
Thermische In-situ-Sanierung von Boden- und Grundwasser – über 20 Jahre Technologietransfer

Hans-Peter Koschitzky
Oliver Trötschler et al.



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



Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018

Was können Sie erwarten

Thermische In-Situ-Sanierungsverfahren, TIsS Technologietransfer / Fallbeispiele der letzten 20 Jahre

- Ehemalige chemische Reinigung – innenstädtisch, Pilotierung und **Sanierung** „Karlsruhe Durlach“, CKW
- Ehemalige Verbrennungsanlage Biswurm – CKW im Kluftgestein, Pilotierung und Sanierung
→ „Lessons learned“
- Ehemaliges „Fotoapparatwerk“ - Sanierung eines CKW-kontaminierten Standort mit hohem Grundwasserstand

Fazit TIsS - Ausblick

© VEGAS



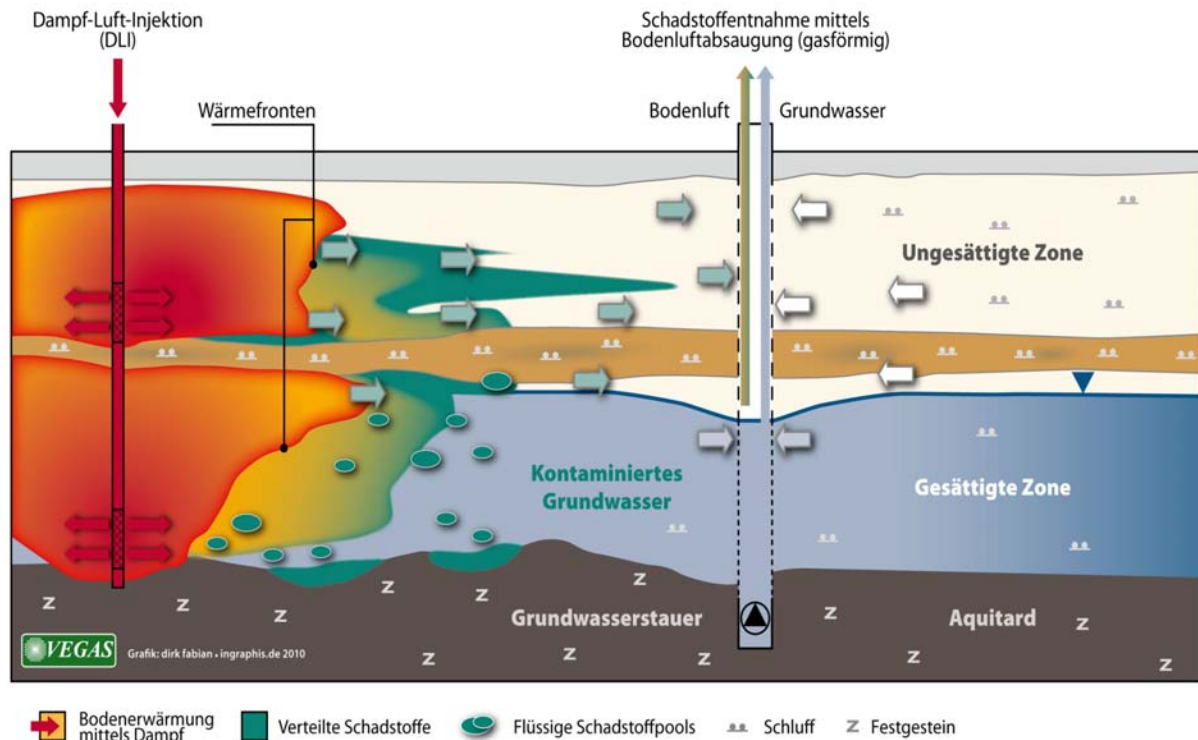
Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
2

TIsS: Dampf-Luft-Injektion, DLI (konvektiv)



© VEGAS



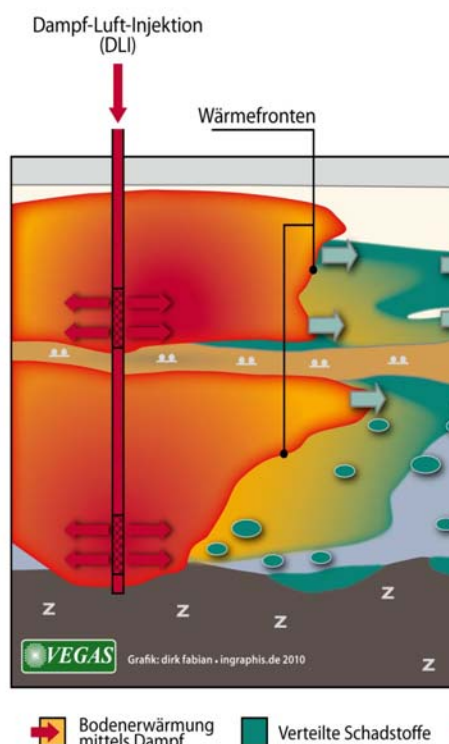
Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
3

Einsatzbereiche Dampf-Luft-Injektion



Einsatzbereiche

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

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

GZ: Porengrundwasserleiter (Sand bis Schluff)
mit k_f : 2×10^{-5} bis 5×10^{-4} m/s

Thermische Reichweite GZ

- Dampfausbreitung: > 3 - 5 m Radius (mit 150 kg/h Sattdampf)
- anisotrope Schichtung vorteilhaft

Besonderheiten

- Simultane Sanierung GZ und UZ,
- max. Temperatur 100 °C
- Schneller, hoher Energieeintrag (konvektiv)
➔ online Überwachung erforderlich
- Sanierungssteuerung angepasst an Temperaturverlauf und Schadstoffaustrag
- Mögliche Gefügeveränderungen bei stark organhaltigen Böden (Torflagen) ➔ Setzungen?

© VEGAS



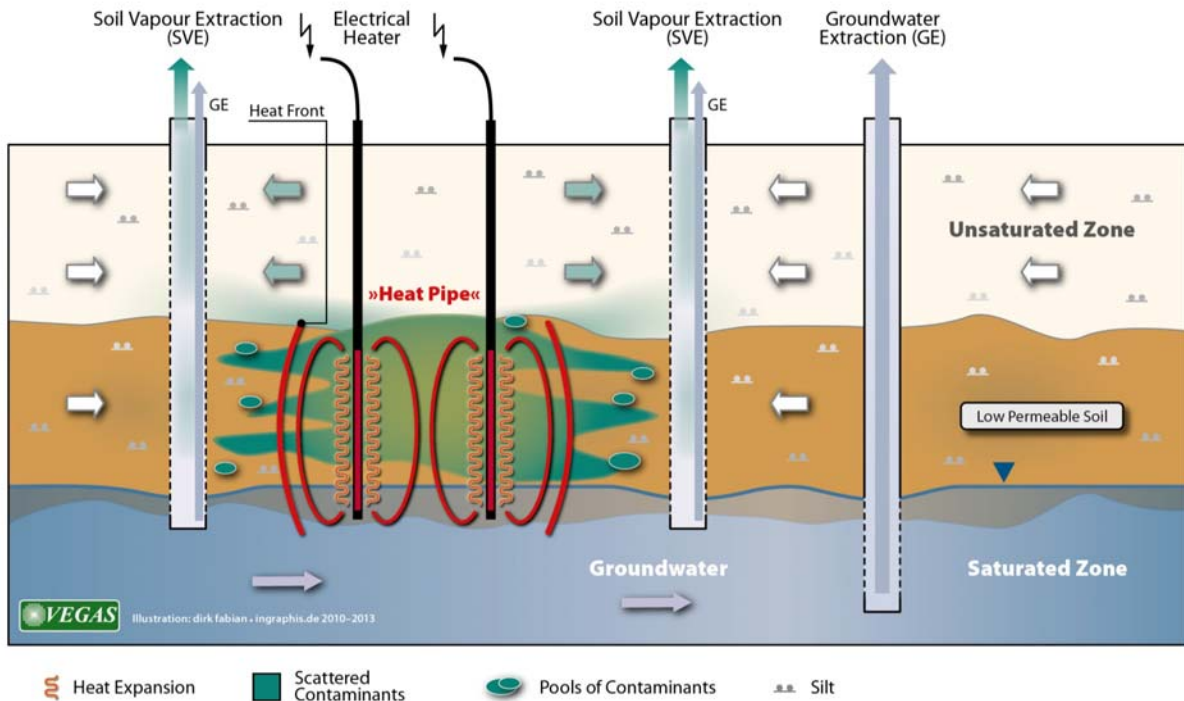
Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
4

Feste Wärmequellen Verfahrensprinzip (konduktiv)



© VEGAS



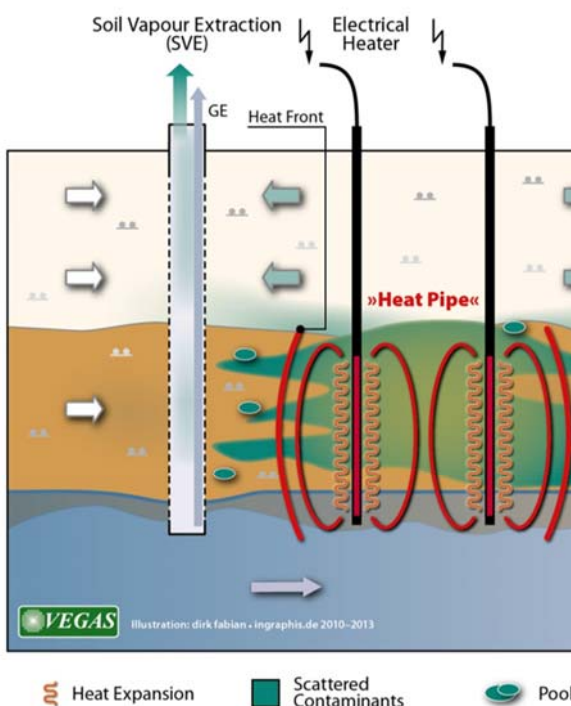
Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
5

Einsatzbereiche Feste Wärmequellen



Einsatzbereiche

DNAPL und LNAPL, leicht- und schwerflüchtig,
Siedetemperaturen $< 250^{\circ}\text{C}$ (?)

UZ: gering durchlässige Bodenschichten
(Feinsedimente, Schluffe, Tone, Lehm,
Durchlässigkeiten: bis 10^{-9} m/s

GZ: unter best. Bedingungen möglich, durch
Großversuche Eignung nachgewiesen

Thermische Reichweite GZ

Abstand der Heizelemente im m-Bereich
(Standort- und projektabhängig)

Besonderheiten

- Langsamer Energieeintrag (konduktiv)
- Temp. $> 100^{\circ}\text{C}$ erst nach vollständiger Verdampfung des Wassers im Boden
- Nach Austrocknung erhöht sich die Durchlässigkeit für BLA deutlich
- Mögliche Setzungen (Tonlagen) beachten
- Geringerer Betriebs- und Wartungsaufwand
- Kombination mit DLI kann sinnvoll sein



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
6

TISs, (Dampf-Luft-Injektion) von der Forschung zur Anwendung

Jahr	Standort	Geologie/Hydrogeologie	Schadstoff	Beschreibung / Besonderheiten
1998 Pilot	Plauen ehem. Benzol-Verladestation, Industriebrache	(UZ), sandiger Schluff, -2,5 bis -4,5 m über kiesig/sandigem GWL	BTEX	EU-Projekt mit Sanierungsfirma, erste erfolgreiche Anwendung und Nachweis der Effektivität und Wirtschaftlichkeit
1998 – 2000 Pilot	Mühlacker ehemalige Sondermülldeponie, Deponie heute gesichert	(UZ), verwitterte Ton-/Mergelsteine (Gipskeuper) getrennt durch Schichtwasserhorizont (15 m u. GOK, DRM-Aquifer bei 30 m u. GOK)	CKW	Modellvorhaben LfU Baden-Württemberg, Sanierungskonzept erstellt, keine Umsetzung, Deponie gesichert, Abstrommonitoring
2003/2004 Pilot Feste Wärmequellen	Hamburg ehem. chem. Reinigung, innerstädtisch, dicht bebaut	(UZ), bei -4 bis -6,5 m bindige Sedimentschicht und Mergellage, GW bei -11 m, Sanierungsfläche ca. 80 m ²	CKW	drei Monaten Sanierungszielwert unterschritten, Einsatzfähigkeit nachgewiesen, Sanierungszeit „kalten“ BLA um eine Größenordnung, geringer
2004 Sanierung	Albstadt ehemaliger metallverarb. Betrieb, innerstädtisch	(UZ / GZ): schluffig/tonig (-3,8 m), durchlässiger Kalkstein (-5,6 m) ü. Mergelgestein	CKW	Schadensherd unter Gebäude, Sanierung unter Bodenplatte, laufender Betrieb (Druckerei), erfolgreiche Sanierung

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
7

TISs, Dampf-Luft-Injektion: von der Forschung zur Anwendung

Jahr	Standort	Geologie/Hydrogeologie	Schadstoff	Beschreibung / Besonderheiten
2005 Pilot 2010/11 Sanierung	Karlsruhe-Durlach ehem. chem. Reinigung, hist. Altstadt	(GZ, vadose, UZ) schluffig, sandiger Kies mit Schlufflagen (bis -9 m)	CKW (PCE)	Sanierung unter bewohntem Gebäude. Gesamtsanierung abgeschlossen, Konz. im GW heute n.n.
2008 Pilot	Zeitz ehemaliges Hydrierwerk & Verladestation, Industriebrache	(GZ, vadose, UZ), kiesig/ sandig, Schlufflage, sandig/kiesig (-12 m) über Kohlekomplex	Benzol	Pilot. erfolgreich, Sanierungskonzept erstellt, keine Umsetzung / Auskofferung im Zuge großräumiger Bebauung
2009 Pilot 2012- 2016, DLI, 2016-2018 Abköhl., BLA	Biswurm, VS ehemalige Verbrennungs-anlage, Brachfläche	(GZ, vadose, UZ), geklüfteter Sandsteinaquifer, 3 - 18 m u. GOK (Tonstein bis -21 m u. GOK)	CKW	Erfolg. Pilotierung Basis für Sanierungsplanung, Sanierung mit „Überraschungen“ und „lessons learned“, derzeit Nachsorge / Überwachung
2010 / 2013 Feasib./Pilot, 2018 Sanierung laufend	Oberursel ehemaliger Chemikalien-handel, hist. Altstadt	(UZ, vadose), schlecht durchlässiger Untergrund, Tonschichten, (10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁵ m/s)	CKW	Altstadt unter Gebäude Feasibility, Pilotierung (Fj. 2013 bis Sept. 2013, derzeit Sanierung, starkes, öffentliches Interesse durch NGO

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
8

TIS, (Dampf-Luft-Injektion): von der Forschung zur Anwendung

Jahr	Standort	Geologie/Hydrogeologie	Schadstoff	Beschreibung / Besonderheiten
2013 2015 2016 Pilot/San.	Sindelfingen ehemaliges Chemielager unter Parkhaus	(UZ und GZ) tonige schluffig mit Torfanteil 2 – 16 m u. GOK	CKW	Feasibility / Pilotierung, dann abschnittsweise Schaden- herdentfernung, starke Setzungen aber ohne Einfluß auf Gebäude
2012 – 2013 Pilot 2014 Sanierung	Stuttgart ehemaliger metallverab. Betrieb, innerstädtisch	(UZ und GZ), tonig-dichter Keuper und DRM, unterliegend Gipskeuper- Aquifer 2 - 8 m u. GOK siehe u.a. [16] „youtube“	CKW	EU-Projekt CityChlor „Stuttgarter Str.“ Pilot, Feste Wärmequellen, wiss. Begleitung abgeschlossen 07.2013, Basis für Sanierung 12/13 – 05/2014 (ohne VEGAS)
2012 Feasibility 2015 – 2016 Sanierung	Bad Liebenzell ehemaliger metallverarb. Betrieb, Fotoapp. Campingplatz,	(UZ, GZ) teilweise u. Gebäude, quart. Talablagerungen, kiesig, sandig, schluffig, hoher GW- Stand 1 - 10 m u. GOK	CKW	Feasibility / Sanierungsvorschlag, wirtschaftlichere Alternative zur Großbohrlochverfahren Sanierung abgeschlossen, derzeit Nachsorgemonitoring

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
9

Ehemalige chemische Reinigung – innenstädtisch, Pilotierung und **Sanierung** „Karlsruhe Durlach“

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



Stadt Karlsruhe
Umwelt- u. Arbeitsschutz



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

Stephan Denzel, dplan, Karlsruhe

Claudia Purkhöld, Stadt Karlsruhe, Umwelt- und Arbeitsschutz

Wolfgang Maier-Oßwald, Steffen Hetzer (2010)
Züblin Umwelttechnik GmbH, Stuttgart



altlastenforum
Boden-Württemberg e.V.
Flächenrecycling, Boden- und Grundwasserschutz

Auszug u.a. aus Vorträgen

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

Symposium Strategien zur Boden- und Grundwassersanierung, 21. & 22. November 2011



Pilot-Standort Karlsruhe Durlach



**Heutige Nutzung
Galerie und
Rahmenladen**



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
11

Pilot-Standort Karlsruhe Durlach



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

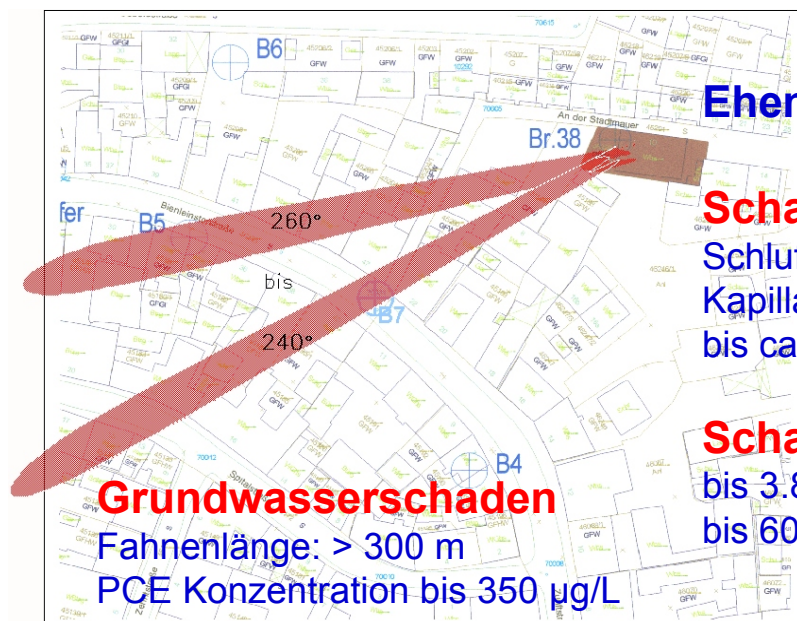
Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
12

Altstadt Karlsruhe-Durlach

historisches Gebäude, eng bebautes Wohngebiet (2003/2004)



Ehemalige chem. Reinigung

Schadstoffquelle PCE

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

Schadstoffgehalte

bis 3.800 mg/kg (in Schluff),
bis 60 mg/l im GW

Grundwasserschaden

Fahnenlänge: > 300 m

PCE Konzentration bis 350 µg/L

© VEGAS



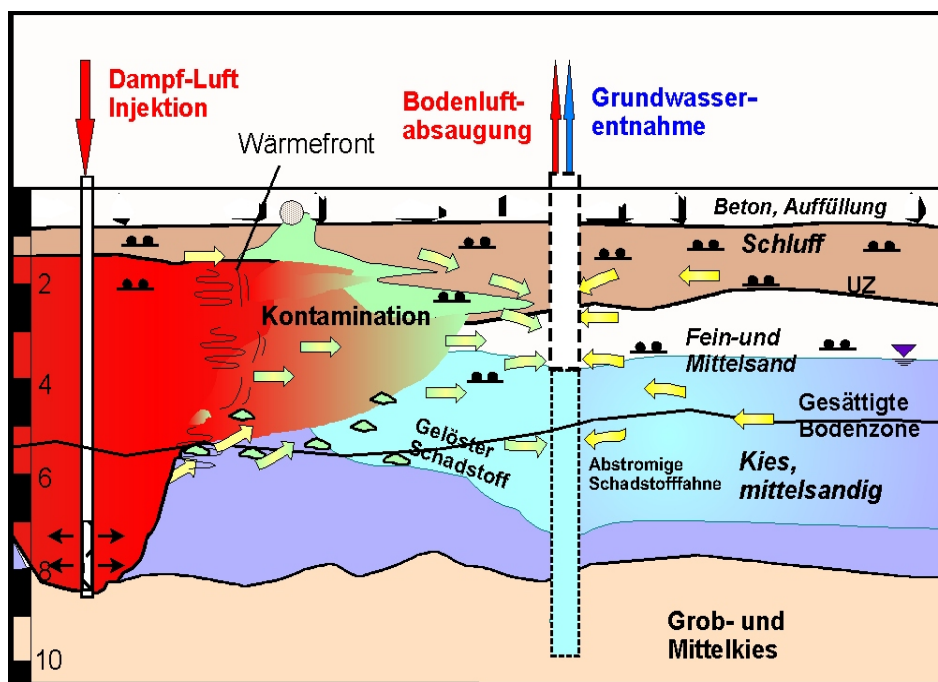
Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
13

Geologie und Sanierungskonzept Pilotierung



DL-Injektion

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

**Bodenluft-
absaugung**

100 - 150 m³/h

**GW-Haltung
(Kühlwasser)**

1- 3 m³/h

Lage in Rheintal: **Quartärer, fluvialer Aquifer**

© VEGAS



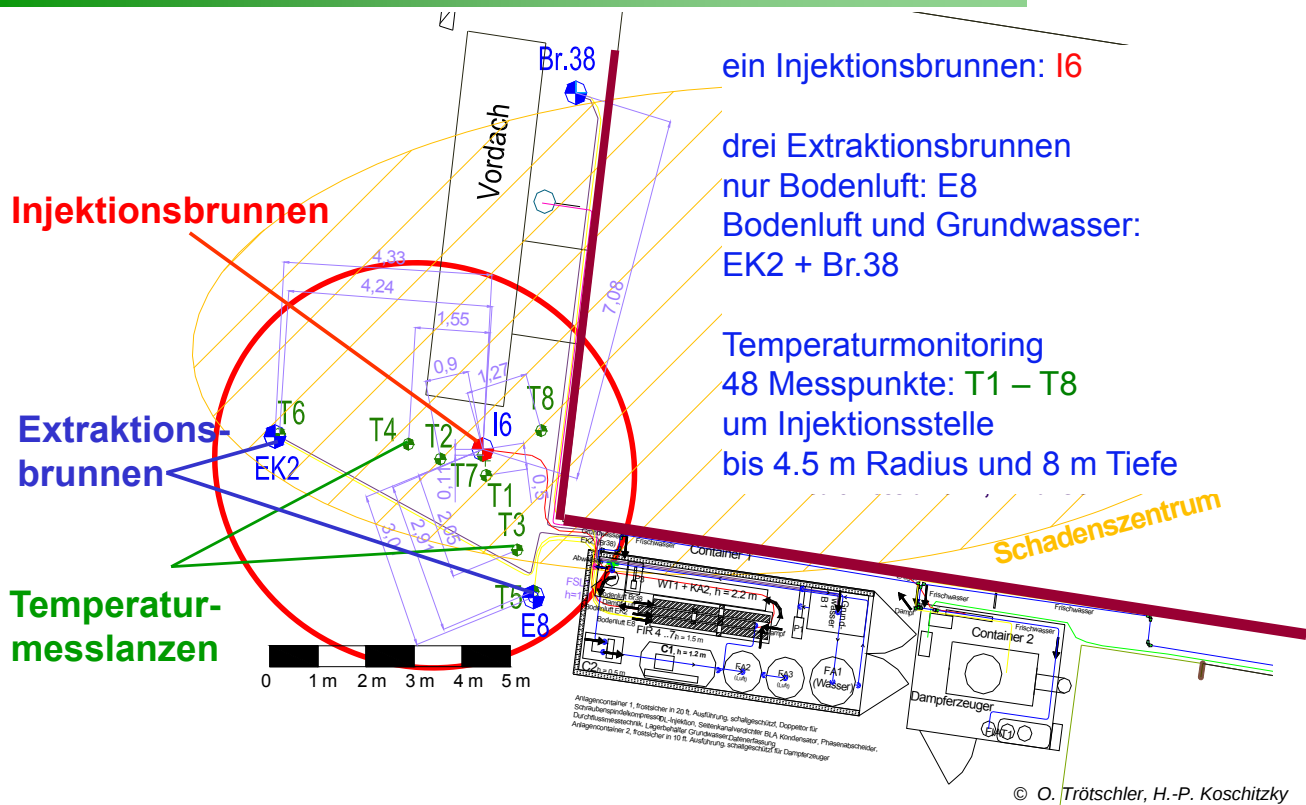
Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
14

Pilot – Testfeld: Ausstattung



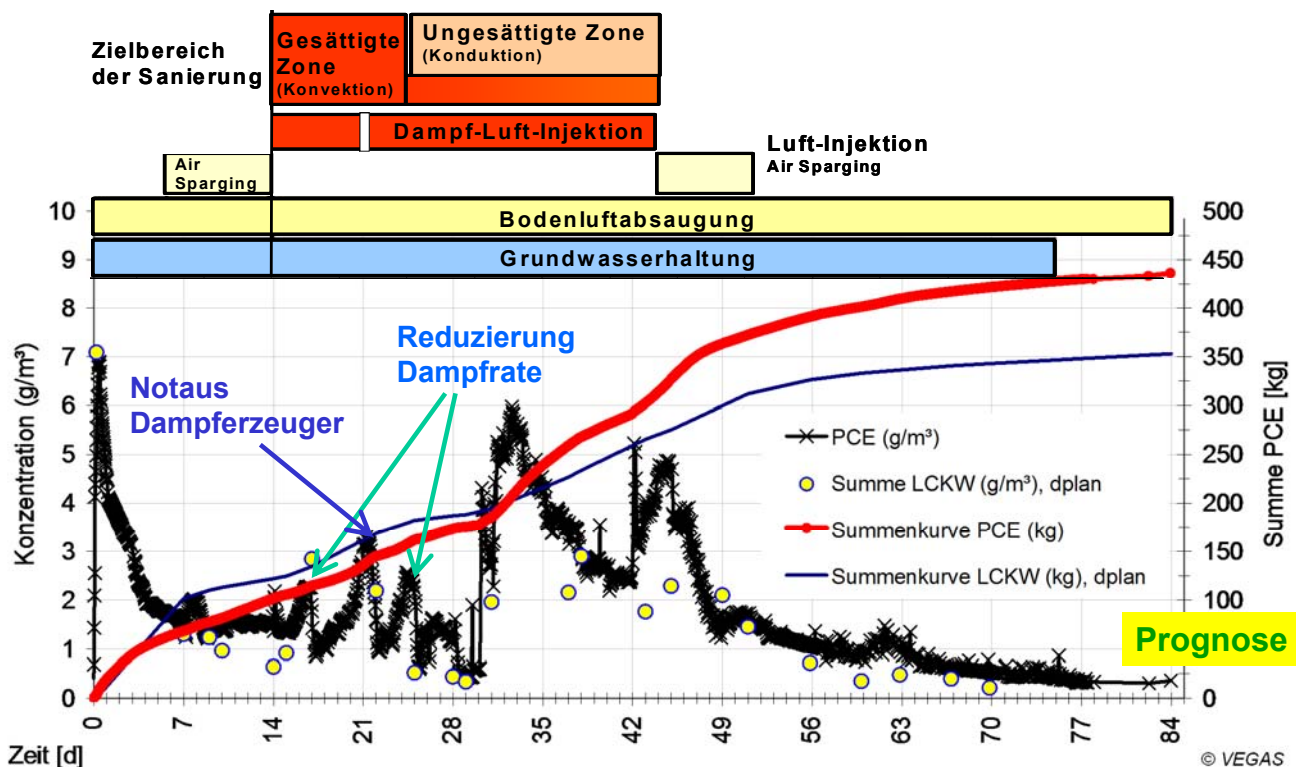
Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
15

Massenbilanz Schadstoffaustrag



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

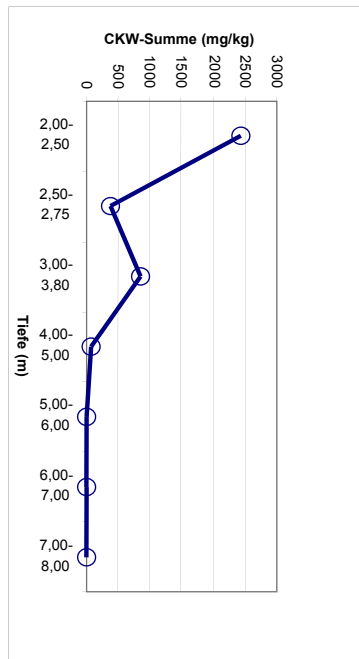
Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



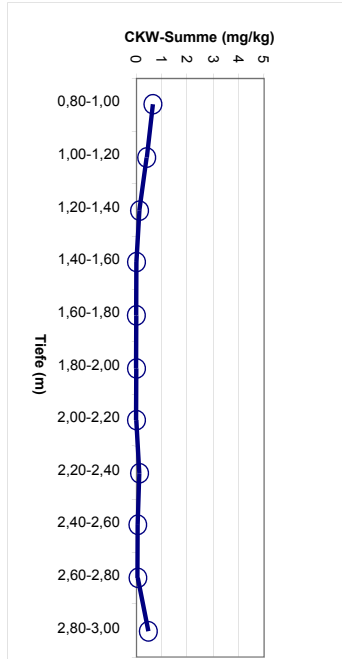
Kos
16

Bodenproben vor & nach Pilot-Sanierung

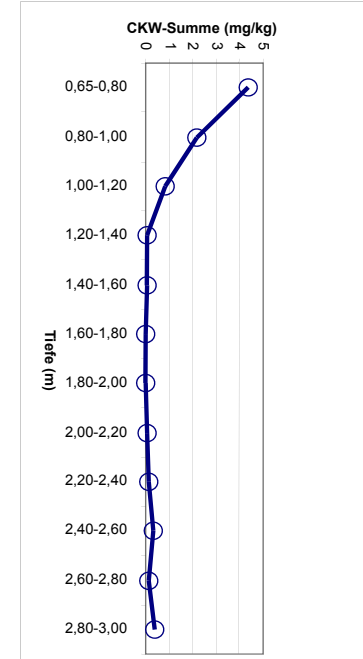
Sondierung Injektionsbr. I6
vor Pilot-Sanierung



Sondierung 1,5 m Abstand
zu I6 nach Pilotierung



Sondierung 3 m Abstand
zu I6 nach Pilotierung



© VEGAS



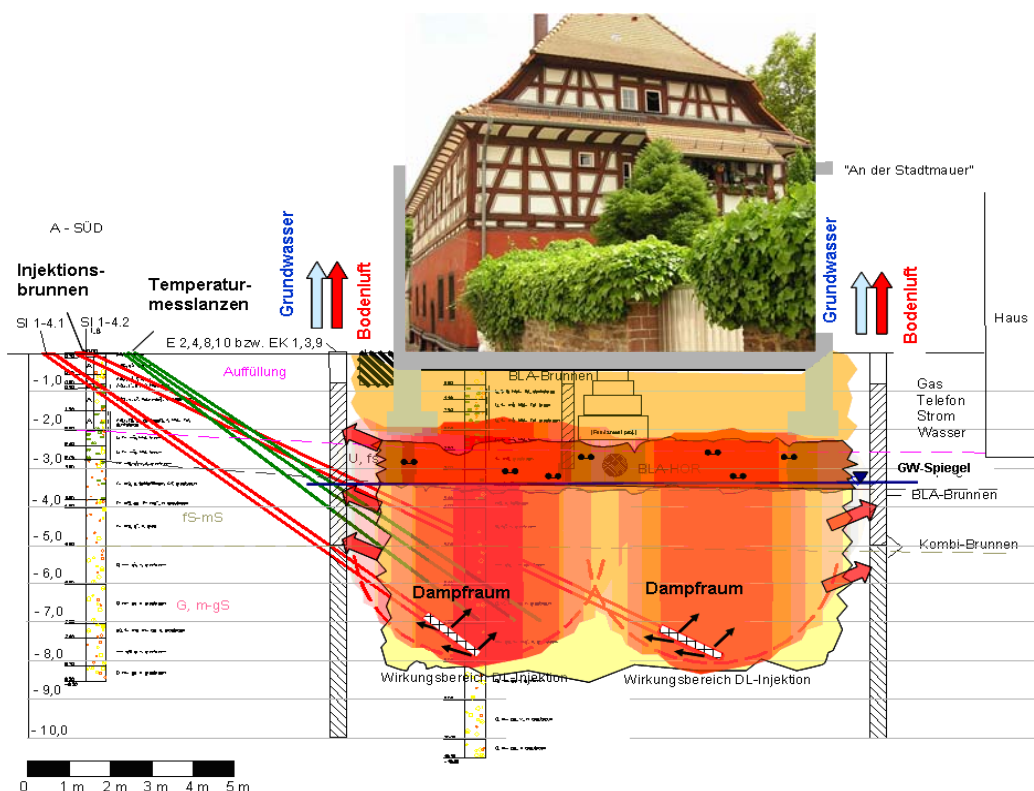
Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
17

Realisierung DLI unter dem Gebäude



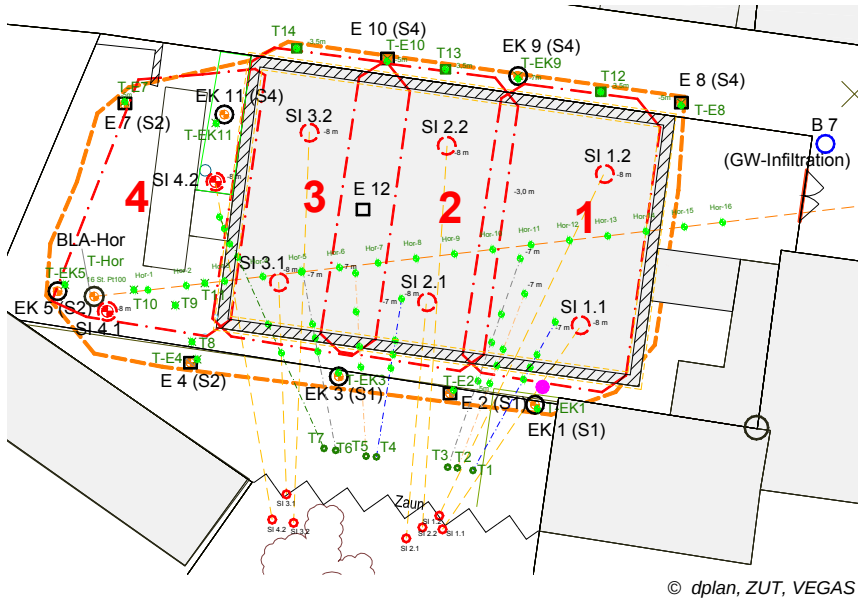
Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
18

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



doplan
dplan gmbh



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung... – über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018

Kos
19

Betrieb Mai - Juli 2010

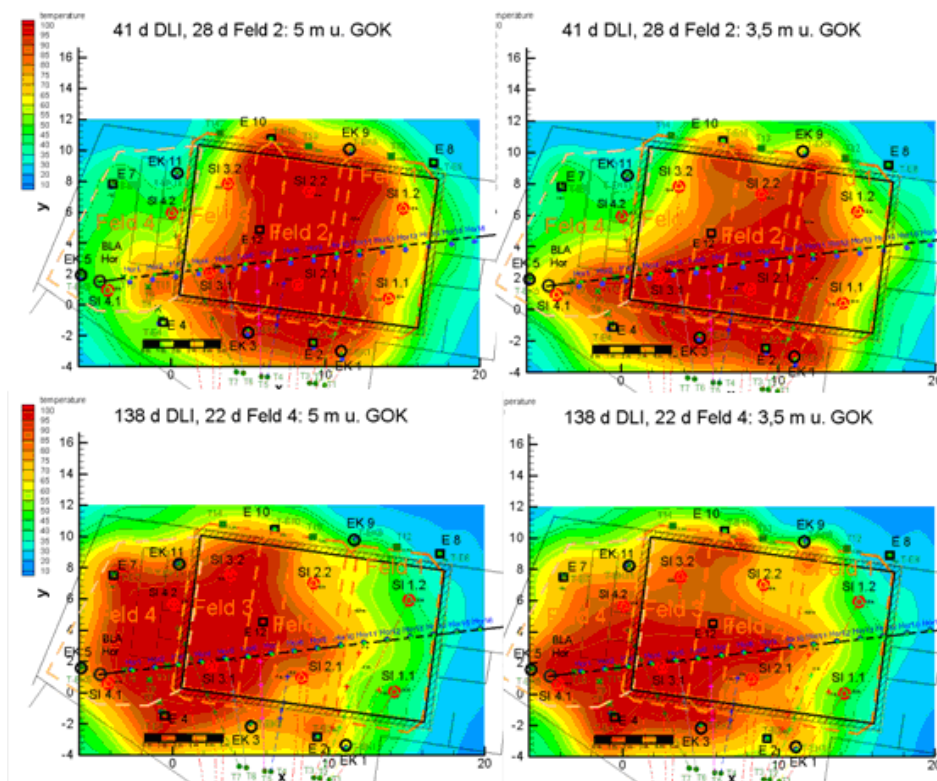


Thermische In-situ-Sanierung... – über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018

Kos
20

Temperaturausbreitung



© VEGAS



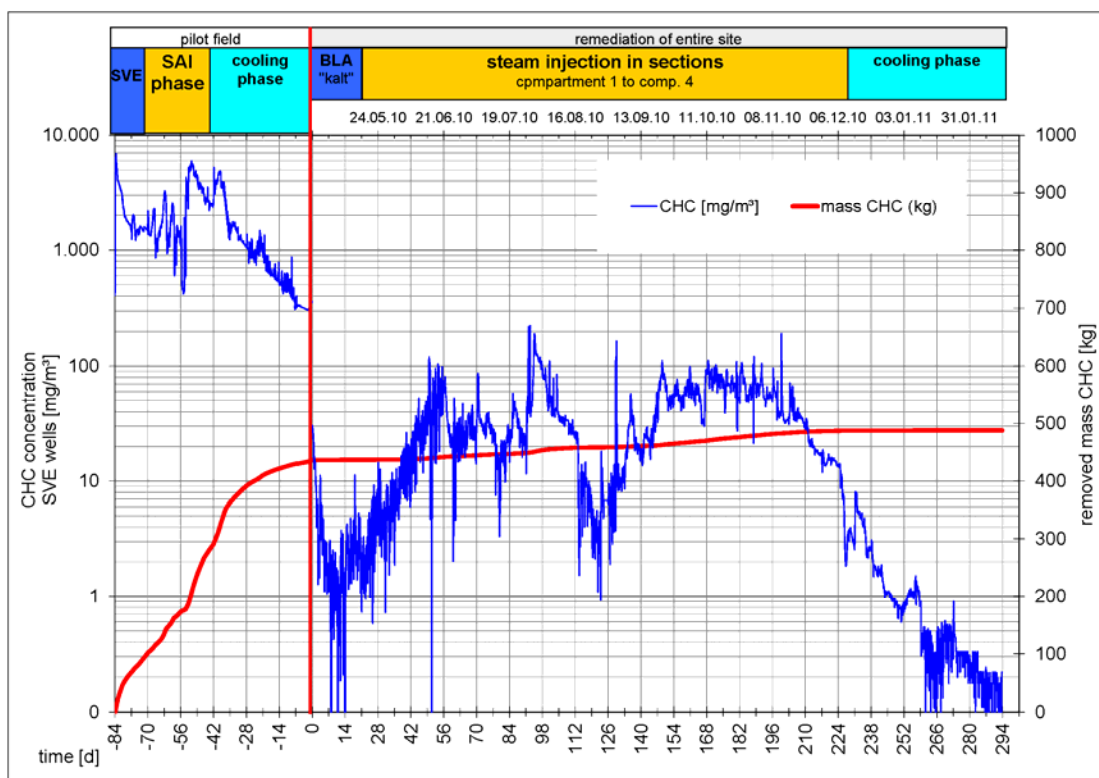
Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
21

Schadstoffaustrag Bodenluft



© VEGAS



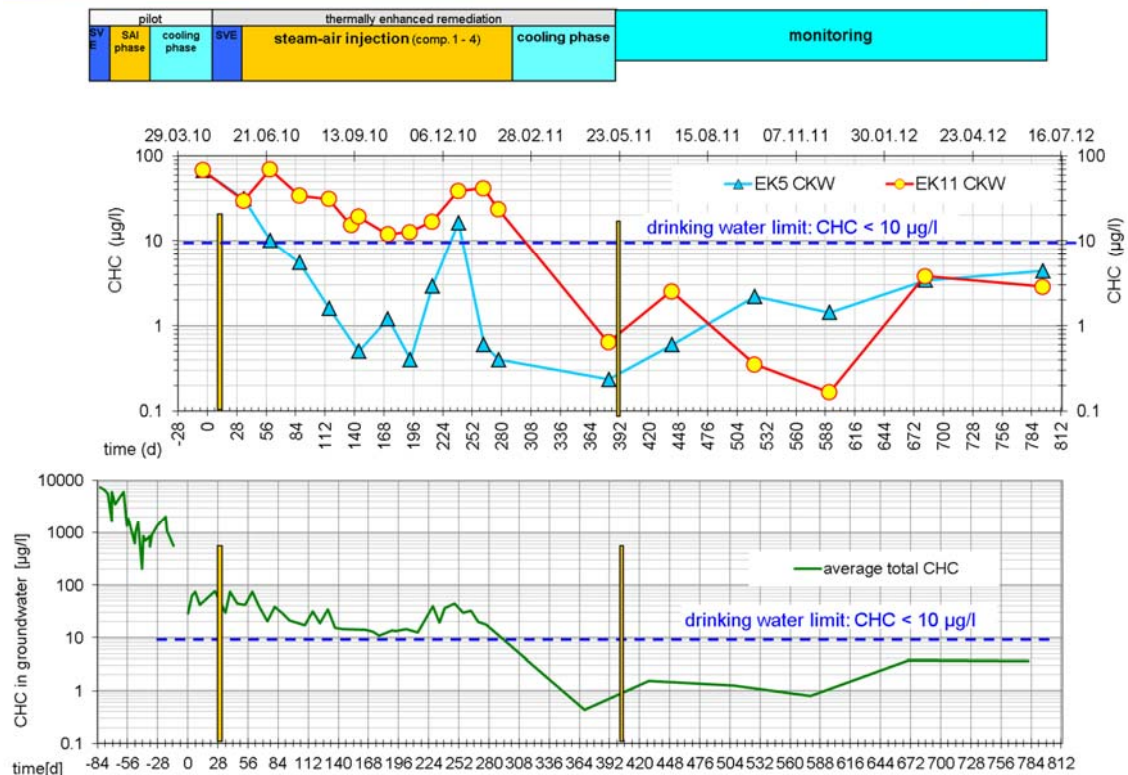
Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
22

Entwicklung der CKW - Konzentrationen im Grundwasser



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
23

Ehemalige Verbrennungsanlage Biswurm – CKW im Kluftgestein, Pilotierung

Thermische In-situ-Sanierung im Kluftgestein: „Lessons learned“ von der Planung bis zur Sanierungsrealität am Standort „Biswurm“

Hans-Peter Koschitzky¹ Oliver Trötschler¹,
Bernd Lidola², Michaela Epp², Isabell Kleeberg²
Stefan Schulze³ · Holger Weiß⁴

- (1) Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung, Universität Stuttgart
- (2) Stadtbauamt Villingen-Schwenningen, Abteilung Wasser und Boden
- (3) GEOSens, Ingenieurpartnerschaft, Ebringen
- (4) Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH, UFZ Leipzig



z.B.: Symposium **Strategien zur Boden- und Grundwassersanierung**, DECHEMA, Frankfurt a.M., 30.11.2015

NICOLE Workshop, Vienna, Austria, 15-17 June 2016, *Turning failure into success – What can we learn when remediation does not go as planned*



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

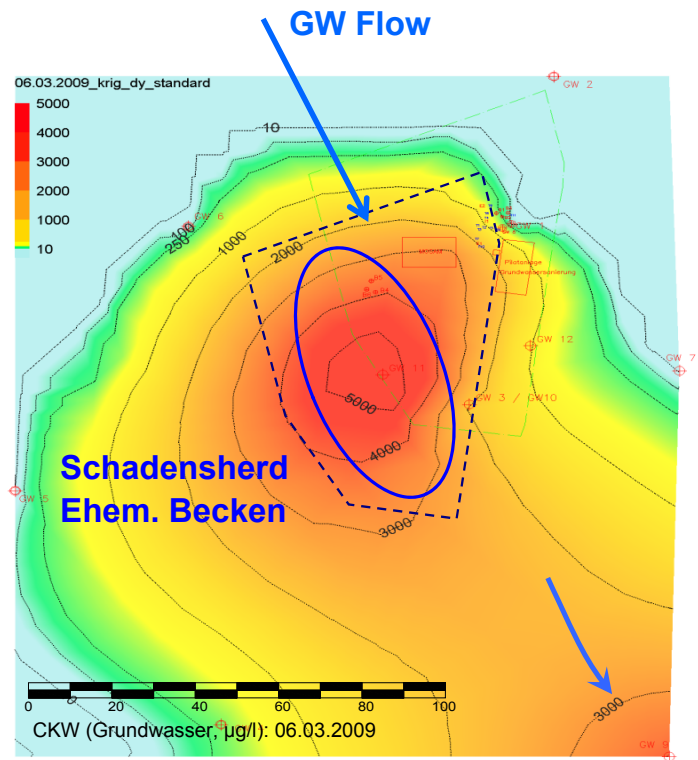
Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



24

Schadensbild 2007 / 2009

- ➔ ca. 2.900 m² Kernbereich
bzw. 43.000 m³ Kluftgestein
(CKW-Schaden)
- ➔ 5 m UZ und ca. 16 m gesättigte
Zone, CKW
bis 4.000 mg/m³ in der Bodenluft
bis 4 mg/L im Grundwasser
- ➔ Länge Schadstofffahne unbekannt,
mind. 1 ha Fläche kontaminiertes
Grundwasser



© VEGAS



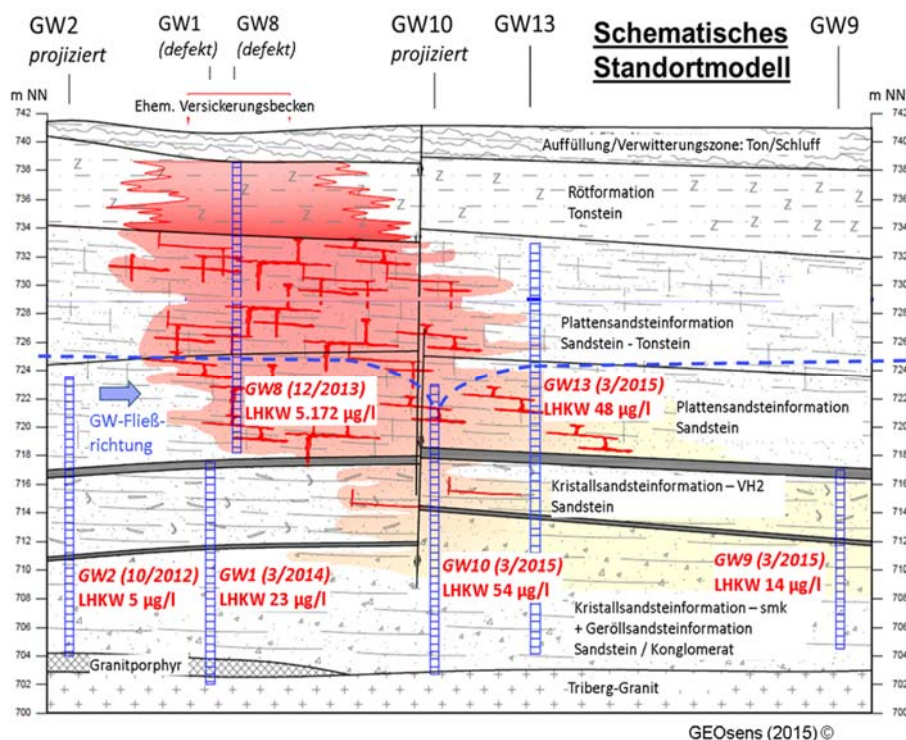
Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
25

Geologie und Schadensbild in einem Kluftaquifer



Komplexer, geklüfteter
Festgesteinsaquifer

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

© VEGAS

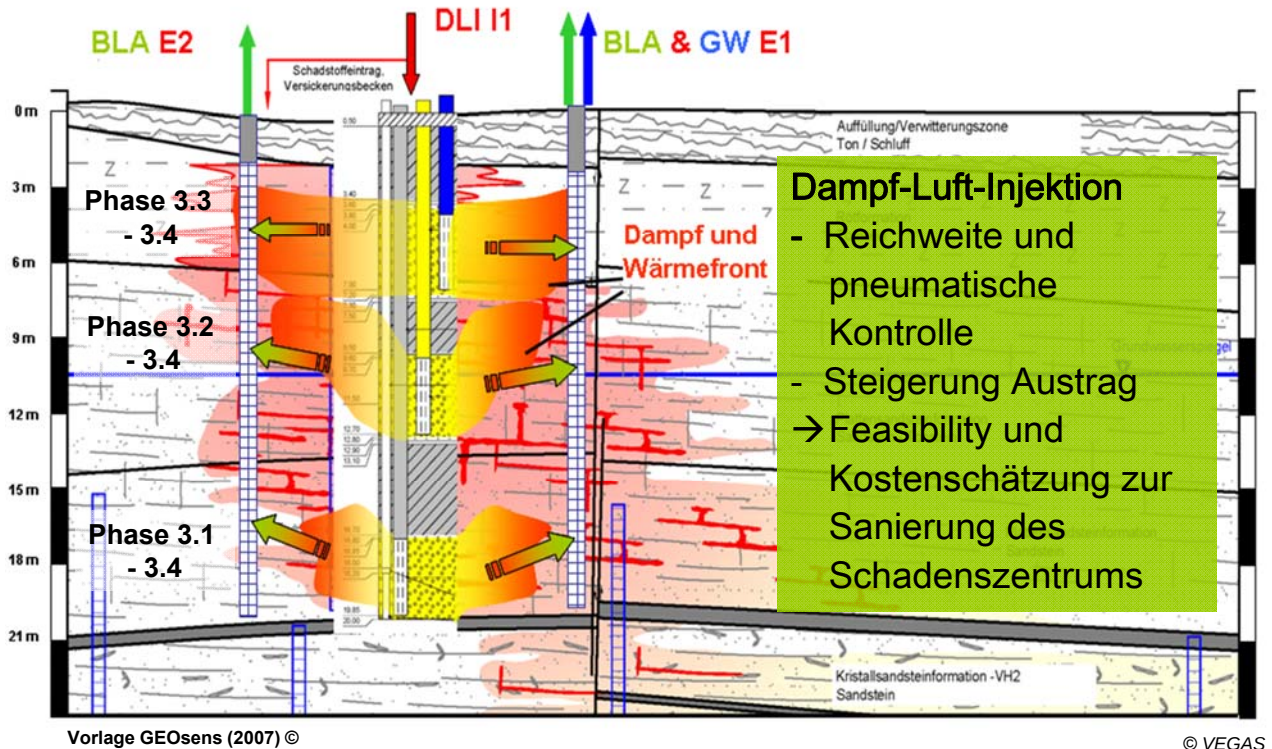


Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
26



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

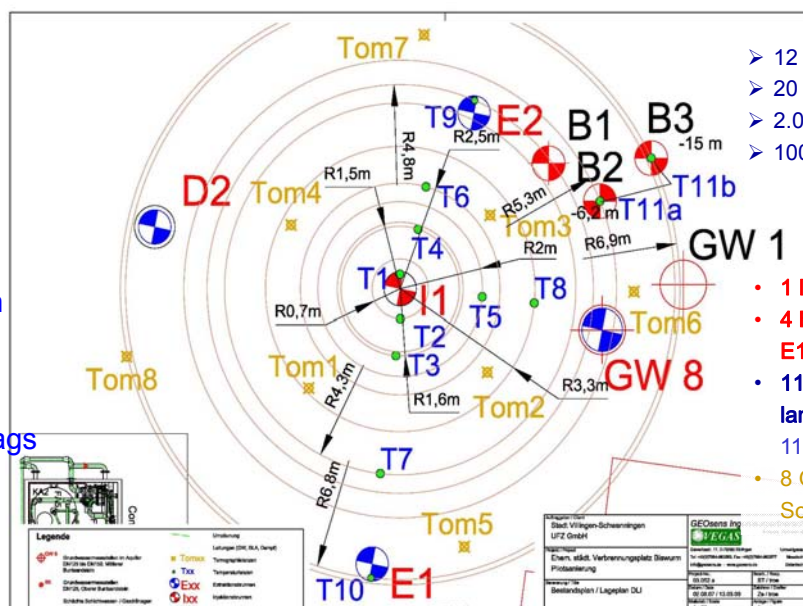
Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
27

Pilotanwendung Biswurm

- Eignung der DLI für den Kluftaquifer, Plattensandstein bestätigt
- Steigerung des Schadstoffaustrags um Faktor 2 – 5 gegenüber Air-Sparging bzw. kalter BLA



- 12 m Durchmesser,
- 20 m Tiefe,
- 2.000 m³ Kluftgestein
- 100 kW Injektionsleistung

- 1 Injektionsbrunnen I1
- 4 Extraktionsbrunnen E1, E2, D2, GW8
- 11 Temperaturmessstellen T1 - T11
117 Temperaturfühler
- 8 Geoelektrische Sonden (Tom)

- Im oberen Aquifer und in der ungesättigten Zone: thermische Reichweite von mehr als 10 m Durchmesser erreicht

- **Schadstoffaustrag: 500 kg LHKW in 3 Monaten aus ca. 1.500 m³ Festgestein**

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

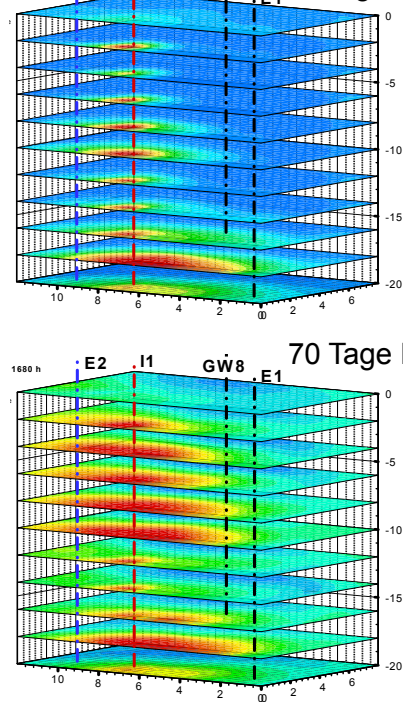
Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



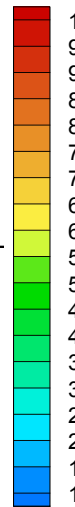
Kos
28

Überblick Wärmeausbreitung

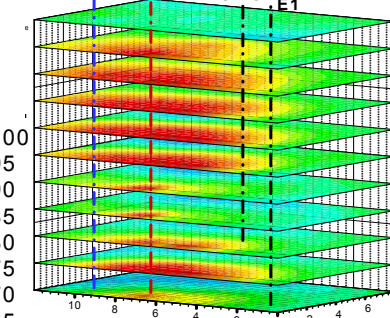
25 Tage DLI



Temp.
[°C]

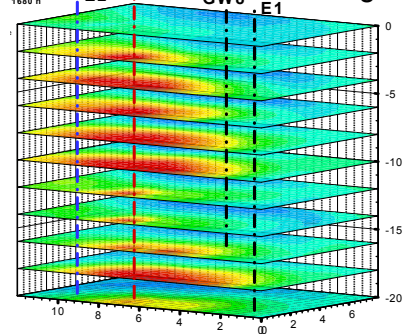


103 Tage DLI

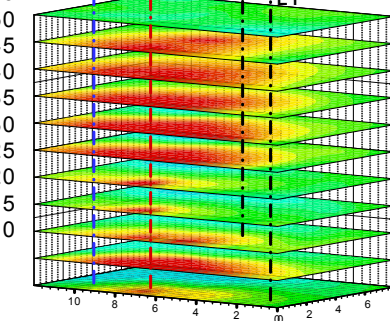


Thermische
Reichweite
GW-Höhe und UZ:
größer 5 m Radius

70 Tage DLI



131 Tage DLI



Thermische
Reichweite
an Aquiferbasis:
2 – 3 m Radius

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
29

Eindrücke vom Testfeld



DLI am 19.06.09



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
30

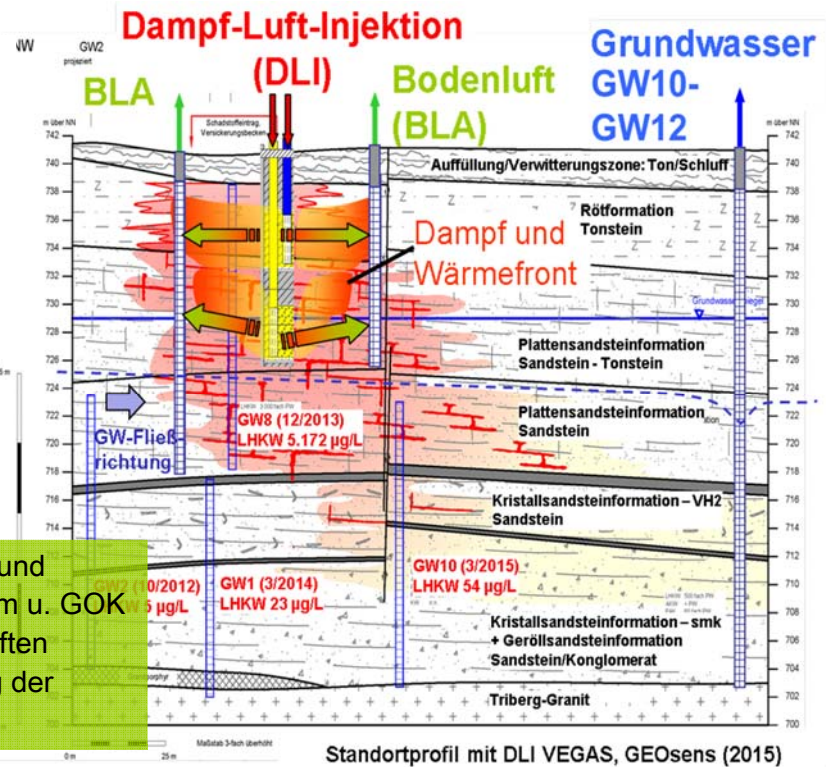
Sanierungsplanung auf der Grundlage der Pilotanwendung

Dampf-Luft-Injektion (DLI)

zwei Injektionsbereiche:

- Plattensandstein und Tonstein (4 – 8 m u. GOK)
- Plattensandstein oberer GW-Leiter (11 – 15 m u. GOK)

- **Erwärmung** der oberen Ton- und Plattensandsteinlagen bis 15 m u. GOK über Dampfausbreitung in Klüften
- **Desorption** und Verdampfung der LHKW aus Festgestein



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

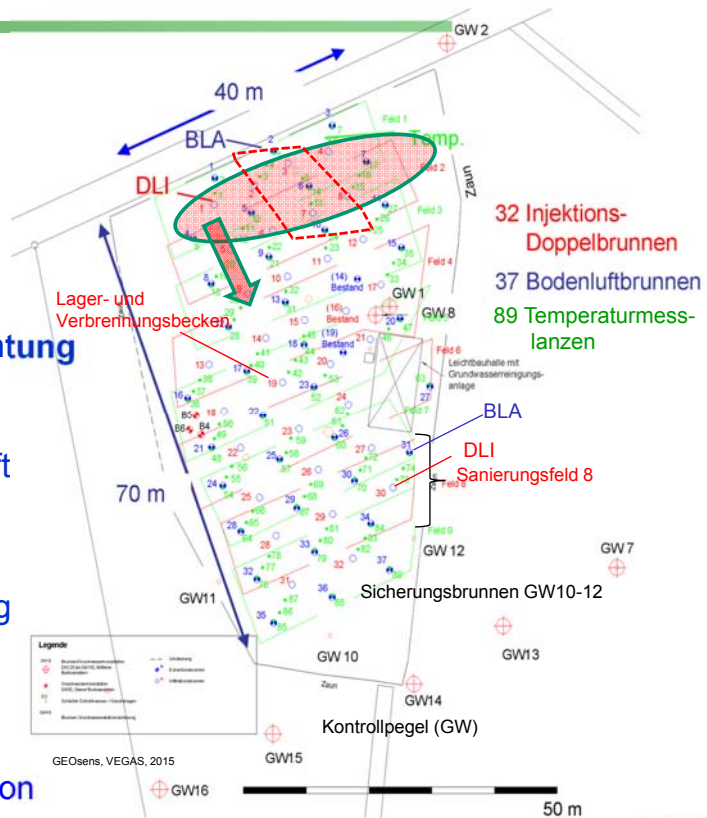
Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
31

Sanierungskonzept DLI Biswurm

- **9 Sanierungsfelder** mit je 4 – 5 Injektionsbrunnen für 4.000 m³
- **32 Injektionsdoppelbrunnen**
37 Bodenluftabsaugbrunnen
89 Temperaturmesslanzen
- **DLI abschnittsweise in GW-Richtung**
350 – 450 kW Wärmeleistung
Dampfausbreitungsphase
6 Wochen mit 550 kg/h Dampf-Luft
LHKW-Desorptionsphase
8 Wochen mit 450 kg/h
- **Betrieb der Grundwassersicherung an Geländegrenze im Süden**
- **36 Monate** thermische In-situ-Sanierung mit 33 Monaten Dampf-Luft-Injektion



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
32

Sanierung Biswurm



Okt. 2011 Bohrarbeiten nahezu abgeschlossen



Start DLI 8. August 2012

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

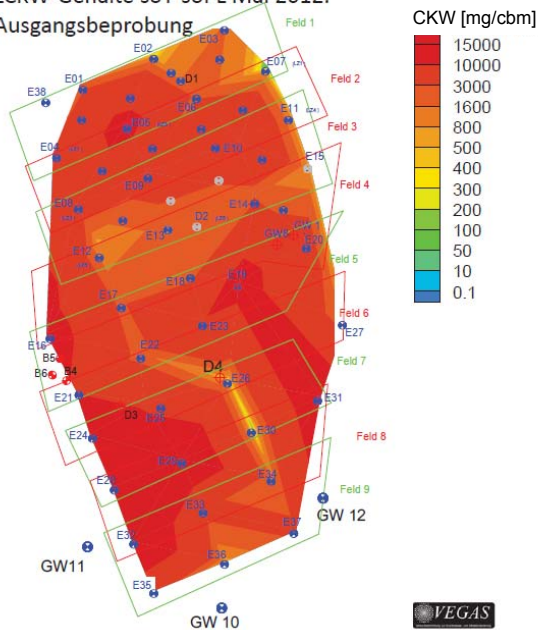
Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



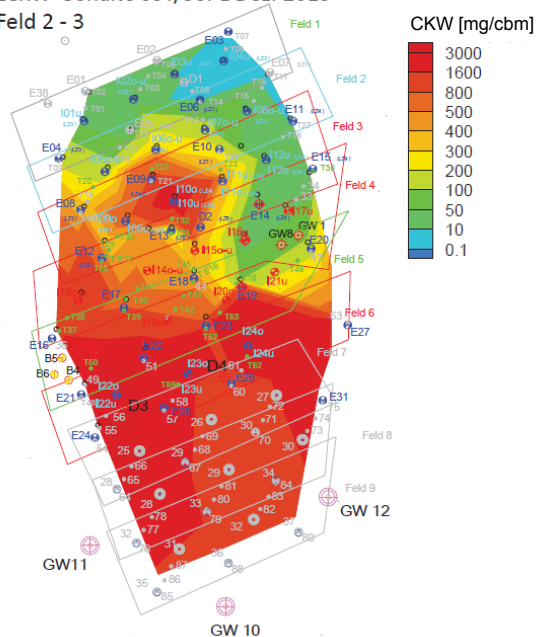
Kos
33

Entwicklung der LCKW-Gehalte während der Sanierung

LCKW-Gehalte soT-soPL Mai 2012:
Ausgangsbeprobung



LCKW-Gehalte soT/SoPL Dez. 2013
Feld 2 - 3



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

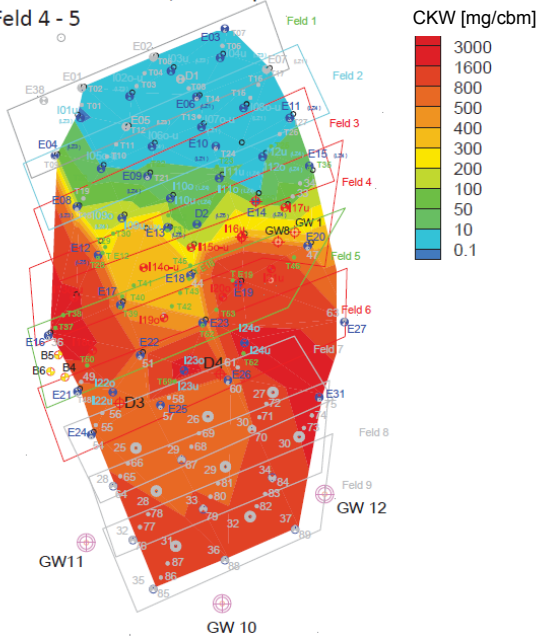
Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



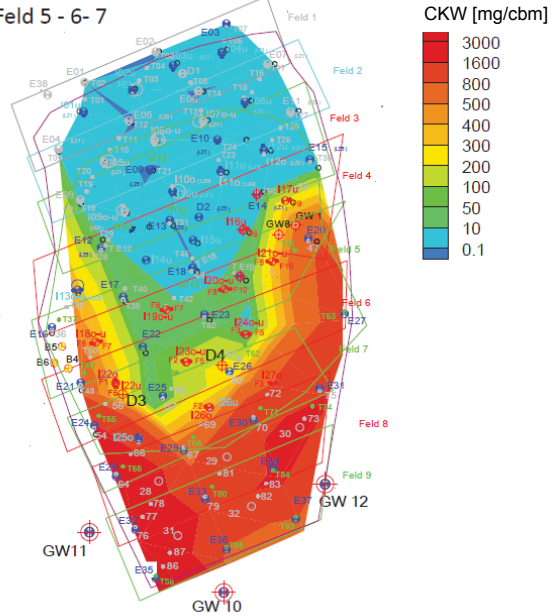
Kos
34

Entwicklung der LCKW-Gehalte während der Sanierung

LCKW-Gehalte soT/soPL September 2014
Feld 4 - 5



LCKW-Gehalte soT/soPL April 2015
Feld 5 - 6 - 7



An

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
35

Eindrücke vom Sanierungsfeld in Biswurm



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

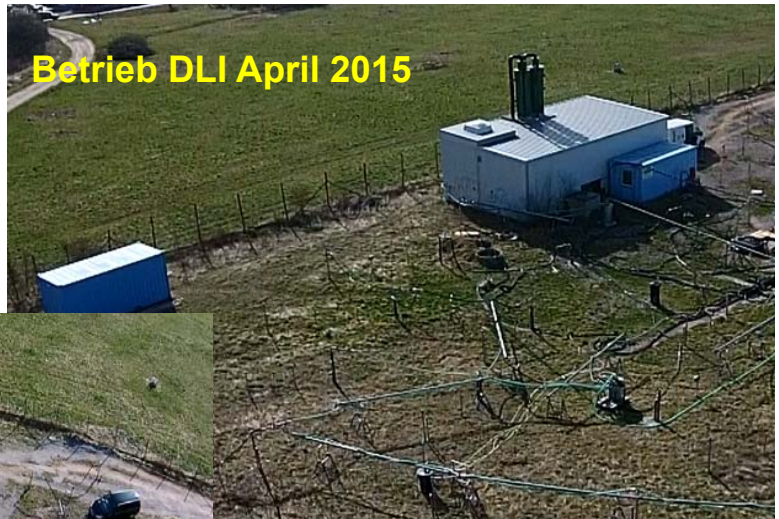
Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
36

Blick auf das Sanierungsfeld

Betrieb DLI April 2015



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

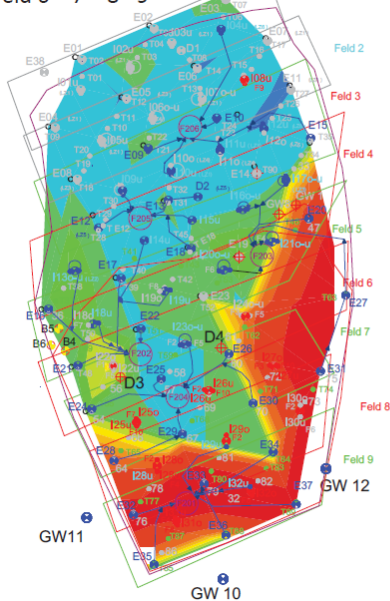
Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
37

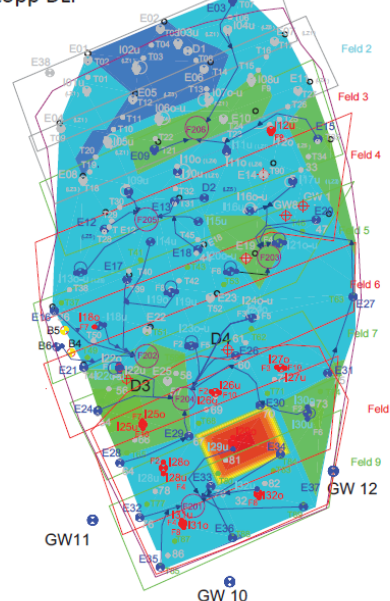
Entwicklung der LCKW-Gehalte während der Sanierung

LCKW-Gehalte soT/soPL Februar 2016
Feld 6 – 7 – 8 – 9



CKW [mg/cbm]
3000
1600
800
500
400
300
200
100
50
10
0.1

LCKW-Gehalte soT/soPL August 2016
Stopp DLI



CKW [mg/cbm]
3000
1600
800
500
400
300
200
100
50
10
0.1

he
W
n in
rab:
/L
Ant

- Dampfinjektion beendet bei 13 mg/m³ CKW in heißer Bodenluft
- 81 von 95 Brunnen < 10 mg/m³ CKW

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

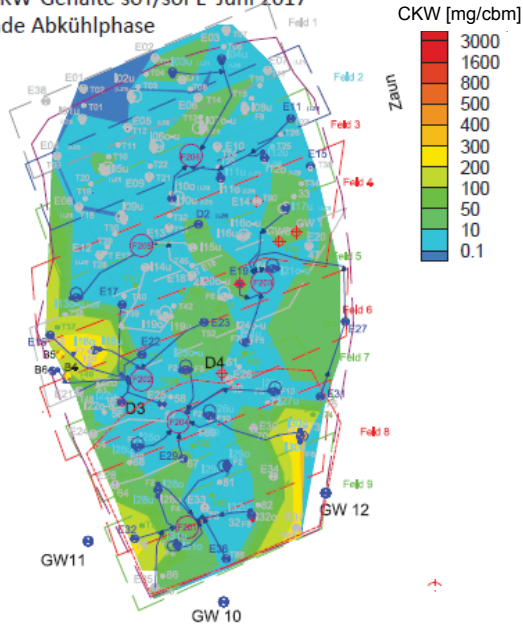
Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



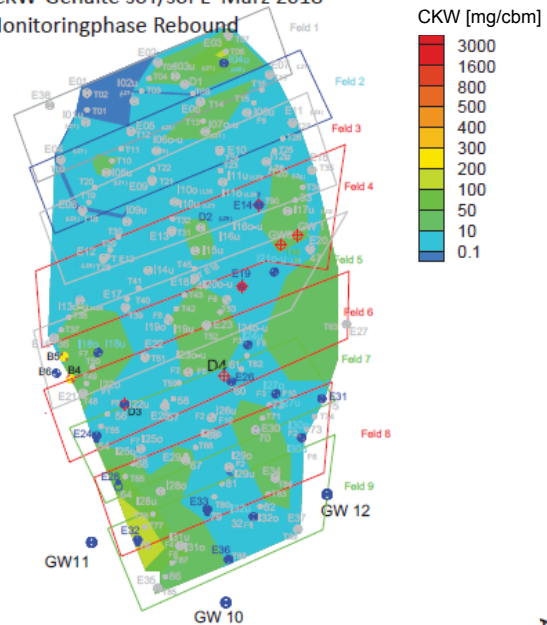
Kos
38

Entwicklung der LCKW-Gehalte während der Sanierung

LCKW-Gehalte soT/soPL Juni 2017
Ende Abkühlphase



LCKW-Gehalte soT/soPL März 2018
Monitoringphase Rebound



Anlage

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

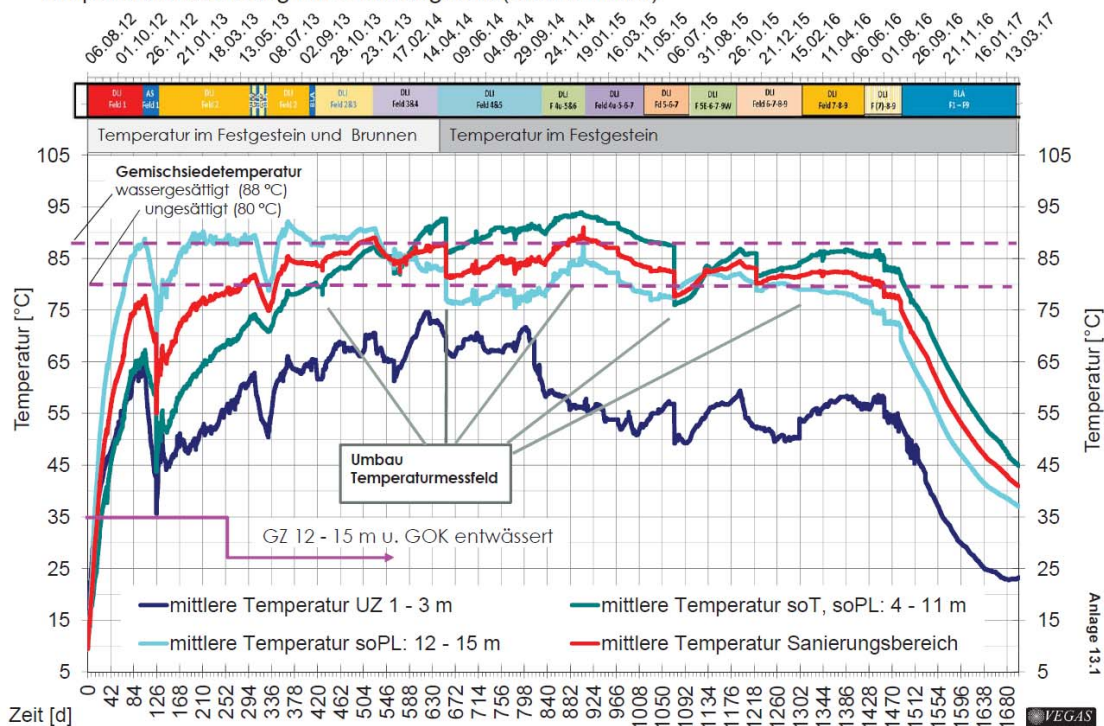
Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
39

Entwicklung der Temperaturen während der Sanierung

Temperaturentwicklung im Sanierungsfeld (arithm. Mittel)



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
40

Sanierungsplanung nach Pilotanwendung

→ abschnittsweise thermische
Sanierung (jeweils 3 Monate)

Dampf-Luft-Injektion

3 Monate je Feldabschnitt
auf 2 Injektionsebenen

- 6 Wochen Aufheizdauer +
- 8 Wochen Austragsdauer
- Abkühlungsphase, je
ca. 1 Woche

→ **September 2015:** Abschluss
und Sanierungskontrolle

... und die Realität:

Desorptionsdauer deutlich länger

→ simultane Sanierung von 2 - 3
Feldabschnitte mit 350 – 450 kW

Dampf-Luft-Injektion

4-6 Monate je Feldabschnitt

- 5 Wochen Aufheizdauer Tonstein
(200 kW) +
- 11 – 13 Wochen Austragsdauer
Tonstein- und Plattensandstein (300 kW)
- 9 Wochen Desorptionsaustrag aus
Plattensandstein (150 kW)
- Abkühlungsphase gesamtes Feld
ca. 20 Monate

→ **August 2016:**

Ende DLI und Abkühlphase

→ **März 2018:**

Reboundtest und „Nachsorge“

© VEGAS



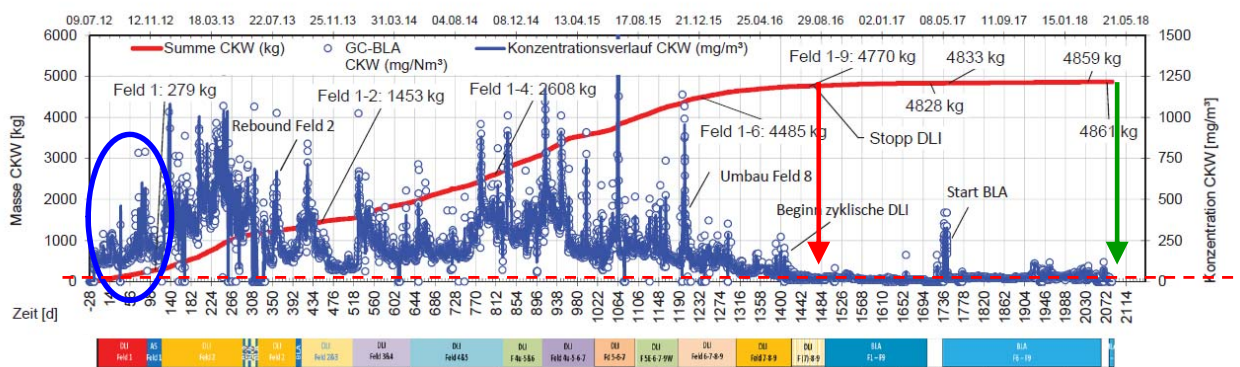
Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
41

Schadstoffaustrag über die Gesamtsanierungszeit



- Typischer Schadstoffaustrag in Feld 1, aber in Felder 2 – 6 deutlich anders
- Sanierungszielwert Bodenluft in den einzelnen Feldern: **20 mg/m³ CKW**
- Sanierungszeit um **Faktor 3** höher im Vergleich zur Pilotierung
- Schadstoffaustrag bis zu 20 kg CKW / Tag; im Mittel **3.5 kg CKW / Tag**
- **4,780 kg CKW** Austrag zum Ende der DLI (Aug. 2016, 1.480 Tage, **13 mg/m³ CKW**)
- Nach ca. 20 Monaten Abkühlphase noch ca. 80 kg → **Gesamtaustrag 4.861 kg CKW**

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



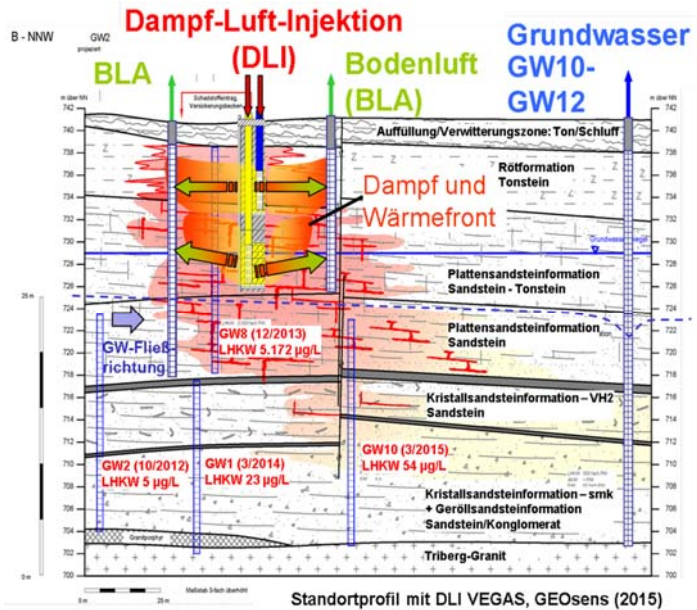
Kos
42

- Beginn der Sanierung:
18.07.2012, ca. 71 Monate
- Dampf-Luft-Injektion:
Start: 06.08.2012 bis 28.08.2016

- **Abschaltung DLI August 2016**

- **Nachsorgephase
mit BLA bis März 2018 und
GW-Haltung bis Sommer 2018**

- **Positive Nachsorgephase,
 $E_{\max} < 10$ g/d LCKW
aktive GW-Förderung: 9 g/d LCKW
passive Fracht: 1,9 g/d LHKW (XUMA)**



- **Endgültiger Abschluss (Bewertungskommission) im Juli 2018**

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Fazit Biswurm

- **LHKW Austrag über BLA ist dominant:** fast 4.900 kg
„nur“ 125 kg über Grundwassersicherung
- **Behördliches Sanierungsziel erreicht:**
< 10 g/d CKW Emission und < 20 µg/L CKW im Grundwasser
- **Gesamtschadstoffaustrag** in 4 Jahren DLI entspricht Austrag
nach 50 Jahren GW-Sanierung (bei konstantem Schadstoffaustrag)
- **Finanziell und energetisch günstiger als Pump&Treat**
 - ➔ Sanierung des Festgesteins mittels DLI effektiv
 - ➔ Kontroll- und steuerungsintensiv
 - ➔ Anpassung des Sanierungsbetriebs an Sanierungsfortschritt
erfordert Flexibilität

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
44



Altstandort „Regula King“
Bad Liebenzell, Nagoldtal



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

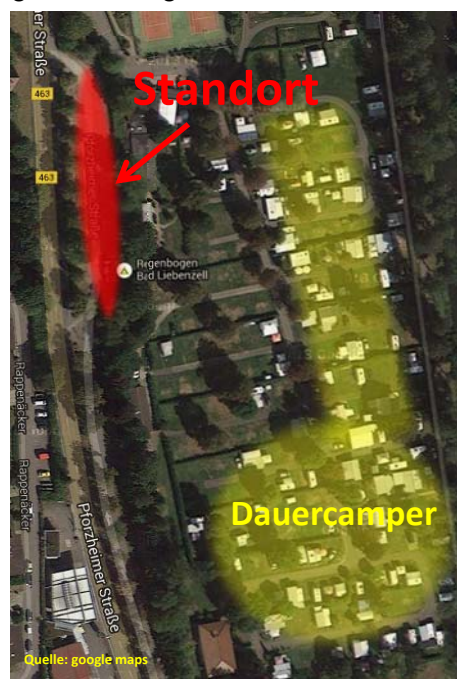
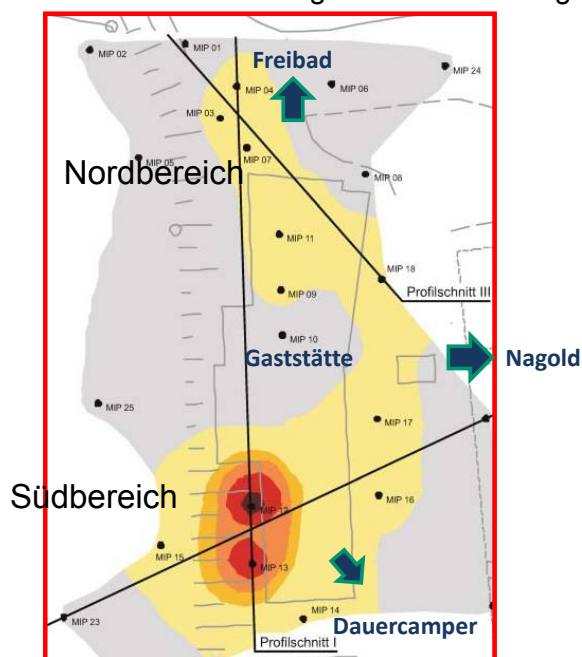
Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
45

Untergrundverunreinigungen – woher?

- Fotoapparatehersteller Regula King (1942 – 1963)
- Einsatz LCKW-haltiger Mittel zur Reinigung, Entfettung → das „Übliche“



© VEGAS



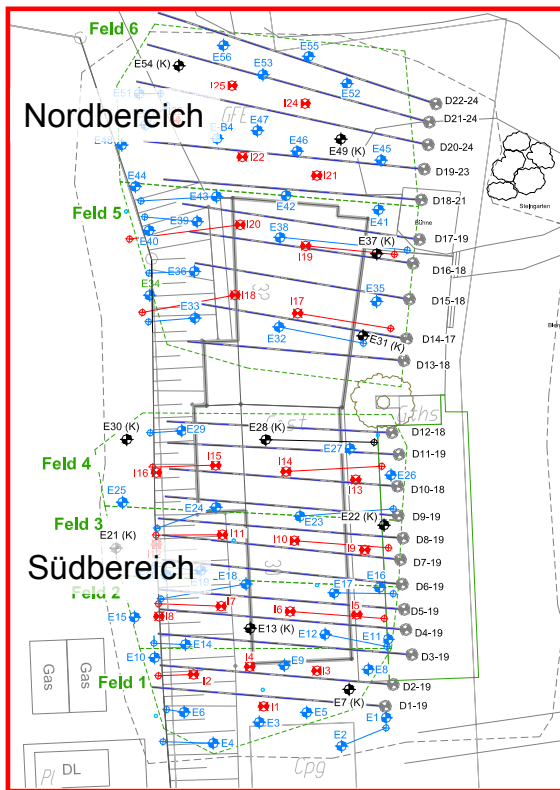
Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
46

Dampf-Luft-Injektion - Grunddesign



Sanierungsfeld unterirdisch (6 Felder)

- 25 St. Injektionsbrunnen Dampf-Luft-Injektion
- 46 St. Extraktionsbrunnen Bodenluft
- 22 St. Bodenluftdrainage (400 m)
- 10 St. Kombinationsbrunnen + 6 vorh. Br.
- 90 Temperaturmesslanzen

Leistungsgrößen

- 500 – 750 kW Dampfleistung
- 1000 m³/h Bodenluftabsaugung
- 20 – 30 m³/h Grundwasserförderung

Zeitdauer (geplant)

- Aufheizphase je Feld: 14 d
- Austragsphase je Feld: mind. 30 d
- Austragsphase gesamt, 210 Tage
- Abkühlphase mind. 30 Tage
- Sanierungsdauer **14 – 17 Mon.** (zzgl. Anlagenbau)

© VEGAS



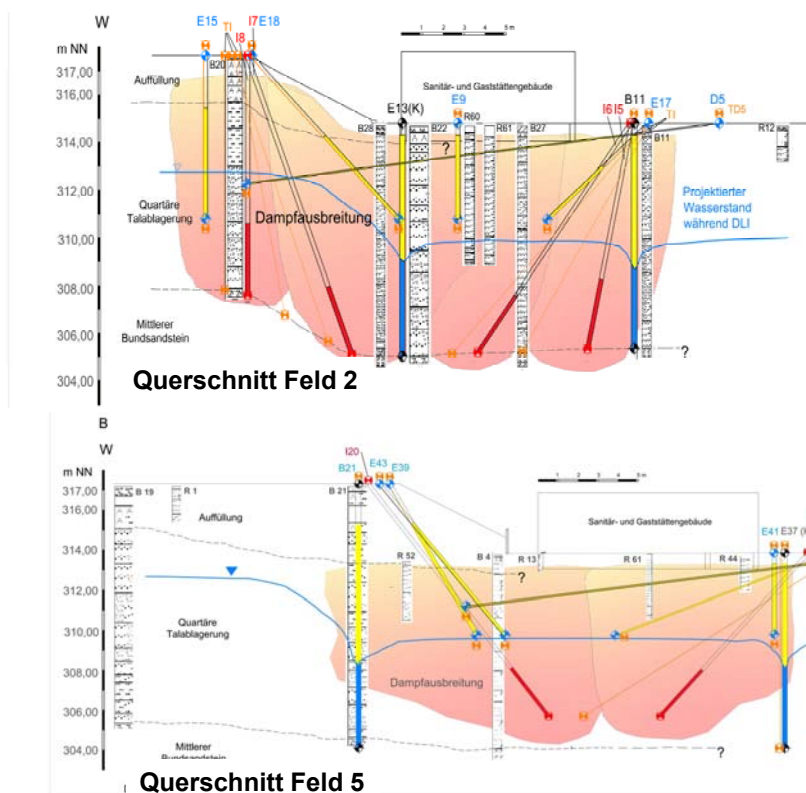
Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
49

Erschließung



Sanierungsfelderschließung

- Grundwasserabsenkung zur „Erzeugung einer ungesättigten Bodenzone“
- Zahlreiche Schrägbohrungen unter Gebäude (Injektion-, BLA-, Kombibrunnen)
- Dto. Temperaturmesslanzen

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
50



© VEGAS

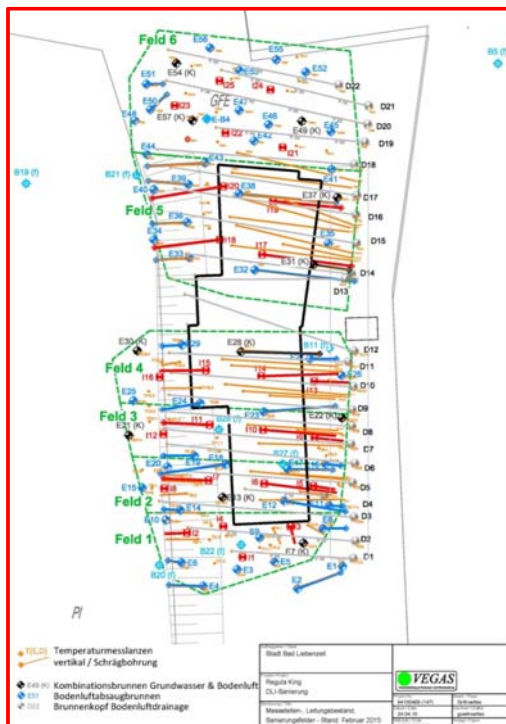


Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kurzsteckbrief



- **Dauer der Sanierung: 07.04.15 – 23.09.2016**
Dampf-Luft-Injektion: Start: 13.04.2015, Stopp: 23.08.2016
 - 6 Sanierungsabschnitte, Behandlung abschnittsweise
 - **4 Felder (Südbereich) erfolgreich saniert (bis Januar 2016) mit ca. 680 kg LCKW-Austrag**
 - Inbetriebnahme DLI Nordbereich Feld 5 am 30.03.2016 und Feld 6 am 11.05.2016
 - **2 Felder (Nordbereich) erfolgreich saniert (bis August 2016) mit 28 -30 kg LCKW**
- ➔ Ende Sanierung im September 2016
- ➔ gesamt: 710 kg LCKW nach 507 Betriebstagen
über BLA >99 %, 5 kg (0,7 %) aus Grundwasser
(über P&T würden 160 Jahre benötigt)
- ➔ LCKW in Grundwasser an allen Brunnen
< 40 µg/L, Emissionen < 4 g/d, Bagatellgrenze

➔ Verteilerausschuss, Abschluss: 19.10.2017

➔ Aktuell Überwachungsprogram

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Zusammenfassung & Ausblick

- **Bestimmung der Einsatzgrenzen über Pilotanwendungen**
Kluftaquifere, dampfunterstützte konduktive Sanierung gering durchlässiger Sedimente (Schluffe, Tone), Tiefen über 20 m, große Aquifermächtigkeiten
- Durch zahlreiche **Referenzprojekte** immer **neue Erkenntnisse** und Erfahrungen
- teilweise auch **Abweichungen** (Überraschungen) zwischen Pilotierung und Gesamtsanierung → „**Lessons learned**“

➔ **Entwicklung war / ist nur möglich durch viele Beteiligte und Geldgeber**



Zusammenfassung & Ausblick (auch international)

- Dimensionierung entsprechend dem Stand der Technik im Rahmen der SU ist möglich
➔ DLI Tool steht bei TASK kostenlos z.V., wird erweitert durch Erfahrungen und aktuelle Grundlagenuntersuchungen bei VEGAS
- Erfolg ist maßgebend an sorgfältiger Erkundung und detailliertes Konzeptionelles Standortmodell gekoppelt
- Sorgfältige Planung erforderlich, TIsS haben klare Anwendungsgrenzen und auch Ausschlusskriterien
- Vollständige, kontrollier- und nachweisbare Sanierung von Schadensherden innerhalb definierten und bestimmbarer Zeiträumen (mit gewissen Bandbreiten) möglich
- Zur Kostensicherheit in der Vorplanung sollten bis zu 30 % Reserve angesetzt werden.
- „intensive“ Sanierungsbegleitung und -steuerung (Online-Datenerfassung, Anlagensteuerung) erforderlich
- **TIsS sind Verfahren bei denen sanierungsbegleitend der Austrag erfasst (on-line) und eine Sanierung (Sanierungserfolg) messtechnisch nachgewiesen werden kann**
- TIsS werden weltweit zunehmend (erfolgreich) angewendet, Expertenwissen ist erforderlich, Beispiele siehe nachfolgende Vorträge

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Fragen ?

koschitzky@iws.uni-stuttgart.de

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

Dr.-Ing. Hans-Peter Koschitzky

Technischer Leiter VEGAS,
Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und
Altlastensanierung, Universität Stuttgart



Thermische In-situ-Sanierung...
– über 20 Jahre Technologietransfer

Altlasten 2018
18. Karlsruher Altlastenseminar
27. & 28. Juni 2018



Kos
55