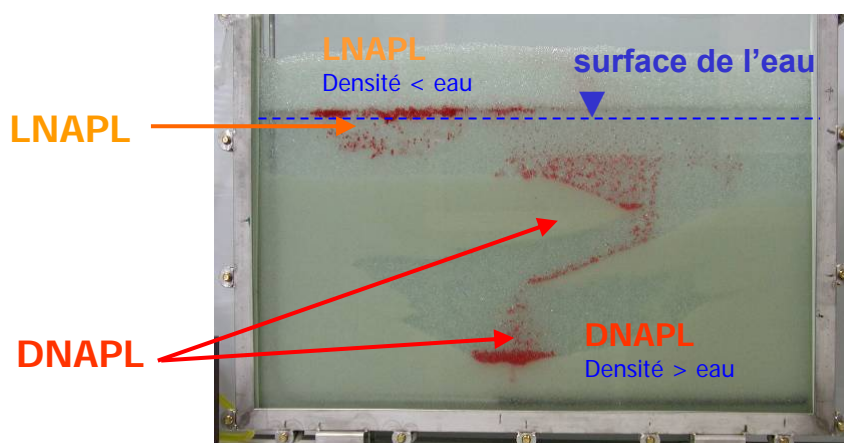


Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung
Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, Germany
vegas@iws.uni-stuttgart.de www.vegasinfo.de

©ChloroNet 3^e journée technique, Soleure, 29 septembre 2010

Formation de foyers de pollution: LNAPL – DNAPL

Technologies d'assainissement requises



NAPL = Non-aqueous phase liquid (non miscible avec l'eau)

© VEGAS

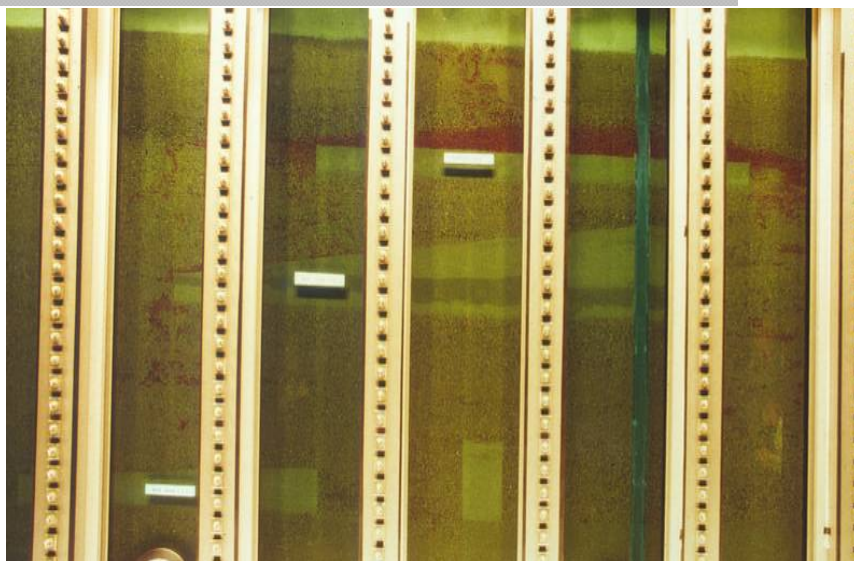


Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 2

Percolation de HCC dans un aquifère hétérogène



© VEGAS



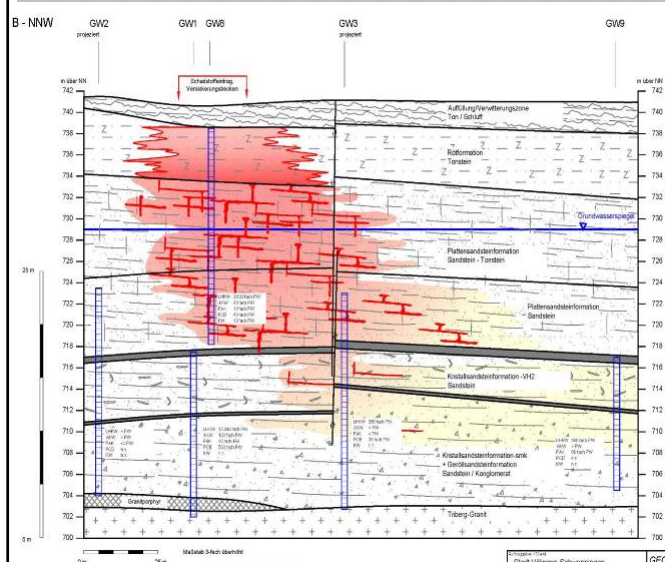
Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure

3

Géologie et configuration de la pollution dans un aquifère fissural



Aquifère complexe dans une roche fissurée

- Aquifère supérieur gréseux (Platten-sandstein) avec plancher d'argile
- Aquifère inférieur gréseux (Kristall-sandstein) avec plancher de granite

© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA



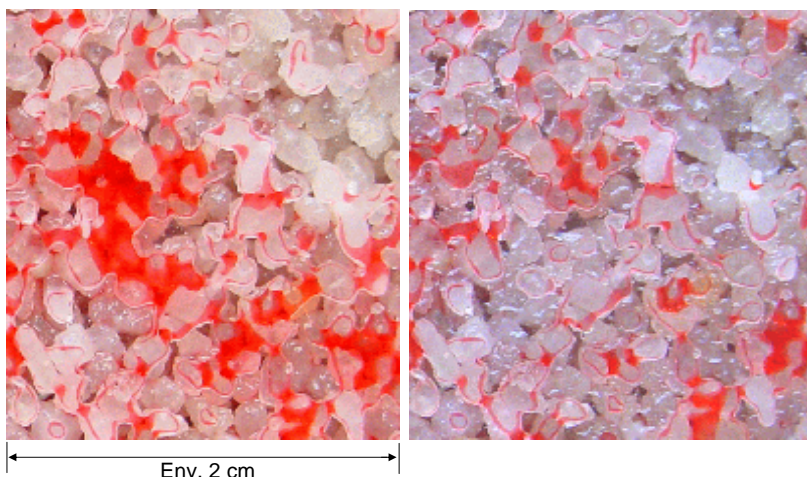
3^e journée technique
29.09.2010, Soleure

4

Propriétés des fluides – dépendantes de la température

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

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



© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure

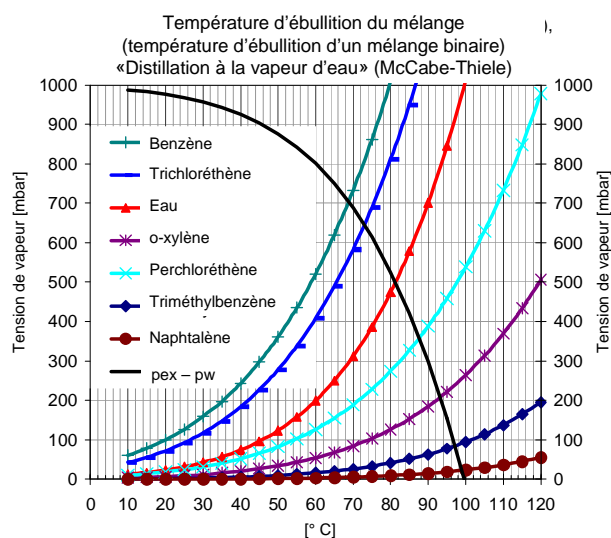
5

Base des procédés d'assainissement thermique

→ **Augmentation exponentielle de la tension de vapeur de polluants organiques avec la température**

→ **Abaissement de la température d'ébullition par distillation à la vapeur d'eau (azéotropisme):**

- **Benzène:** 80 → 69° C
- **TCE:** 87 → 74° C
- **PCE:** 121 → 87° C
- **Xylène:** 144 → 93° C

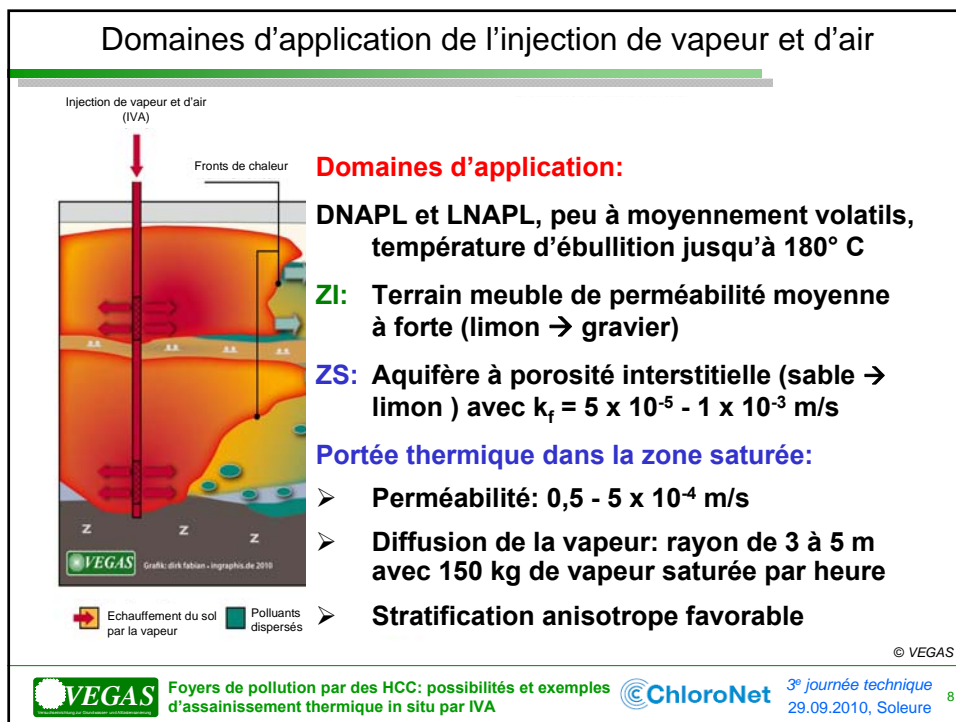
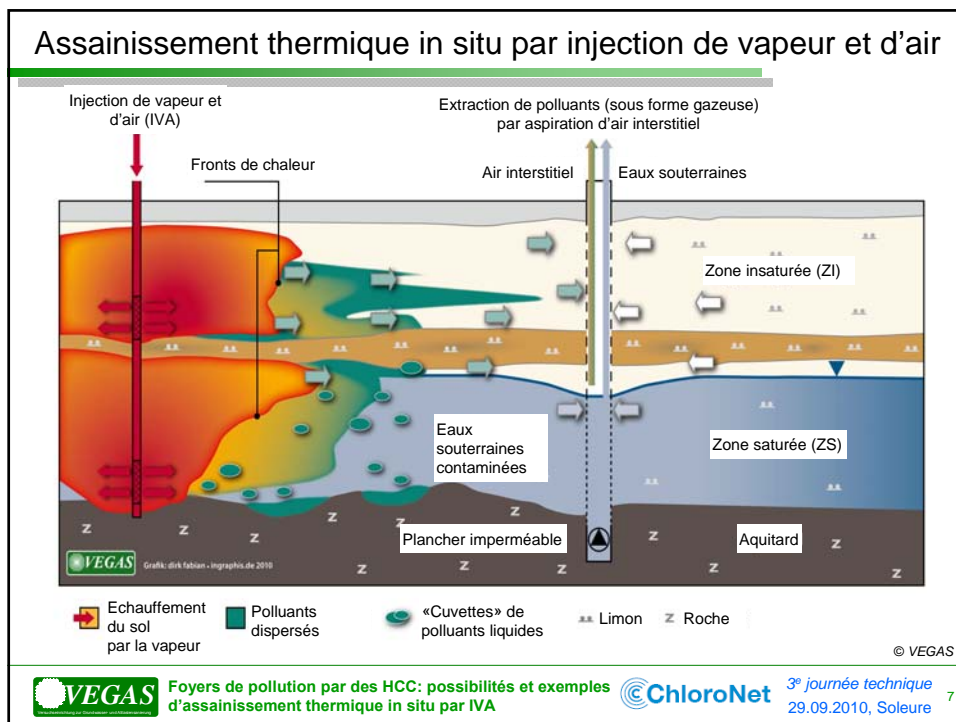


Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure

6



ITVA-Arbeitshilfe H1-13 *Innovative In-situ-Sanierungsverfahren*

Commission ITVA H1 *Technologien und Verfahren*
Groupe de travail *Innovative In-situ-Sanierungsverfahren*



1. Motivation et objectifs
2. Introduction
3. Termes et définitions
4. Cadre juridique
5. Conditions d'application
6. Critères d'évaluation
7. Procédés physiques
(pour la zone insaturée et la zone saturée)
8. Procédés biologiques
9. Procédés chimiques
10. Parois filtrantes
11. Conclusions et perspectives (recommandations)
12. Bibliographie
13. Glossaire

Annexe: Résumé de l'évaluation des procédés, liste des normes juridiques et des réglementations applicables, protection des personnes travaillant dans un secteur contaminé

© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure

9

Exemple de fiche descriptive de procédé (IVA)

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)	Dampf-Luft-Injektion in der gesättigten Bodenzone (DLI)	Dampf-Luft-Injektion in der gesättigten Bodenzone (DLI)
<p>Prinzip Bei der Injektion des Wasserdampf-Luft-Gemisches in die gesättigte Bodenzone breitet sich - in Abhängigkeit von der injizierten Dampfmenge und der Durchlässigkeit - ein geschlossener Dampfstrom (im Idealfall radial-symmetrisch) mit Radien zwischen 1 - 5 m um die Injektionsstelle aus. Durch die Abgabe seiner Verdampfungswärme wird der zu sanierende Bereich erwärmt. Im dampfgefüllten Bereich werden die flüchtigen, leicht- bis mittelschweren organischen Schadstoffe verdampft und in die Gasphase überführt. Die mit dem Dampf injizierte Luft wirkt als inertes Trägergas von der Injektionsstelle bis zur Dampfzonen-Grenze, indem dabei die gasförmigen Schadstoffe auf und transportiert diese aus dem Grundwasserträger (Aquifer) nach oben in die ungesättigte Bodenzone, ähnlich dem An-Sparging, jedoch mit erheblich größerer Effizienz. Die gasseitige Entfernung der Schadstoffe erfolgt über eine Bodenluftabsaugung.</p>	<p>Prinzip Bei der Injektion des Wasserdampf-Luft-Gemisches in die gesättigte Bodenzone breitet sich - in Abhängigkeit von der injizierten Dampfmenge und der Durchlässigkeit - ein geschlossener Dampfstrom (im Idealfall radial-symmetrisch) mit Radien zwischen 1 - 5 m um die Injektionsstelle aus. Durch die Abgabe seiner Verdampfungswärme wird der zu sanierende Bereich erwärmt. Im dampfgefüllten Bereich werden die flüchtigen, leicht- bis mittelschweren organischen Schadstoffe verdampft und in die Gasphase überführt. Die mit dem Dampf injizierte Luft wirkt als inertes Trägergas von der Injektionsstelle bis zur Dampfzonen-Grenze, indem dabei die gasförmigen Schadstoffe auf und transportiert diese aus dem Grundwasserträger (Aquifer) nach oben in die ungesättigte Bodenzone, ähnlich dem An-Sparging, jedoch mit erheblich größerer Effizienz. Die gasseitige Entfernung der Schadstoffe erfolgt über eine Bodenluftabsaugung.</p>	<p>Anwendungsbereich • Auf Grund der Injektionsdrücke kann bei anisotropen Schichtungen und Durchlässigkeiten im Bereich zwischen $k_f = 0,5 - 5 \times 10^{-3}$ m/s durch von einer „thermischen Reichweite“ von 3 - 5 m Radius bei einer Injektionsrate von 150 kg/h Siededampf (1 m³ flüssiges Wasser) ausgegangen werden. • Bei DTL-Kontaminationen sollen die Injektion zusätzlich in die ungesättigte Zone und insbesondere in den Grundwasserantriebsbereich erfolgen.</p> <p>Besonderheiten, Hinweise, Risiken • Keine Flussregulierung von Schadstoffen (DNAPL und LNAPL) • Kontrolle der Sanierung über Temperaturmessungen im Sanierungsgebiet sowie für effektive Steuerung der Sanierung und Nachweis der Dampfzonenbildung und des Sanierungserfolgs • Hydraulisch-schicht durchlässige Schichten, wie zum Beispiel Schluff- oder Tonstschichten bis zu mehreren dm Mächtigkeit, können thermisch mittels konduktiver Aufheizung saniert werden • Platzanforderung zur Nachweiserbestimmung wird empfohlen • Geringe Sanierungskosten bei vollständiger Reinigung der über die Gemischteinstemperatur des antriebsfähigen Schichtflusses hinaus erweiterten Bereiche</p>	<p>Anwendungsbereich • Auf Grund der Injektionsdrücke kann bei anisotropen Schichtungen und Durchlässigkeiten im Bereich zwischen $k_f = 0,5 - 5 \times 10^{-3}$ m/s durch von einer „thermischen Reichweite“ von 3 - 5 m Radius bei einer Injektionsrate von 150 kg/h Siededampf (1 m³ flüssiges Wasser) ausgegangen werden. • Bei DTL-Kontaminationen sollen die Injektion zusätzlich in die ungesättigte Zone und insbesondere in den Grundwasserantriebsbereich erfolgen.</p> <p>Besonderheiten, Hinweise, Risiken • Keine Flussregulierung von Schadstoffen (DNAPL und LNAPL) • Kontrolle der Sanierung über Temperaturmessungen im Sanierungsgebiet sowie für effektive Steuerung der Sanierung und Nachweis der Dampfzonenbildung und des Sanierungserfolgs • Hydraulisch-schicht durchlässige Schichten, wie zum Beispiel Schluff- oder Tonstschichten bis zu mehreren dm Mächtigkeit, können thermisch mittels konduktiver Aufheizung saniert werden • Platzanforderung zur Nachweiserbestimmung wird empfohlen • Geringe Sanierungskosten bei vollständiger Reinigung der über die Gemischteinstemperatur des antriebsfähigen Schichtflusses hinaus erweiterten Bereiche</p>
<p>Aufbau und Beschreibung Anlagenkonzept mit einem Dampfzeuger und von dem Dampf-Luft-Gemisch eine Anlage zur Bodenluftabsaugung (BLA) werden die Kontaminanten aus der ungesättigten Zone in die Luftphase überführt. Eine entsprechende Wasseranlieferung wird zur Behandlung des anfallenden voluminösen Kondensats aus der heißen Bodenluft eingesetzt. Dem Kondensatbehälter sollte ein Phasentrenner zur Trennung der wässrigen und in der Regel anfallenden organischen Flüssigkeit nachgeschaltet werden. Die separate organische bzw. wässrige Phase ist getrennt zu behandeln bzw. zu entsorgen. Der Betrieb einer Grundwasserenthaltung sichert die Entnahme der verdunsteten wasserlöslichen 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 Kanälen im Untergrund und zu temperaturempfindlichen Bauteilen, Informationen zur vertikalen Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit im Aquifer zur Nachweiserbestimmung (Dampfsensoren, Fließspiegelmessungen), Seismischer Versuch für UZ-Empfindlichkeit</p> <p>Anwendungsbereich • Schadstoffarten in der gesättigten Bodenzone • Lokalisierbare Feststoffe bis Schluff mit hydraulischer Durchlässigkeit $k_f \leq 5 \times 10^{-3}$ bis 1×10^{-2} m/s • organische Schadstoffe LNAPL und DNAPL (leicht- bis mittelschwer) mit Siedepunkt bis 180°C • Sanierung unter Gebäuden bei Erhalt der Gebäudestruktur während der Sanierung</p>	<p>Aufbau und Beschreibung Anlagenkonzept mit einem Dampfzeuger und von dem Dampf-Luft-Gemisch eine Anlage zur Bodenluftabsaugung (BLA) werden die Kontaminanten aus der ungesättigten Zone in die Luftphase überführt. Eine entsprechende Wasseranlieferung wird zur Behandlung des anfallenden voluminösen Kondensats aus der heißen Bodenluft eingesetzt. Dem Kondensatbehälter sollte ein Phasentrenner zur Trennung der wässrigen und in der Regel anfallenden organischen Flüssigkeit nachgeschaltet werden. Die separate organische bzw. wässrige Phase ist getrennt zu behandeln bzw. zu entsorgen. Der Betrieb einer Grundwasserenthaltung sichert die Entnahme der verdunsteten wasserlöslichen 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 Kanälen im Untergrund und zu temperaturempfindlichen Bauteilen, Informationen zur vertikalen Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit im Aquifer zur Nachweiserbestimmung (Dampfsensoren, Fließspiegelmessungen), Seismischer Versuch für UZ-Empfindlichkeit</p> <p>Anwendungsbereich • Schadstoffarten in der gesättigten Bodenzone • Lokalisierbare Feststoffe bis Schluff mit hydraulischer Durchlässigkeit $k_f \leq 5 \times 10^{-3}$ bis 1×10^{-2} m/s • organische Schadstoffe LNAPL und DNAPL (leicht- bis mittelschwer) mit Siedepunkt bis 180°C • Sanierung unter Gebäuden bei Erhalt der Gebäudestruktur während der Sanierung</p>	<p>Anwendungsbereich • Auf Grund der Injektionsdrücke kann bei anisotropen Schichtungen und Durchlässigkeiten im Bereich zwischen $k_f = 0,5 - 5 \times 10^{-3}$ m/s durch von einer „thermischen Reichweite“ von 3 - 5 m Radius bei einer Injektionsrate von 150 kg/h Siededampf (1 m³ flüssiges Wasser) ausgegangen werden. • Bei DTL-Kontaminationen sollen die Injektion zusätzlich in die ungesättigte Zone und insbesondere in den Grundwasserantriebsbereich erfolgen.</p> <p>Besonderheiten, Hinweise, Risiken • Keine Flussregulierung von Schadstoffen (DNAPL und LNAPL) • Kontrolle der Sanierung über Temperaturmessungen im Sanierungsgebiet sowie für effektive Steuerung der Sanierung und Nachweis der Dampfzonenbildung und des Sanierungserfolgs • Hydraulisch-schicht durchlässige Schichten, wie zum Beispiel Schluff- oder Tonstschichten bis zu mehreren dm Mächtigkeit, können thermisch mittels konduktiver Aufheizung saniert werden • Platzanforderung zur Nachweiserbestimmung wird empfohlen • Geringe Sanierungskosten bei vollständiger Reinigung der über die Gemischteinstemperatur des antriebsfähigen Schichtflusses hinaus erweiterten Bereiche</p>	<p>Anwendungsbereich • Auf Grund der Injektionsdrücke kann bei anisotropen Schichtungen und Durchlässigkeiten im Bereich zwischen $k_f = 0,5 - 5 \times 10^{-3}$ m/s durch von einer „thermischen Reichweite“ von 3 - 5 m Radius bei einer Injektionsrate von 150 kg/h Siededampf (1 m³ flüssiges Wasser) ausgegangen werden. • Bei DTL-Kontaminationen sollen die Injektion zusätzlich in die ungesättigte Zone und insbesondere in den Grundwasserantriebsbereich erfolgen.</p> <p>Besonderheiten, Hinweise, Risiken • Keine Flussregulierung von Schadstoffen (DNAPL und LNAPL) • Kontrolle der Sanierung über Temperaturmessungen im Sanierungsgebiet sowie für effektive Steuerung der Sanierung und Nachweis der Dampfzonenbildung und des Sanierungserfolgs • Hydraulisch-schicht durchlässige Schichten, wie zum Beispiel Schluff- oder Tonstschichten bis zu mehreren dm Mächtigkeit, können thermisch mittels konduktiver Aufheizung saniert werden • Platzanforderung zur Nachweiserbestimmung wird empfohlen • Geringe Sanierungskosten bei vollständiger Reinigung der über die Gemischteinstemperatur des antriebsfähigen Schichtflusses hinaus erweiterten Bereiche</p>

© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure

10

Site pilote de *Karlsruhe Durlach*



Planification de l'assainissement d'un site pilote

Hans-Peter Koschitzky¹
Oliver Trötschler¹
Steffen Ochs²
Stephan Denzel³
Kai Stöckl⁴
Claudia Purkhöld⁴

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

© VEGAS

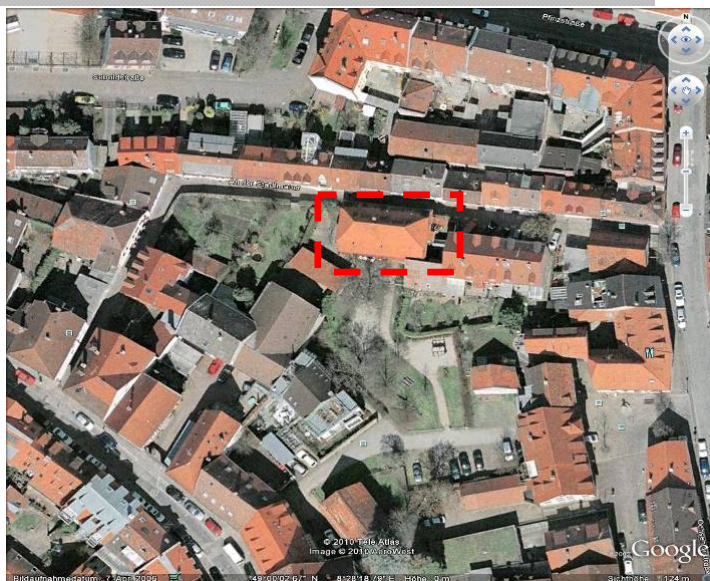


Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 11

Site pilote de *Karlsruhe Durlach*



© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA

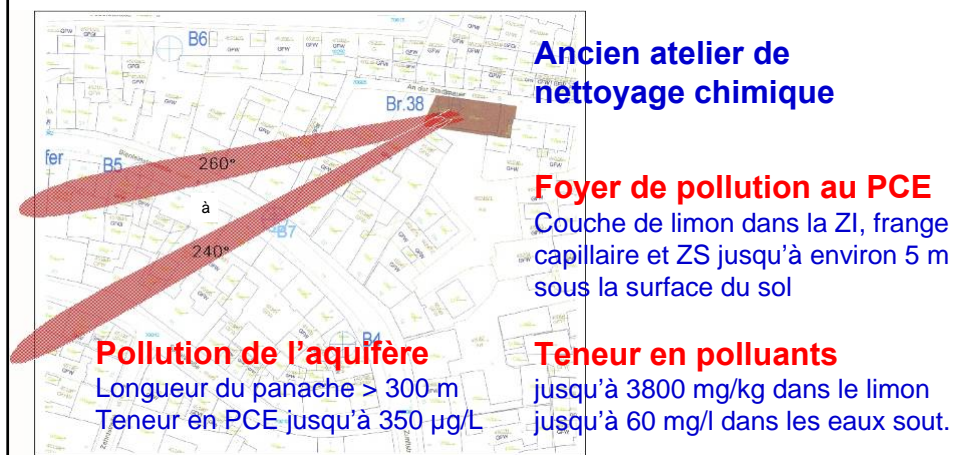


3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 12

Description du site

Vieille ville de Karlsruhe-Durlach

Bâtiment historique, zone résidentielle densément bâtie



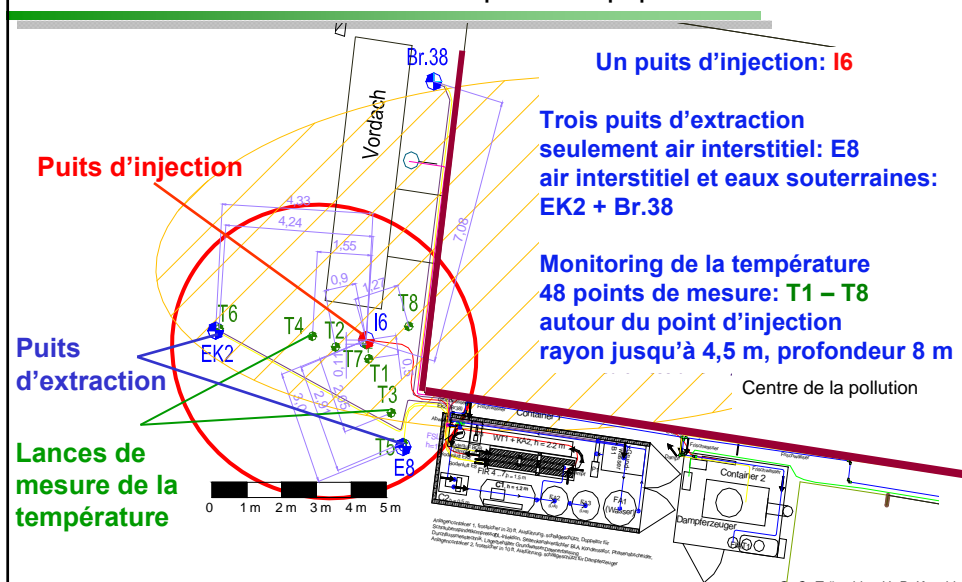
© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA

3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 13

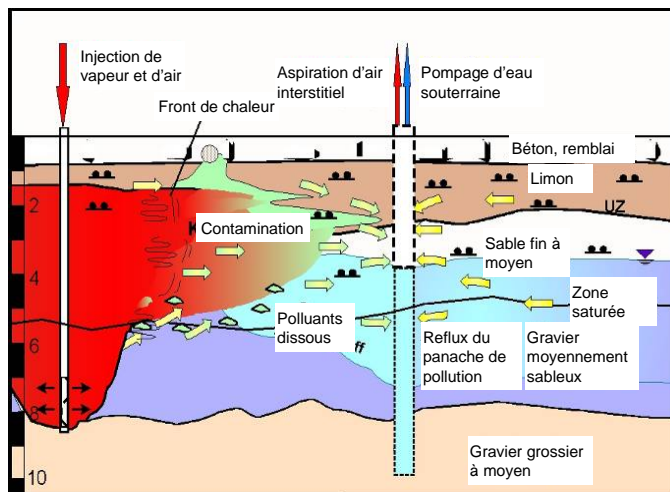
Périmètre d'essai pilote: équipement



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA

3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 14

Géologie et stratégie d'assainissement



Injection (IVA)

**7- 8 m sous le sol,
max. 200 kg/h**

**Aspiration d'air
interstitiel**

100 - 150 m³/h

**Captage d'eau
souterraine
(froide)**

1 - 3 m³/h

Dans la vallée du Rhin: aquifère fluvatile quaternaire

© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 15

Mise en place du container



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 16

Installation du périmètre d'essai



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA



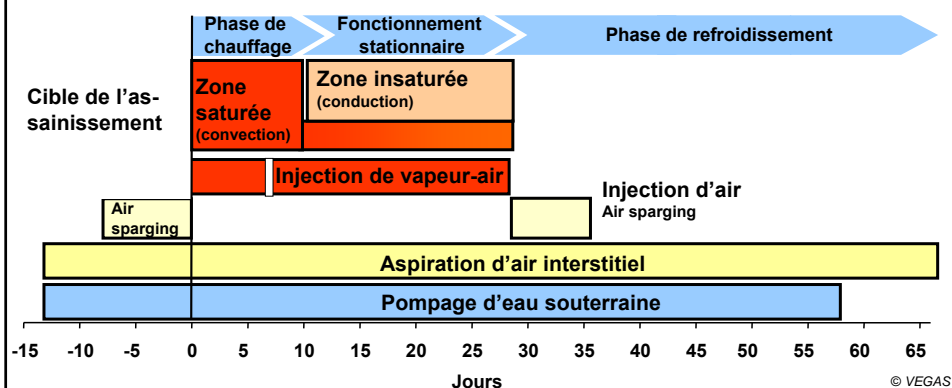
3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 17

Déroulement de l'assainissement pilote

Fonctionnement adapté à la progression de l'assainissement

→ mesurer la pollution en continu

→ déterminer la propagation de la chaleur

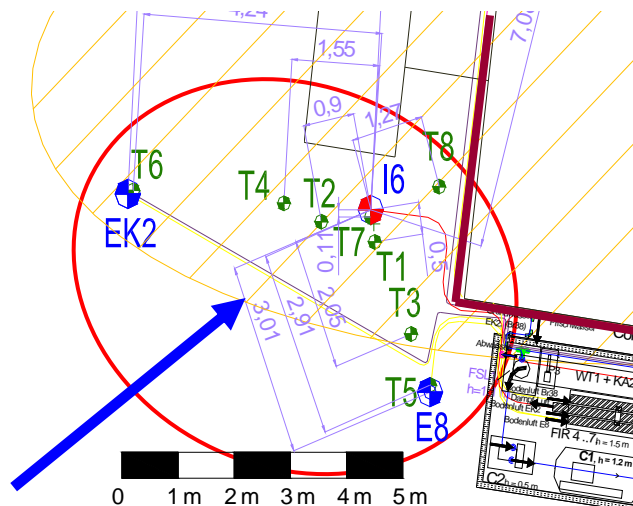


Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 18

Monitoring de la température – Propagation de la chaleur



© VEGAS

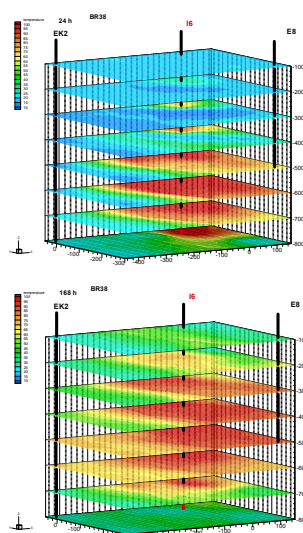


Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA

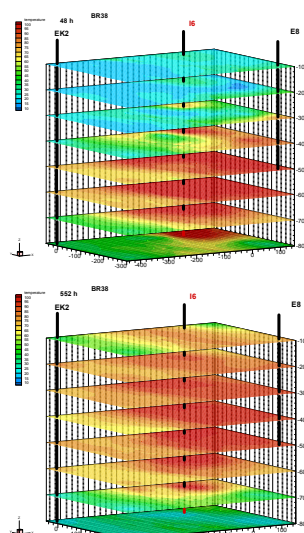


3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 19

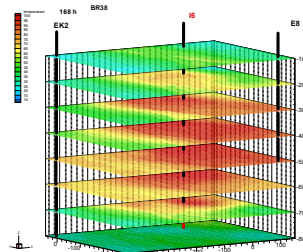
Propagation de la vapeur – Mesures de la température



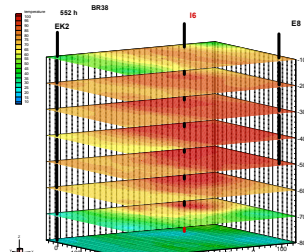
1 jour



2 jours



7 jours



21 jours

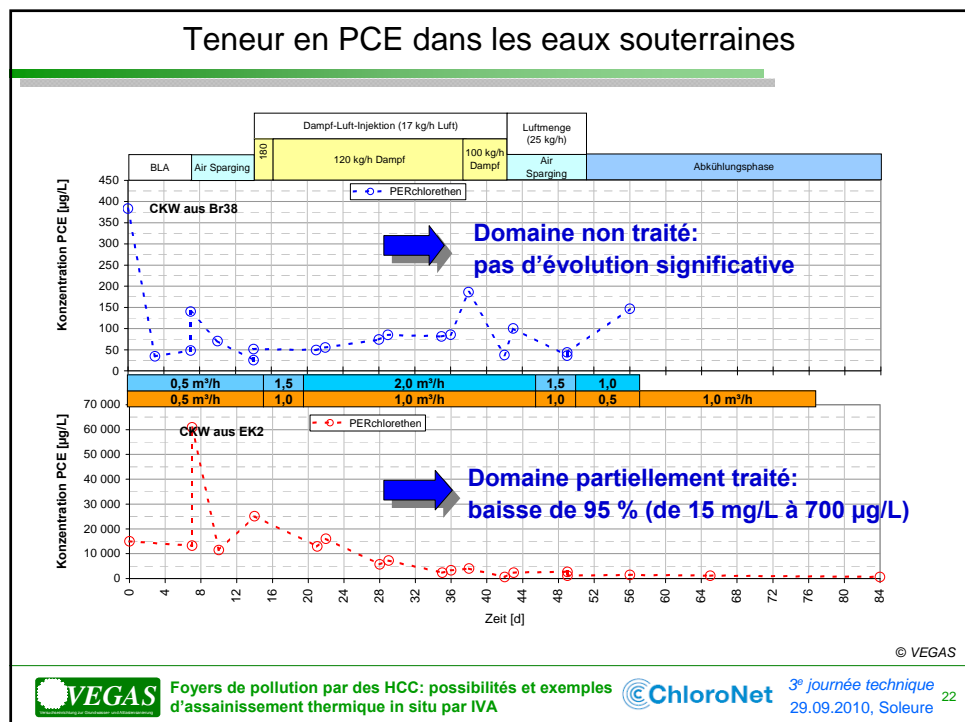
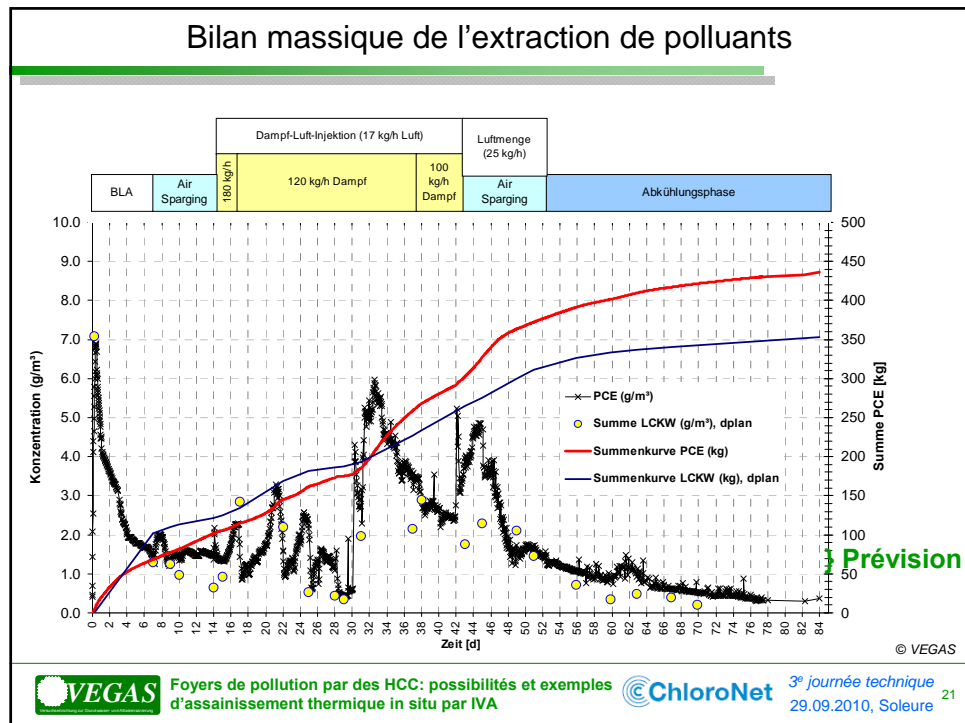
© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA

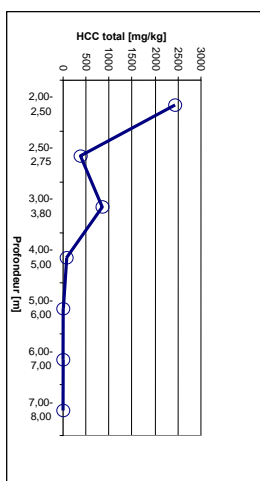


3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 20

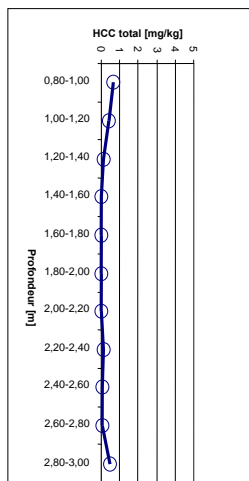


Echantillons de sol avant et après l'assainissement pilote

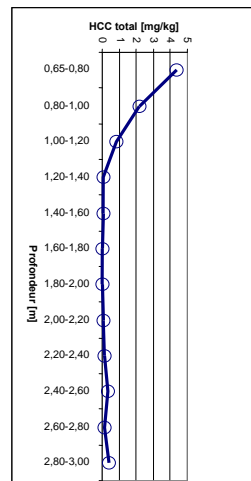
**Puits d'injection I6
avant assainissement**



**Sondage à 1,5 m de I6
après assainissement**



**Sondage à 3 m de I6
après assainissement**



© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 23

Site pilote de Durlach: résumé

- **Rayon de propagation de la vapeur > 4 m**
→ injection de beaucoup de vapeur pendant plusieurs jours
- **Durée de l'assainissement tributaire de l'échauffement de la couche de limon par conduction**
→ échauffement des limons pendant 4 à 6 semaines avec une quantité de chaleur réduite
- **440 kg de PCE éliminés via l'air interstitiel & 10 kg éliminés via les eaux souterraines:**
 - Aspiration d'air interstitiel «froid»: env. 70 kg
 - Air sparging: env. 30 kg
 - Injection de vapeur et d'air: env. 340 kg

Efficacité de l'assainissement augmentée d'un facteur 5 grâce à l'injection de vapeur et d'air

© VEGAS

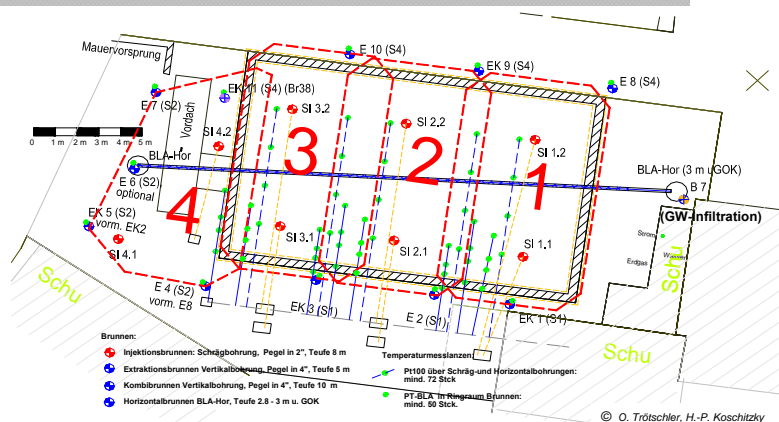


Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 24

Proposition pour l'assainissement complet



- Durée de l'assainissement: 10 mois = 4 x 6 semaines d'IVA
- Budget: 600 000 euros
- Volume de sol assaini thermiquement: 1600 m³
- Puissance d'injection de vapeur: 300 kW

© VEGAS

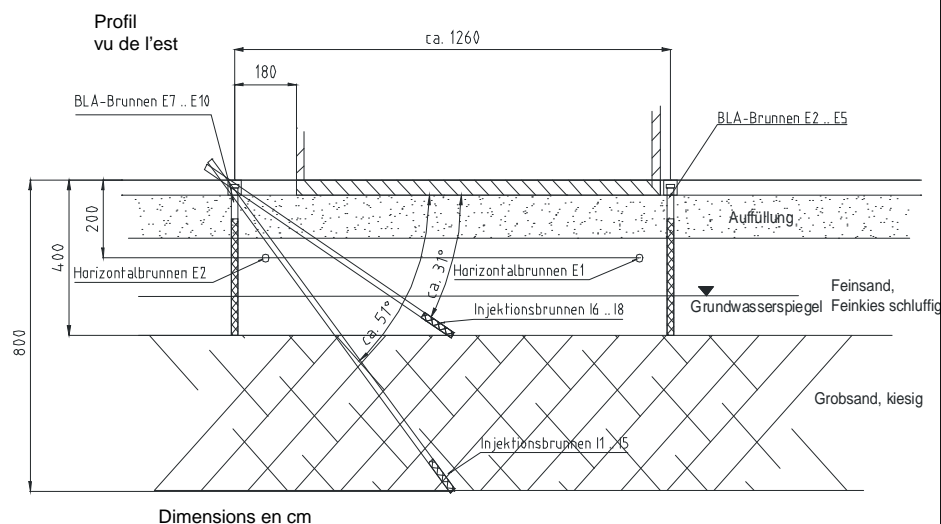


Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 25

Proposition pour l'assainissement complet



© VEGAS

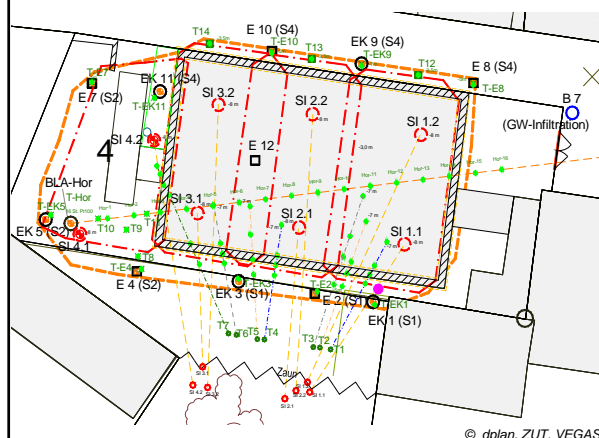


Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 26

Exécution de l'assainissement



- Planification de l'exécution et appel d'offres: expert «local» dplan (& VEGAS)
- Mandant: Ville de Karlsruhe
- Exécution: Züblin Umwelttechnik
- Suivi / conseil scientifique, surveillance et pilotage de l'assainissement: VEGAS & dplan

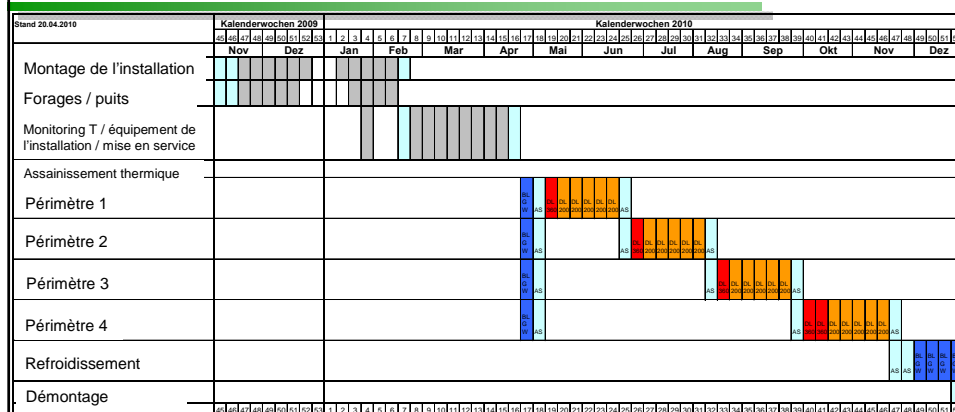
© dplan, ZUT, VEGAS

Stadt Karlsruhe
Umwelt- u. Arbeitsschutz

© VEGAS

Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 27

Déroulement de l'assainissement



Forages et construction des puits



Photo: Steffen Hetzer, ZUT



Photo: Steffen Hetzer, ZUT



Photo: Steffen Hetzer, ZUT



© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 29

Fonctionnement de mai à juillet 2010



Générateurs de vapeur
et d'air comprimé



Puits d'injection



Cheminée d'échappement
du générateur de vapeur

© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 30

Fonctionnement de mai à juillet 2010



Pompage d'eau souterraine, aspiration d'air interstitiel et acquisition de données via Internet

© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 31

Fonctionnement de mai à juillet 2010



Pompage d'eau souterraine, aspiration d'air interstitiel avec traitement au charbon actif

Cheminée de l'installation d'aspiration d'air interstitiel

Puits d'extraction et mesure de la température

© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 32

Fonctionnement de mai à juillet 2010



**Actuellement:
galerie et
vente de cadres**

© VEGAS

VEGAS Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA

ChloroNet 3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 33

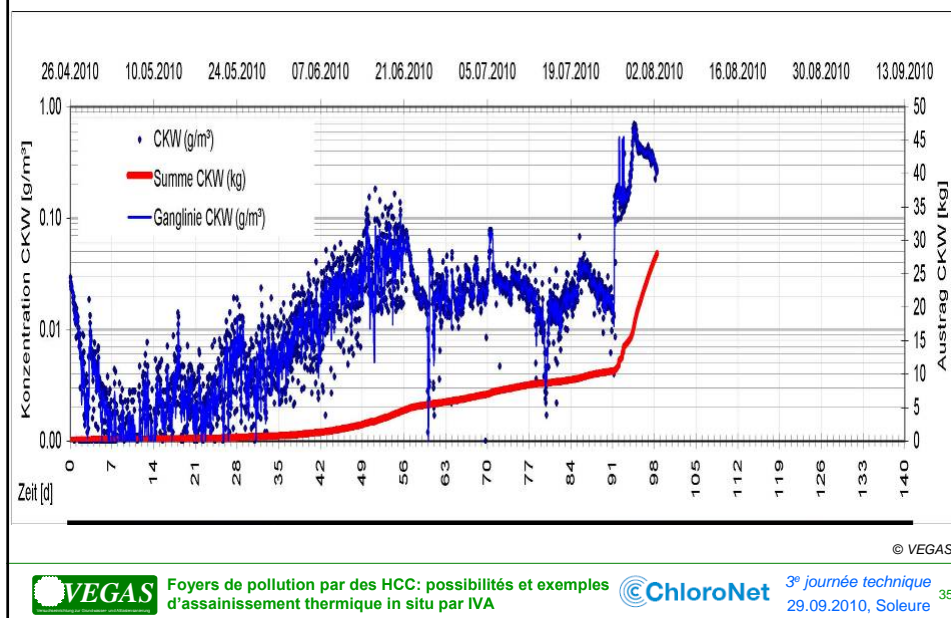
Assainissement de Durlach: résumé et perspectives

- **Pilotage pour conforter l'interprétation**
→ Portée, fonctionnement échelonné, planification de l'assain.
- **Appel d'offres détaillé sur performances**
→ Connaissance experte de techniques in situ innovantes
- **Engagement à atteindre les buts de l'assainissement**
→ BBodSchV, BetrSichV, BImSchV, ...
- **... rentable seulement pour l'assainissement du foyer**
→ Buts de l'assainissement atteints en 8 à 10 mois...

... fin prévue de l'assainissement: hiver 2010

© VEGAS

Etat actuel de l'extraction des polluants



2^e exemple concret

Ancien site d'incinération de Biswurm Assainissement thermique in situ par injection de vapeur et d'air - Résultats du projet pilote et perspectives -

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

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

² Stadtbauamt Villingen-Schwenningen, Abteilung Wasser und Boden

³ GEOsens, Ingenieurpartnerschaft, Ebringen

© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA

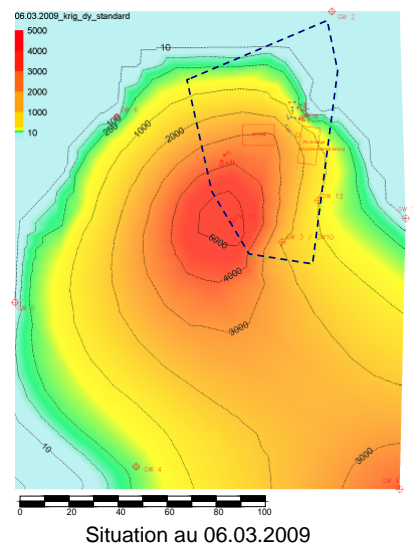


3^e journée technique 29.09.2010, Soleure 36

Etat de la pollution

Pollution en 2007 / 2009

- ➔ Zone centrale (foyer de pollution):
superficie environ 2800 m²,
profondeur jusqu'à 40 m
- ➔ HCC jusqu'à 40 mg/L dans les eaux
souterraines et jusqu'à 3000 mg/m³
dans l'air interstitiel
- ➔ Longueur du panache inconnue, au
moins 1 ha d'eaux sout. contaminées
- ➔ Potentiel de pollution élevé dans la
zone insaturée et plus faible
dans la zone saturée



© VEGAS

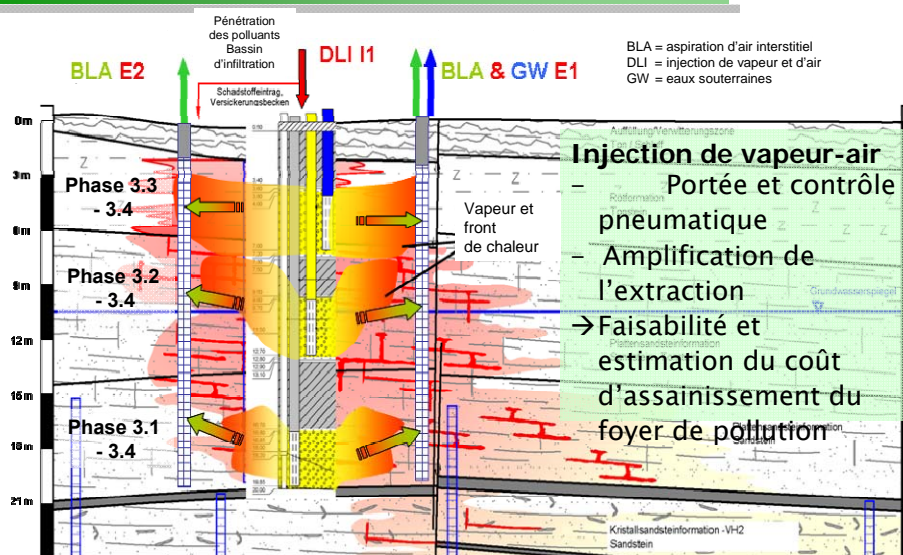


Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 37

Géologie et équipement thermique



Vorlage GEOsens (2007) ©

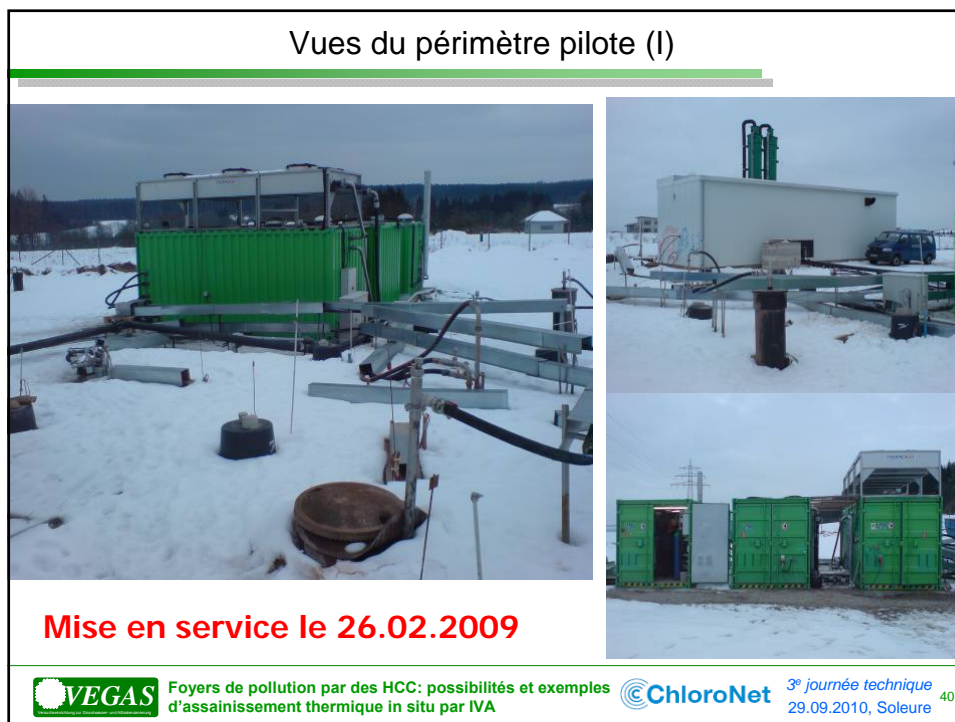
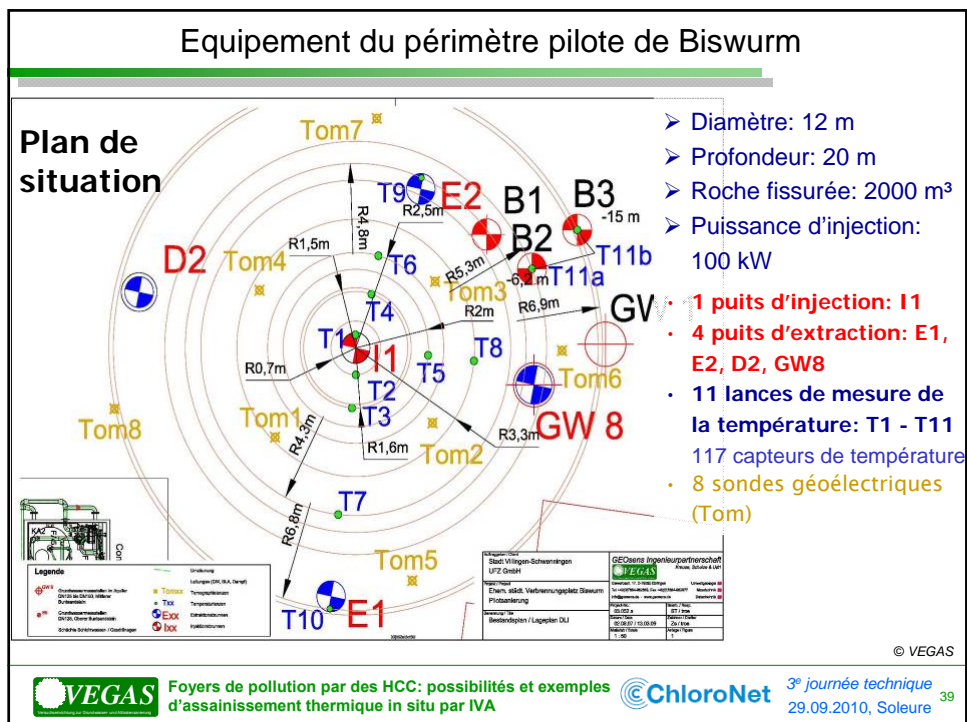
© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 38



Vues du périmètre pilote (II)



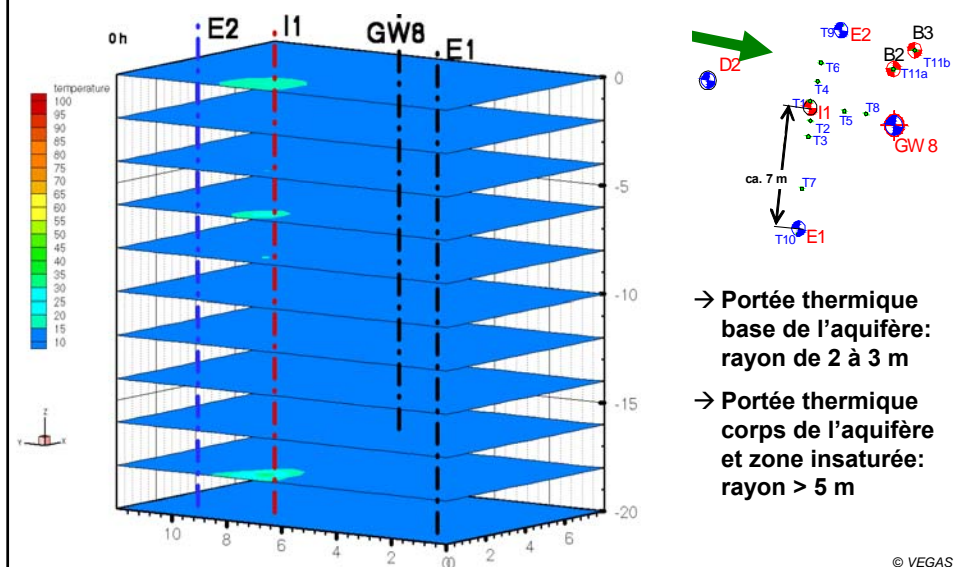
© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA

3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 41

Propagation de la vapeur et de la chaleur



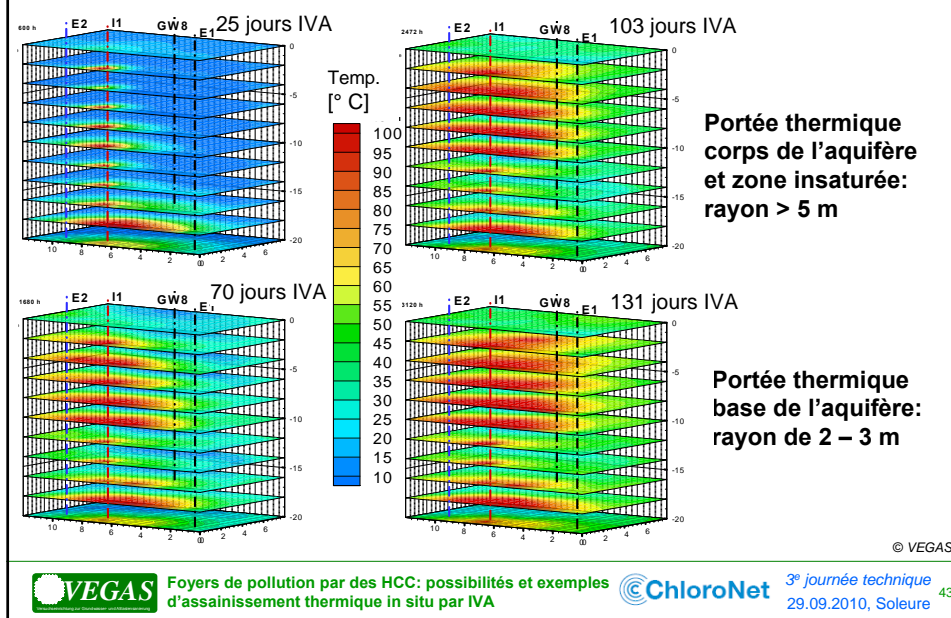
© VEGAS



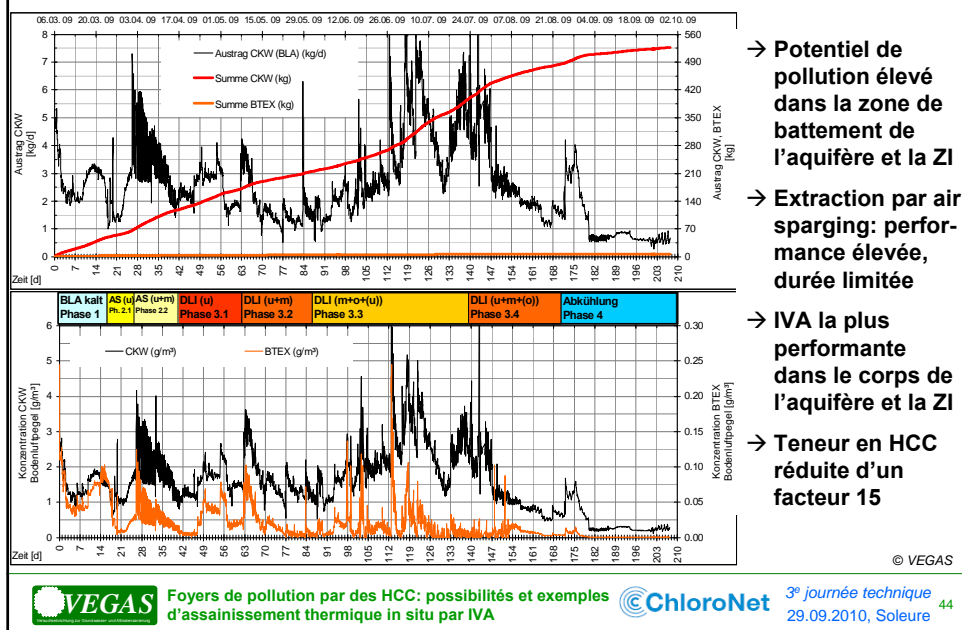
Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA

3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 42

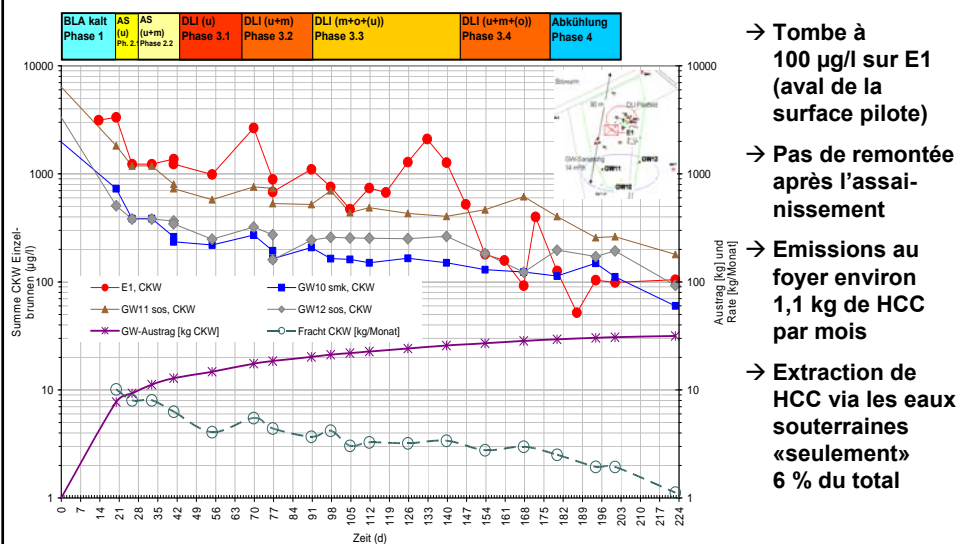
Aperçu de la propagation de la chaleur



Extraction de polluants dans l'air interstitiel



Teneurs en HCC pendant l'assainissement des eaux souterraines



→ Tombe à 100 µg/l sur E1 (aval de la surface pilote)

→ Pas de remontée après l'assainissement

→ Emissions au foyer environ 1,1 kg de HCC par mois

→ Extraction de HCC via les eaux souterraines «seulement» 6 % du total

© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 45

Site pilote de Biswurm: résumé

- L'assainissement thermique in situ par injection de vapeur et d'air s'est avéré adapté à l'aquifère fissural supérieur présent sur le site (Plattensandstein).
- L'extraction de polluants a été amplifiée d'un facteur 2 à 5 en comparaison avec l'air sparging, c'est-à-dire l'aspiration d'air interstitiel «froid».
- A la base de l'aquifère, la propagation de la vapeur, d'un diamètre de 4 à 6 m, était nettement plus faible que dans les zones supérieures.
- Au sommet de l'aquifère et dans la zone insaturée, une portée thermique supérieure à 10 m de diamètre a pu être atteinte.

© VEGAS

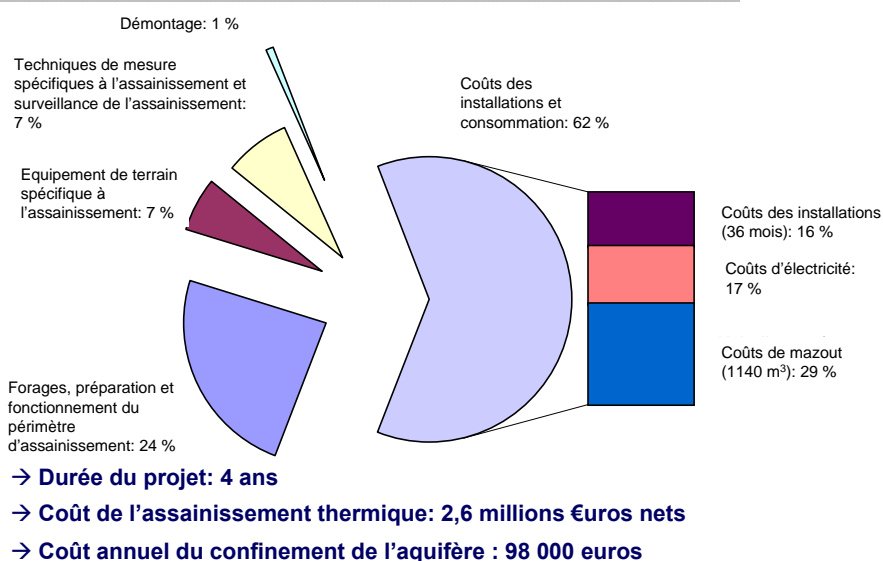


Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 46

Estimation du coût de l'assainissement thermique de Biswurm



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 47

Recommandations concernant Biswurm

- **Prévisions** pour l'assainissement thermique de la partie supérieure de l'aquifère et de la zone insaturée par injection de vapeur et d'air (superficie d'environ 2800 m², épaisseur de 15 m):
coût pour environ 80 000 tonnes de roche:
2,6 millions €uros nets pour 3 ans de fonctionnement
- Injection de vapeur et d'air: **même coût** que le confinement des eaux souterraines **pendant 20 à 25 ans.**
- **Durée estimée du confinement des eaux souterraines > 100 ans.**
- Dans l'**aquifère supérieur du Plattensandstein**, il est possible de réaliser un **assainissement thermique efficace en termes de coût et de temps.**
- Après pesée du coût et de l'efficacité, il n'est pas **recommandé d'injecter de la vapeur et de l'air dans la partie inférieure de l'aquifère, même si c'est techniquement possible.**



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 48

Injection de vapeur et d'air: synthèse et perspectives

- **Les connaissances techniques actuelles permettent de dimensionner l'injection de vapeur et d'air**, c'est-à-dire de planifier l'assainissement (facteurs de sécurité)
→ pilotage propre au site (étude de faisabilité)
- **Les coûts dépendent étroitement du contexte local, de la taille du site et de la répartition de la pollution**: 100 à 300 €/m³
- **Développement d'un outil de dimensionnement** pour interpréter un assainissement en cours (TASK, mi-2011)
- **Détermination des limites d'application sur des sites pilotes**
Aquifère fissural, assainissement de sédiments peu perméables (limons, argiles) assisté par injection de vapeur, profondeur > 20 m, aquifère épais ...



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 49

Et pour terminer...

**Merci à toutes et à tous
pour votre intérêt**

Je répondrai volontiers à vos questions

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

<http://www.vegasinfor.de>

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

© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 50

Un peu de publicité

**Colloque VEGAS 2010
In-situ-Sanierung
Stand und Entwicklung Nano und ISCO**

Jeudi 7 octobre 2010
Universität Stuttgart, Campus Stuttgart-Vaihingen
Ingenieurwissenschaftliches Zentrum IWZ
Pfaffenwaldring 9, Hörsaal V 9.01

suivi de
**Young Scientists´ Workshop
Nano / Micro-Fe**

Jeudi 7 et vendredi 8 octobre 2010
VEGAS-Laboratory, Pfaffenwaldring 61

© VEGAS



Foyers de pollution par des HCC: possibilités et exemples
d'assainissement thermique in situ par IVA



3^e journée technique
29.09.2010, Soleure 51