
Erfahrungen und Lehren aus fast 20 Jahren thermischer In-situ-Sanierung - wo stehen wir heute?

Hans-Peter Koschitzky
Oliver Trötschler et al.



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



Altlastensymposium 2017

05. & 06. Juli 2017, Nürnberg

Was können Sie erwarten

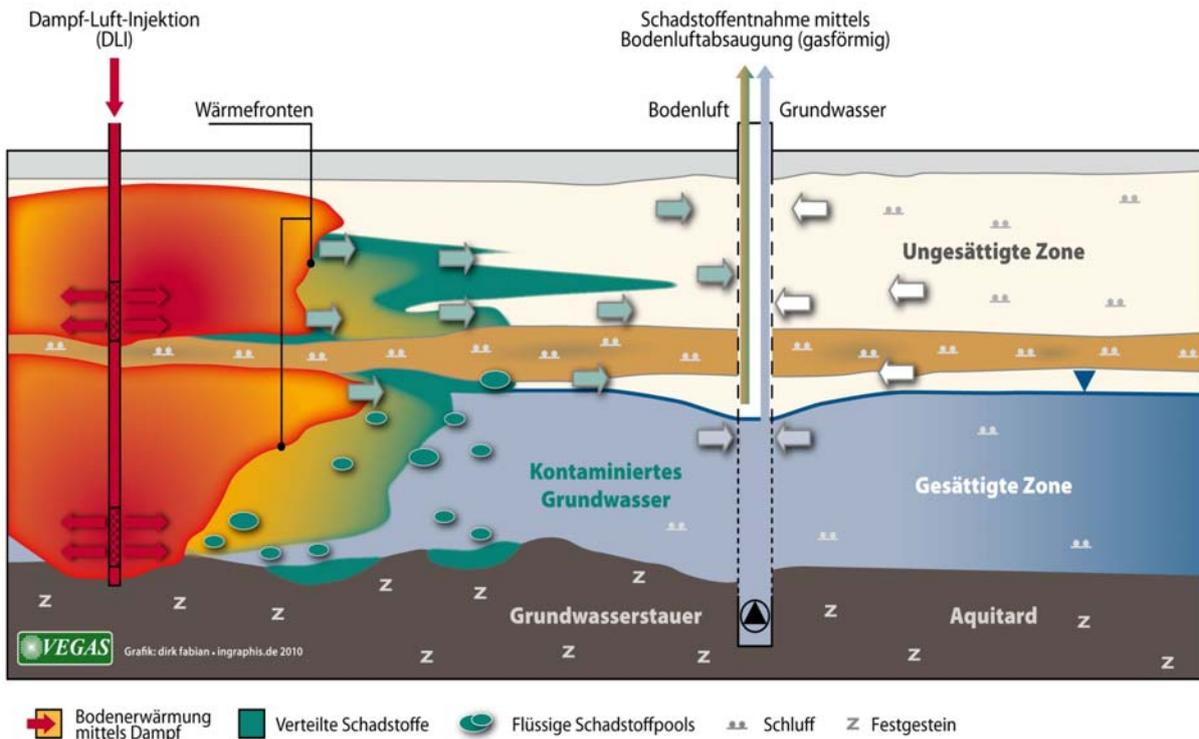
Thermische In-Situ-Sanierungsverfahren, TISS Technologietransfer / Fallbeispiele der letzten 20 Jahre

- Ehemalige chemische Reinigung – innenstädtisch, Pilotierung und **Sanierung** „Karlsruhe Durlach“, CKW
- Ehemaliges Industriegelände Standort Zeitz: Ehemalige Benzolanlage – Pilotanwendung, Benzol
- Ehemalige Verbrennungsanlage Biswurm – CKW im Kluftgestein, Pilotierung und Sanierung
→ „Lessons learned“

Stand der Entwicklungen - Ausblick

© VEGAS

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



© VEGAS



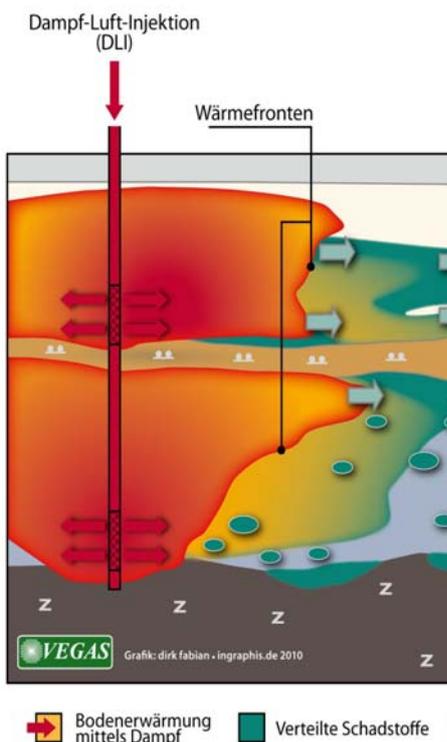
... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagssymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg

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



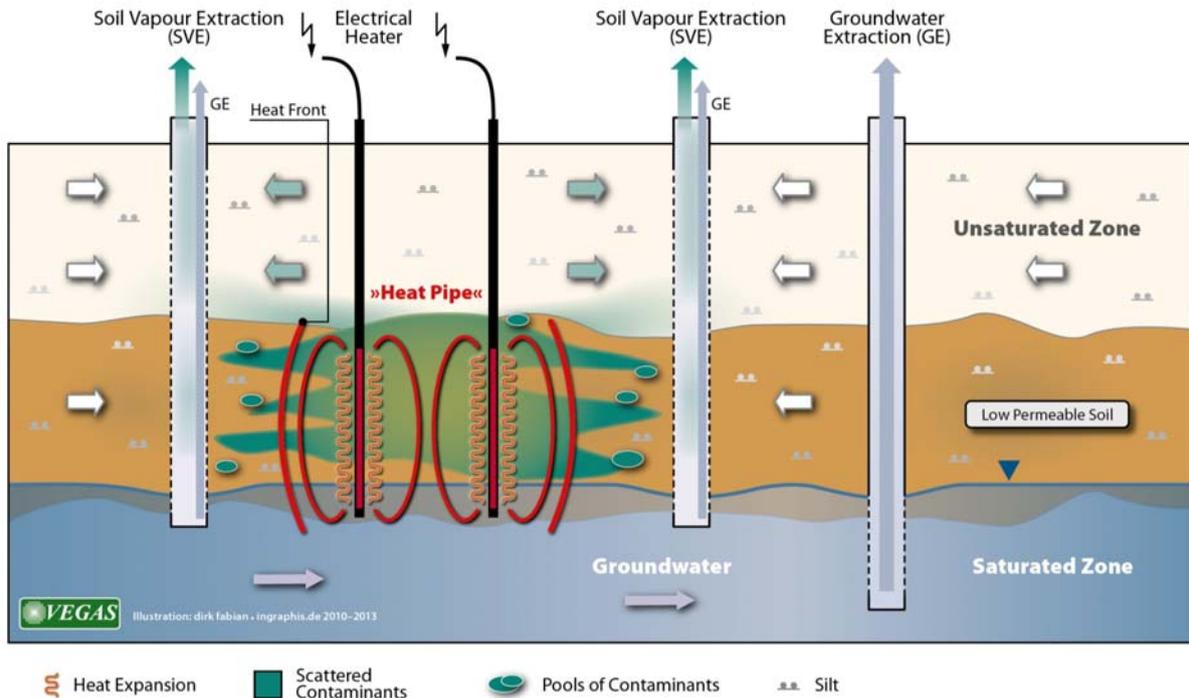
... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagssymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg

Kos
4

Feste Wärmequellen Verfahrensprinzip (konduktiv)



© VEGAS



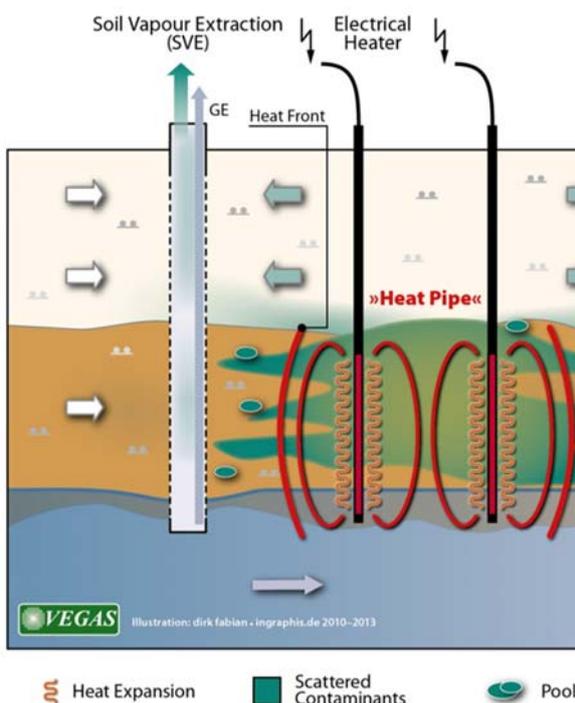
... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagssymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg

Kos
5

Einsatzbereiche Feste Wärmequellen



Einsatzbereiche

DNAPL und LNAPL, leicht- und schwerflüchtig,
Siedetemperaturen < 250°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 °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



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagssymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg

Kos
6

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

Jahr	Standort	Geologie/Hydrogeologie	Schadstoff	Beschreibung / Besonderheiten
1998 Pilot	Plauen ehem. Benzol-Verladestation	(UZ), sandiger Schluff, -2,5 bis -4,5 m über kiesig/sandigem GWL	BTEX	EU Projekt mit Sanierungsfirma
1998 – 2000 Pilot	Mühlacker ehemalige Sondermüll-deponie	(UZ), verwitterte Ton-/Mergelsteine (Gipskeuper) getrennt durch Schichtwasserhorizont (15m u. GOK, DRM-Aquifer bei 30 m u. GOK)	CKW	Modellvorhaben LfU Baden-Württemberg, Sanierungskonzept erstellt keine Umsetzung, Dep. gesichert
2004 Sanierung	Albstadt ehem. metallverarbeitender Betrieb	(UZ / GZ): schluffig/tonig (-3,8 m), durchlässiger Kalkstein (-5,6 m) ü. Mergelgestein	CKW	Schadensherd unter Gebäude, Sanierung durch Bodenplatte
2005 Pilot 2010/11 Sanierung	Karlsruhe-Durlach ehem. chem. Reinigung	(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 ehem. Hydrierwerk & Verladestation	(GZ, vadose, UZ), kiesig/sandig, Schlufflage, sandig/kiesig (-12 m) über Kohlekomplex	Benzol	Pilot. erfolgreich, Sanierungskonzept erstellt, keine Umsetzung / Auskoffnung

© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagensymposium 2017 Kos
05.-06.07.2017 Nürnberg 7

TIS: von der Forschung zur Anwendung

Jahr	Standort	Geologie/Hydrogeologie	Schadstoff	Beschreibung / Besonderheiten
2009 Pilot 2012 DLI - 08.2016, Abkühlphase, Kontrolle	Biswurm ehemalige Verbrennungsanlage	(GZ, vadose, UZ), geklüfteter Sandsteinaquifer, 3 - 18 m u. GOK (Tonstein bis -21 m)	CKW	Erfolgr. Pilotierung Basis für Sanierungsplanung, Sanierung: → Überraschungen und „lessons learned“. Seit 08.2016 Abkühlphase
2010 / 2013 / 2018 San. Laufend	Oberursel Ehemaliger Chemikalienhandel	(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)
2013 / 2015 / 2016 Pilot / Sanierung	Sindelfingen unter Parkhaus Drainage ehem. Chemielager	(UZ und GZ) tonige schluffig mit Torfanteil 2 – 16 m u. GOK	CKW	Feasibility / Pilotierung, abschnittsweise Schadenherdentfernung
2012 – 2013 Pilot 2014 Sanierung	Stuttgart EU-Projekt CityChlor: „Stuttgarter Str.“	(UZ und GZ), tonig-dichter Keuper und DRM, unterliegend Gipskeuper Aquifer 2 - 8 m u. GOK	CKW	Pilot, feste Wärmequellen, Wiss. Begleitung abgeschl. 07.2013, Sanierung 12/13 – 05/2014 (o. VEGAS)
2012 Feasibility 2015 – 2016 Sanierung	Bad Liebezell Campingplatz im Nagoldtal, Schwarzwald	(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

© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagensymposium 2017 Kos
05.-06.07.2017 Nürnberg 8

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



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



Stephan Denzel, dplan, Karlsruhe

Stadt Karlsruhe
Umwelt- u. Arbeitsschutz



Claudia Purkhold, Stadt Karlsruhe, Umwelt- und Arbeitsschutz



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



altlastenforum
Boden-Württemberg e.V.
Flächensanierung, 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

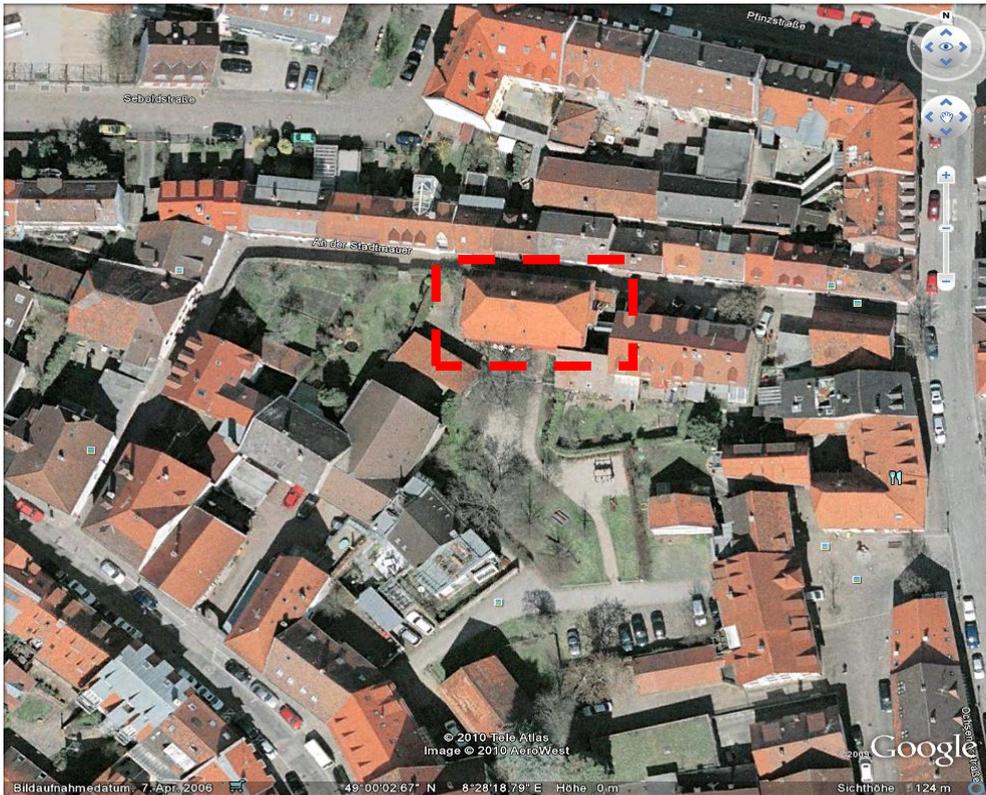


Heutige Nutzung
Galerie und
Rahmenladen



© VEGAS

Pilot-Standort Karlsruhe Durlach



© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?

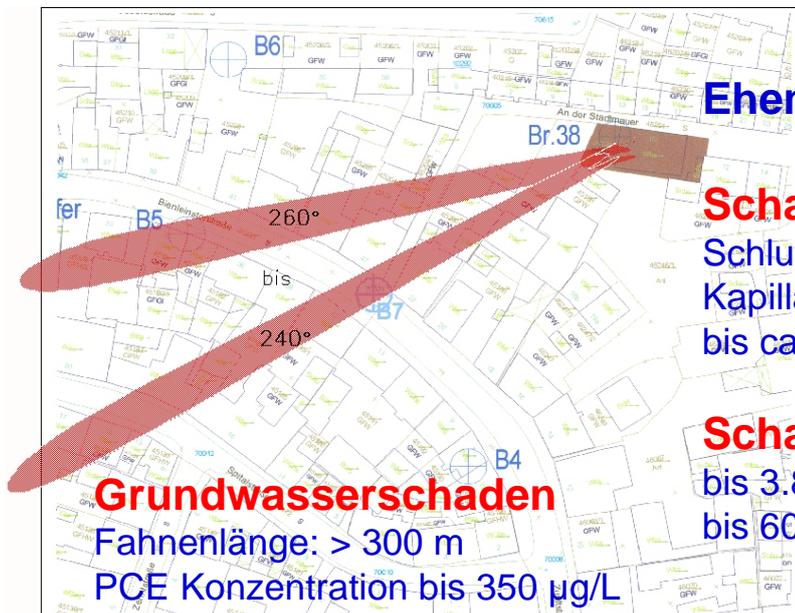


Altlastensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg Kos 11

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

Grundwasserschaden

Fahnenlänge: > 300 m
PCE Konzentration bis 350 µg/L

Schadstoffgehalte

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

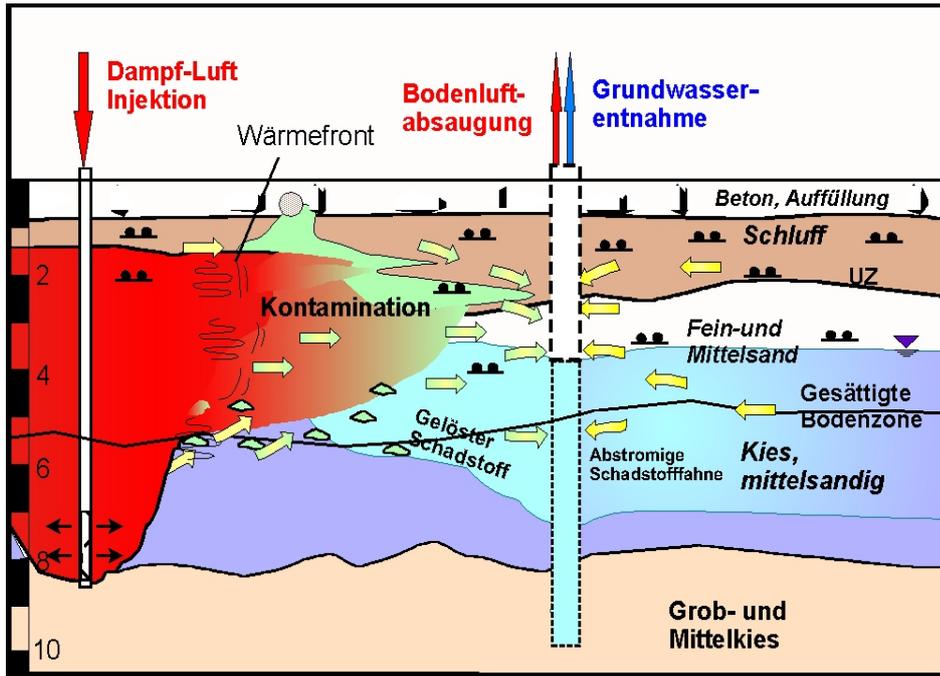
© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Altlastensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg Kos 12



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

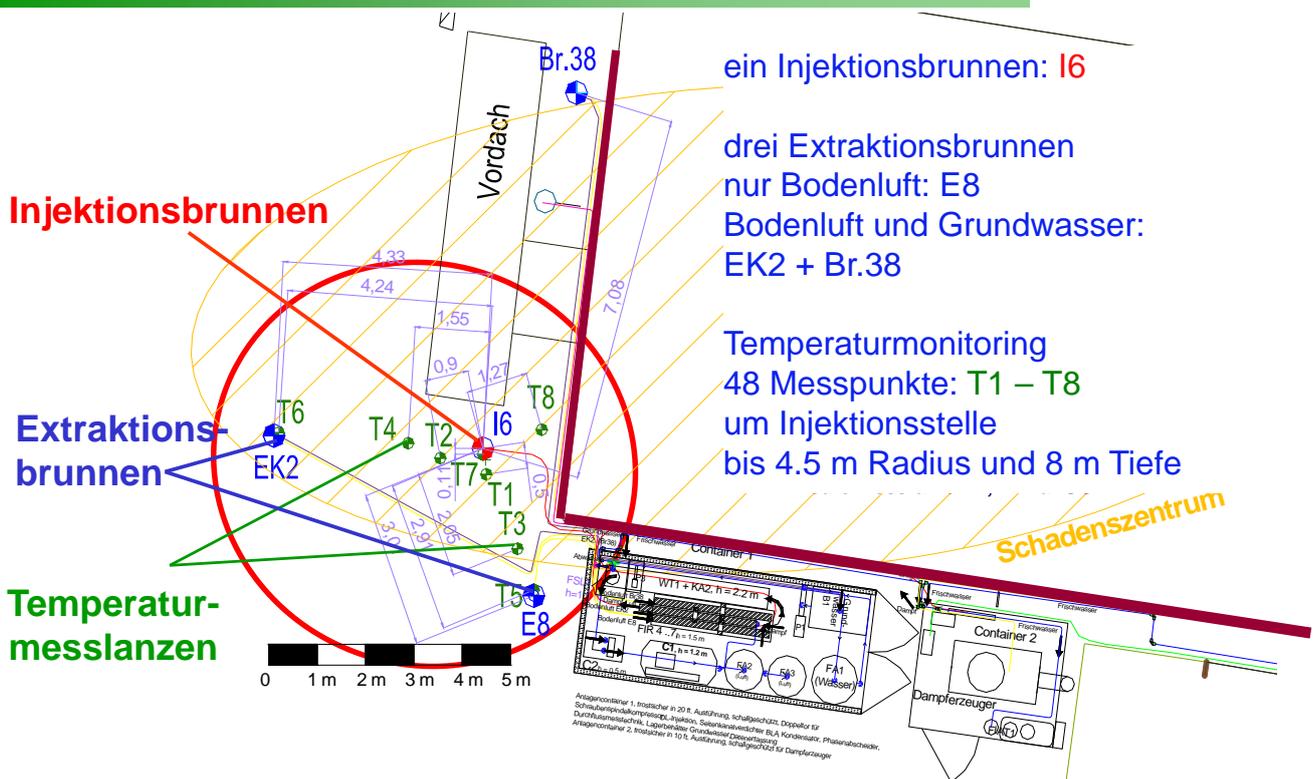


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg
Kos 13

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

© O. Trötschler, H.-P. Koschitzky

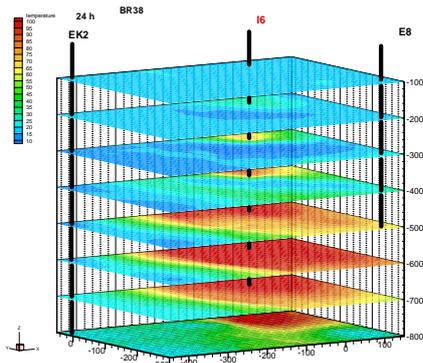


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?

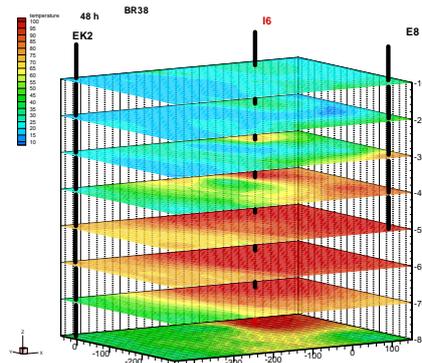


Alltagensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg
Kos 14

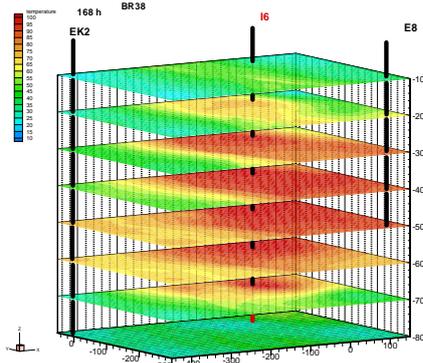
Dampfausbreitung - Temperaturmessungen



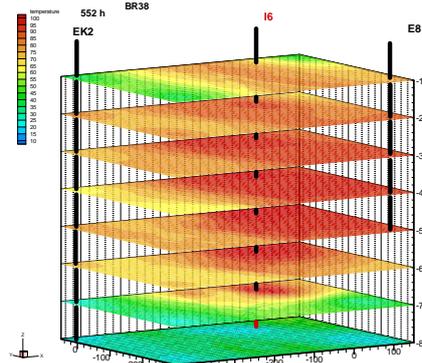
1 Tag
(15.)



2 Tag
(16.)



7 Tage
(21.)



21 Tage
(35.)

© VEGAS

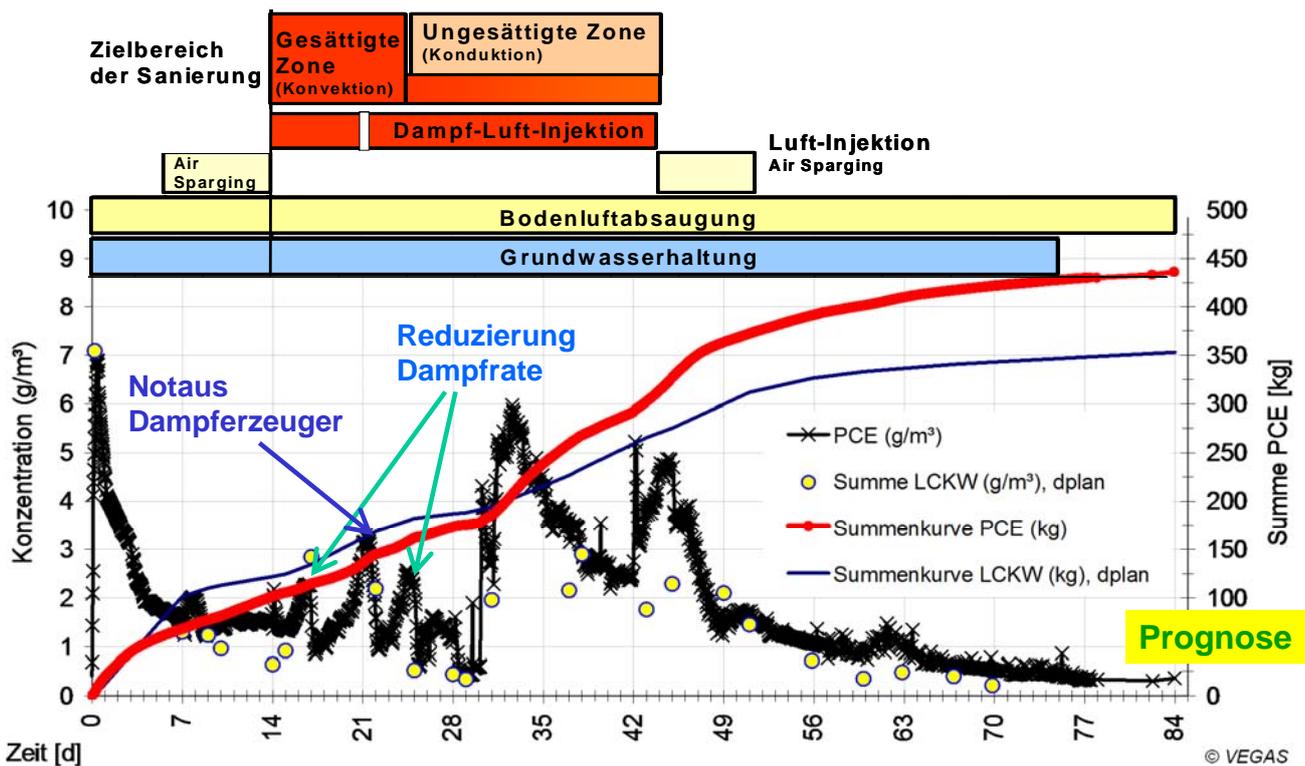


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg
Kos 15

Massenbilanz Schadstoffaustrag



© VEGAS



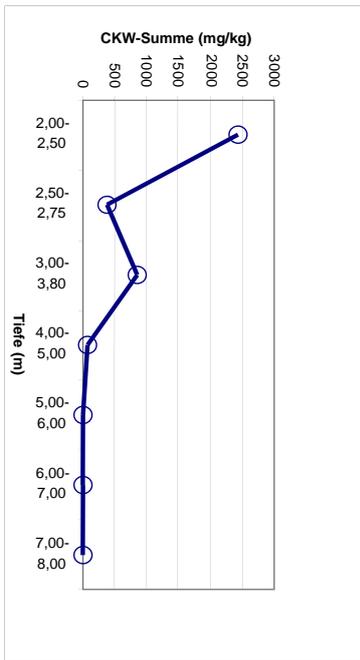
... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



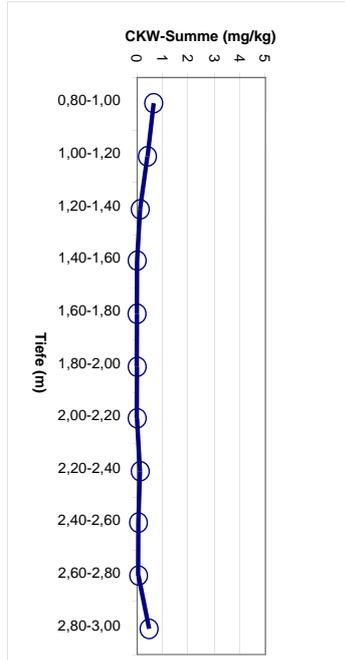
Alltagensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg
Kos 16

Bodenproben vor & nach Pilot-Sanierung

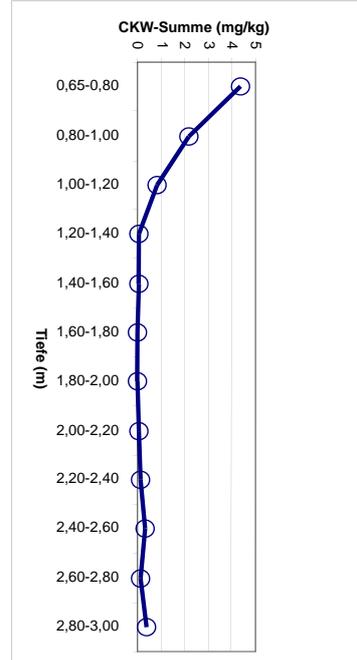
Sondierung Injektionsbr. I6 vor Pilot-Sanierung



Sondierung 1,5 m Abstand zu I6 nach Pilotierung



Sondierung 3 m Abstand zu I6 nach Pilotierung



© VEGAS

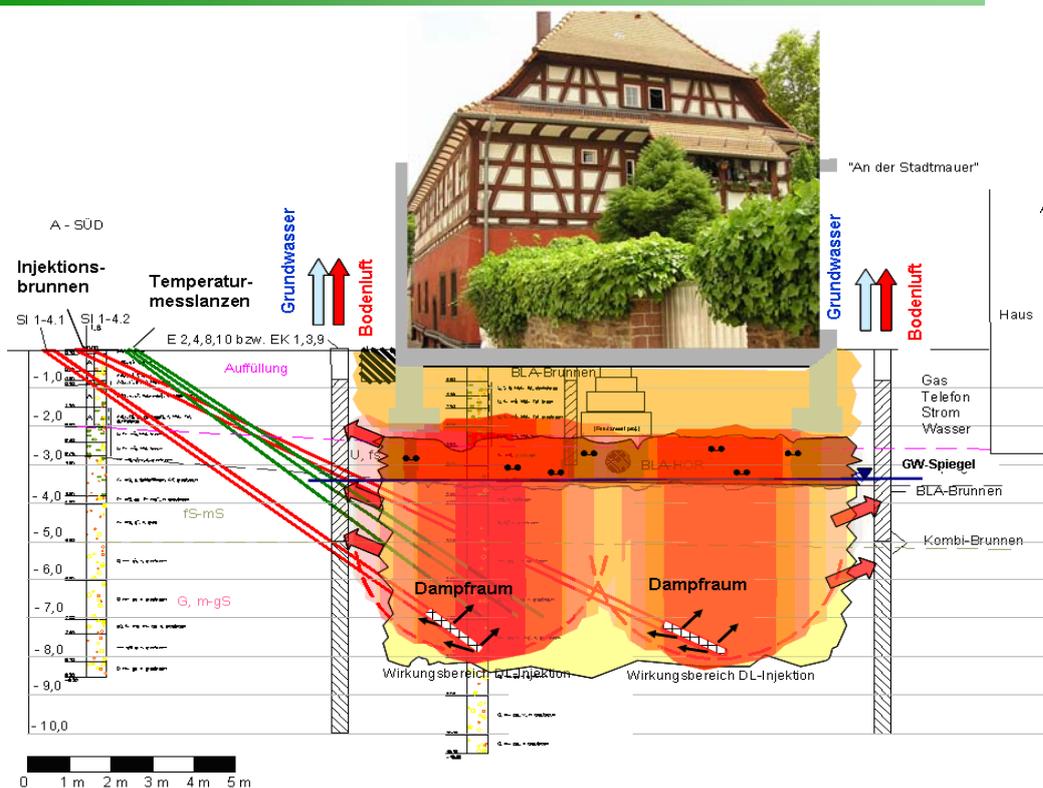


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagssymposium 2017 Kos
05.-06.07.2017 Nürnberg 17

Realisierung DLI unter dem Gebäude

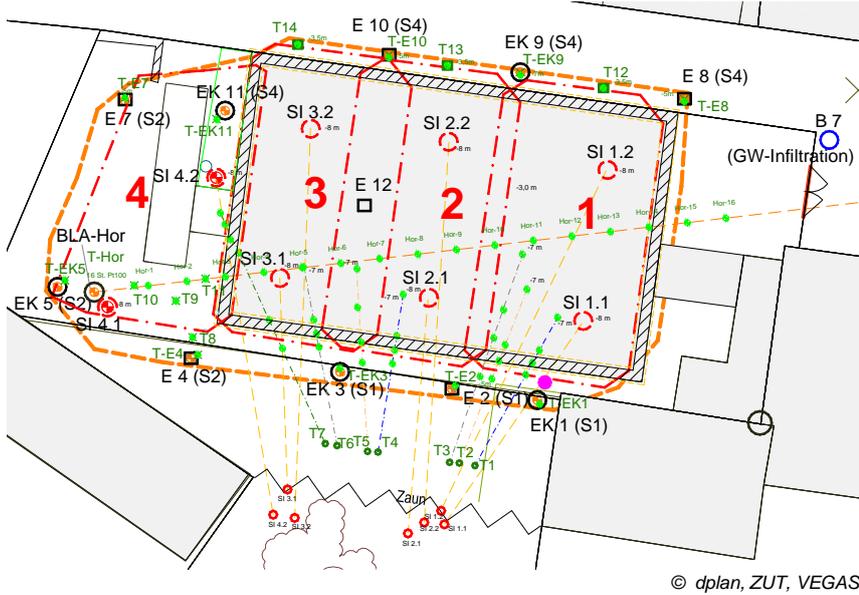


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagssymposium 2017 Kos
05.-06.07.2017 Nürnberg 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



dplan
dplan gmbh



© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Altlastensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg
Kos 19

Betrieb Mai - Juli 2010

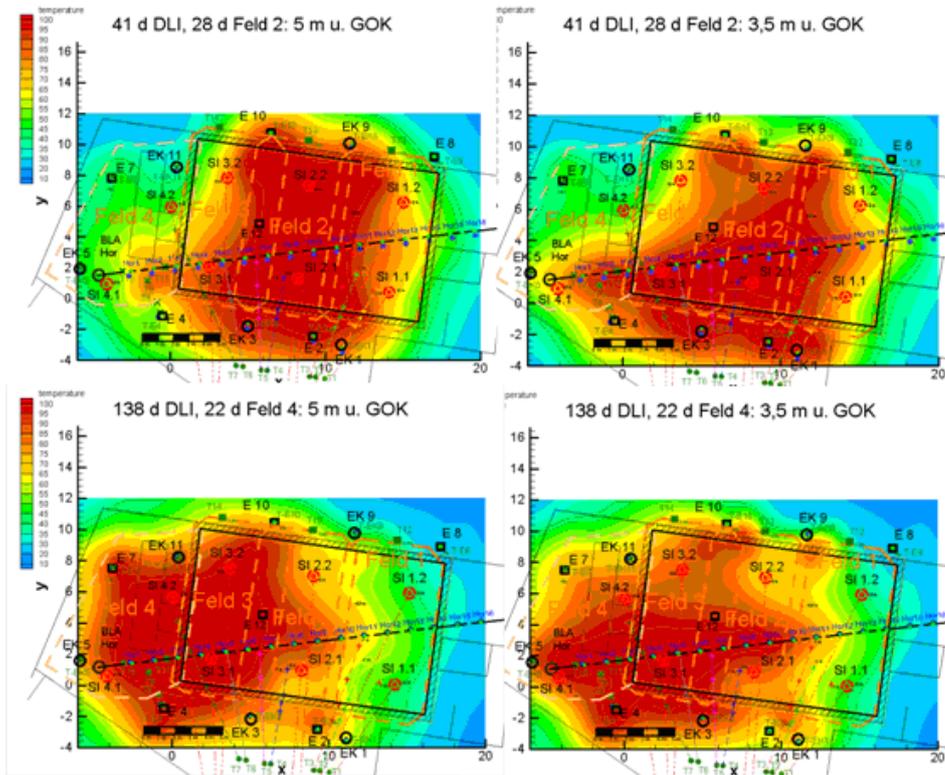


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Altlastensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg
Kos 20

Temperaturausbreitung



© VEGAS

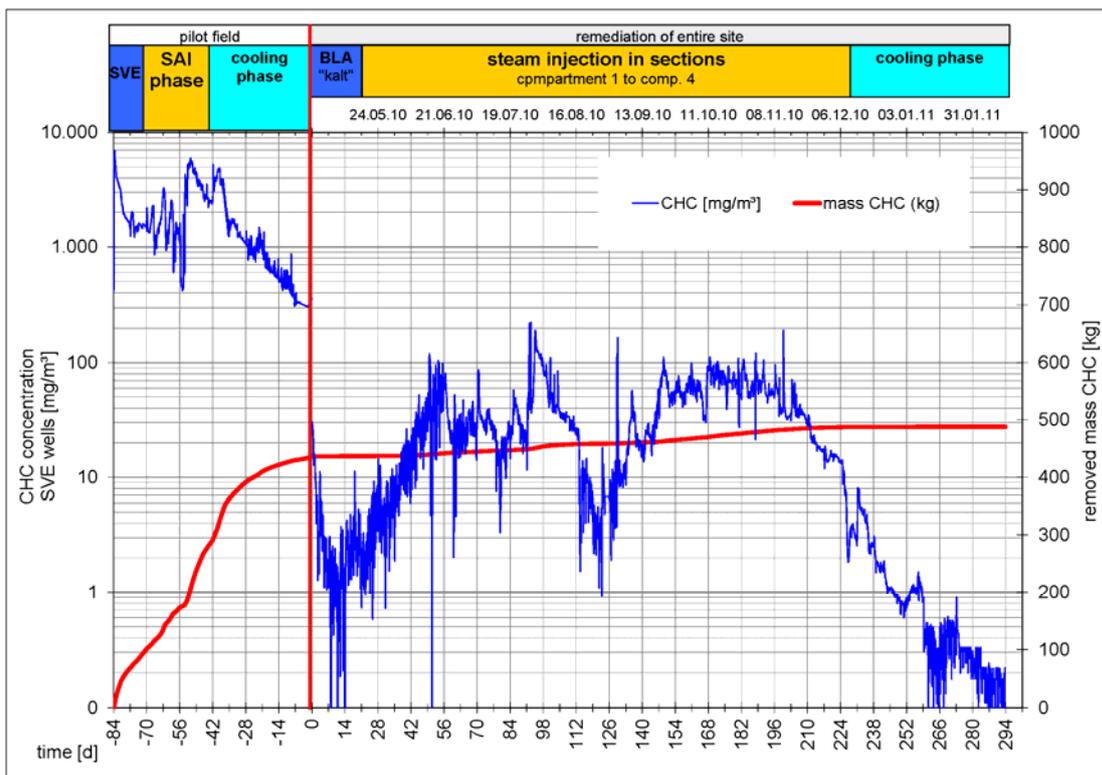


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagensymposium 2017 Kos
05.-06.07.2017 Nürnberg 21

Schadstoffaustrag Bodenluft



© VEGAS

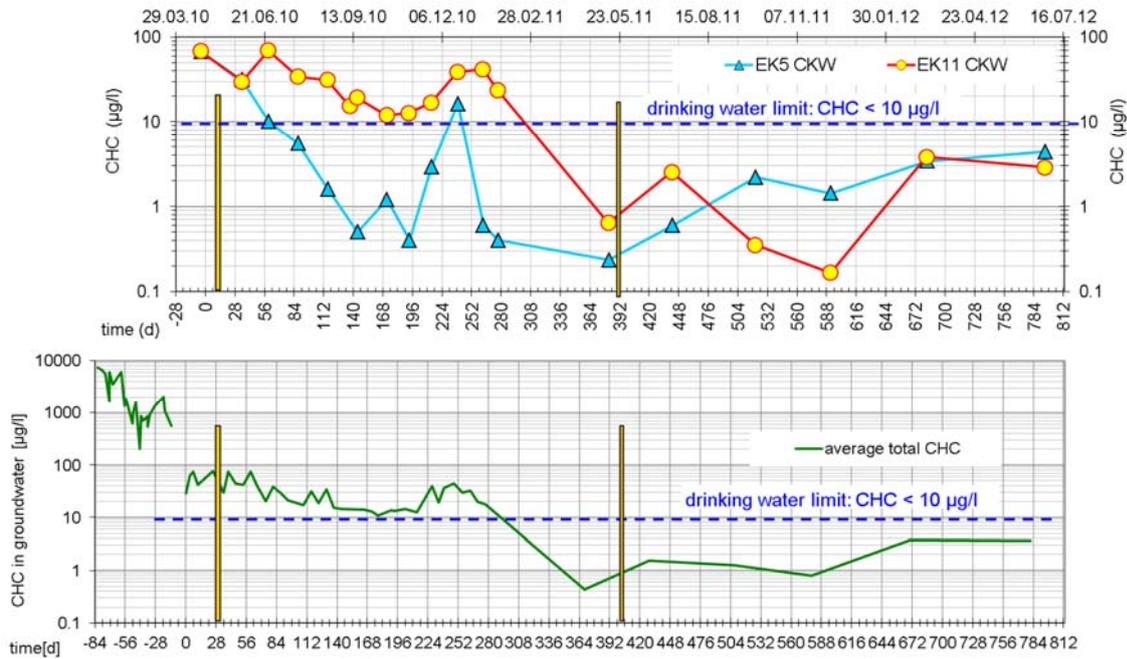
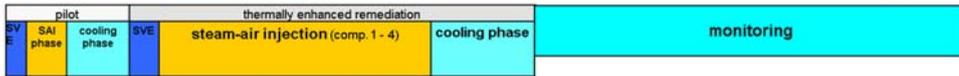


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagensymposium 2017 Kos
05.-06.07.2017 Nürnberg 22

Entwicklung der CKW - Konzentrationen im Grundwasser



© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg Kos 23

Ehemaliges Industriegelände Standort Zeit: Ehemalige Benzolanlage – Pilotanwendung

Erfahrungen mit der thermischen Sanierung mittels Dampf-Luft-Injektion am Beispiel der Pilotanwendung bei einem Benzolschaden am Standort Zeit

Hans-Peter Koschitzky¹
Oliver Trötschler¹ & Berit Limburg¹
Markus Hirsch², Holger Weiß²

¹ VEGAS, Universität Stuttgart,

² Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Leipzig



Ehemalige Hydrierstation Standort Zeitz



© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagssymposium 2017 Kos
05.-06.07.2017 Nürnberg 25

Bereich Testfeld, Benzolanlage und Verladestation



HELMHOLTZ
ZENTRUM FÜR
UMWELTFORSCHUNG
UFZ

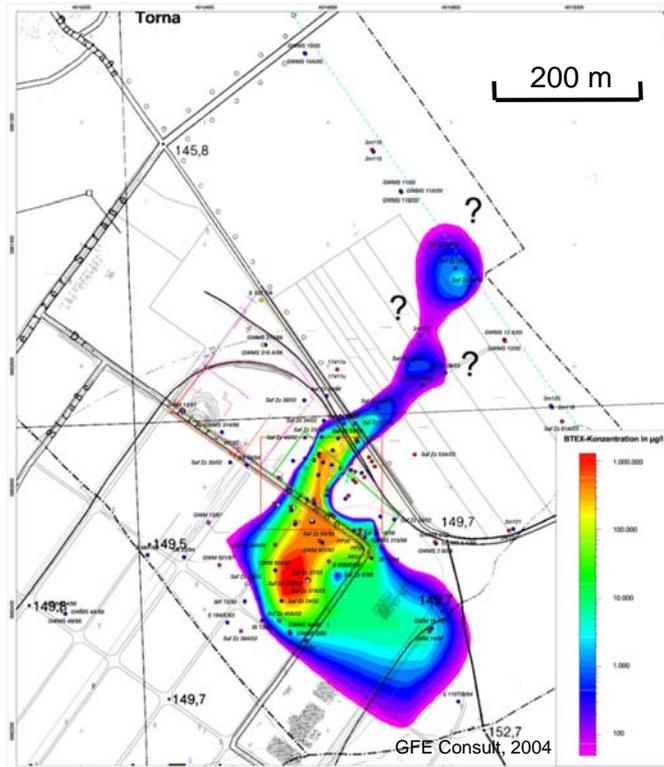


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagssymposium 2017 Kos
05.-06.07.2017 Nürnberg 26

BTEX Quelle und Abstromfahne



HELMHOLTZ
ZENTRUM FÜR
UMWELTFORSCHUNG
UFZ



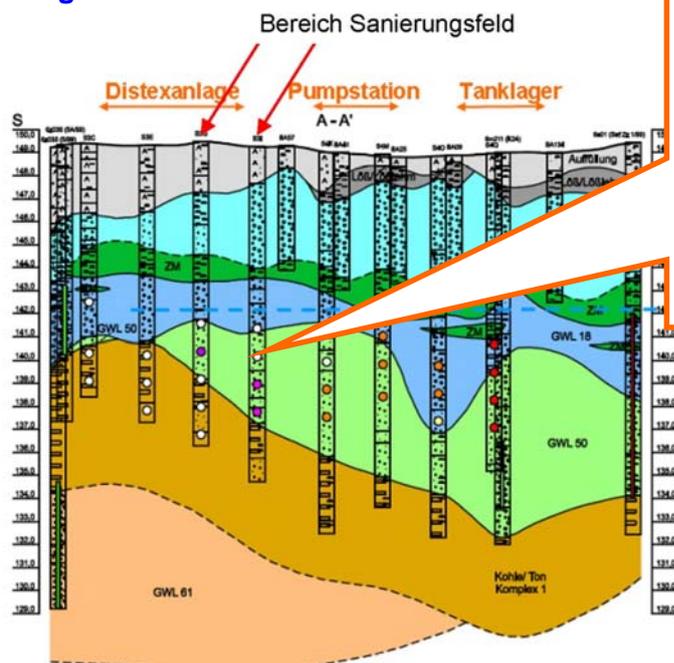
... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg
Kos 27

Geologie und Schadstoffverteilung

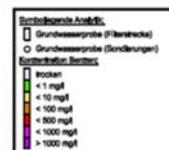
Ehemalige Benzolfabrik. Betriebseinrichtungen,
Tanklager und Bahnverladestation



Vertikale Ausbreitung der
Kontamination: 3 – 12 m u. GOK

Ungesättigte Zone (3 – 5 m u- GOK):
bis zu 3,5 g Benzol/kg Boden

Gesättigte Zone:
GW-Schwankungsbereich: 0,9 g/kg
oberer GW-Leiter: 0,8 g/kg
Braunkohleschicht: 0,3 g/kg
Grundwasser: bis zu 1,1 g/L Benzol



Profilschnitt und Benzolkonzentrationen im Bereich der Pilotanwendung (Weiß, UFZ Leipzig)

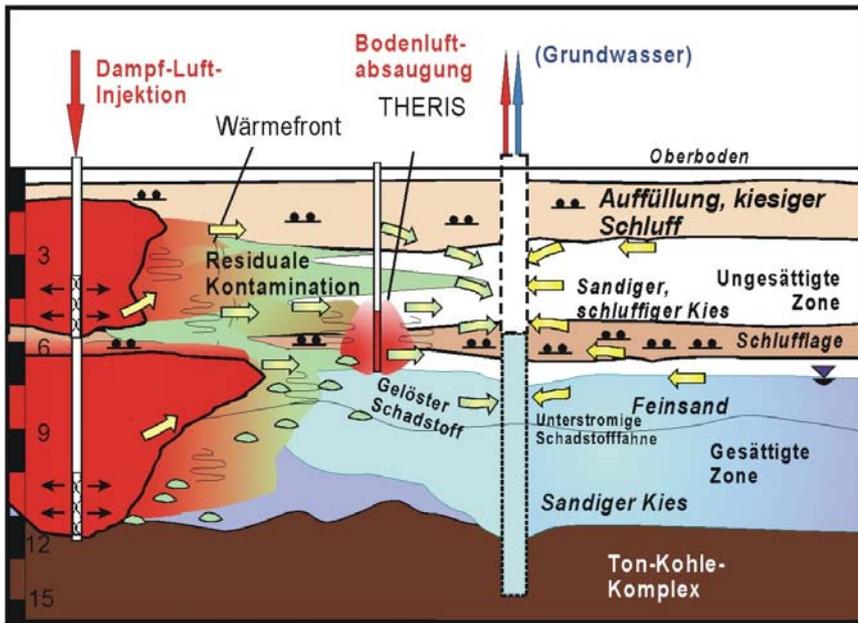
© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg
Kos 28



- Injektion Dampf-Luft auf zwei Ebenen
 - oberhalb Schlufflage
 - ungesättigte Zone
 - oberhalb Ton-Kohle-Komplex
 - gesättigte Zone und Schlufflage über Konvektion
- BLA-Rate ~ 2 x DLI-Rate
- GW-Haltung gering (0,5 m³/h)

© VEGAS

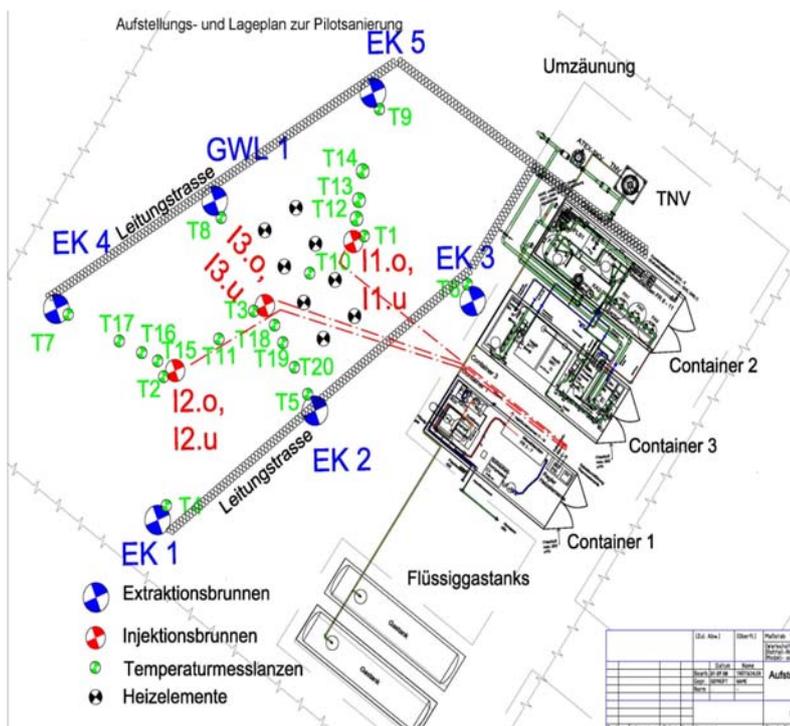


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagssymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg Kos 29

Testfeld



- 3 Injektionsbrunnen (2 Teufen)
- 6 BLA-Brunnen mit GW-Haltung
- 8 elektrische Heizelemente (1,5 kW, „Feste Wärmequelle“)
- 20 Temperaturmesslanzen (Pt100) auf Messachsen und im Ringraum der Brunnen zur Temperaturüberwachung
→ insgesamt 121 Messstellen

© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagssymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg Kos 30

Eindrücke vom Testfeld



© VEGAS

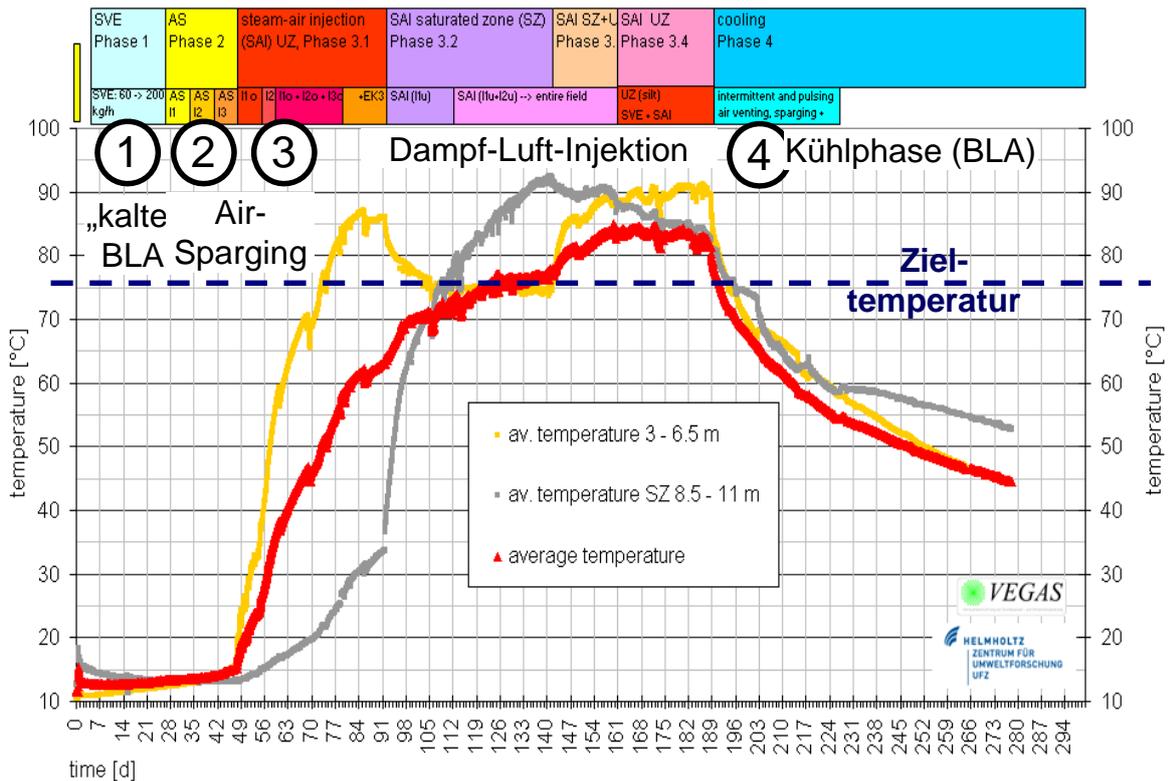


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg
Kos 31

Erwärmung im Sanierungsfeld



VEGAS

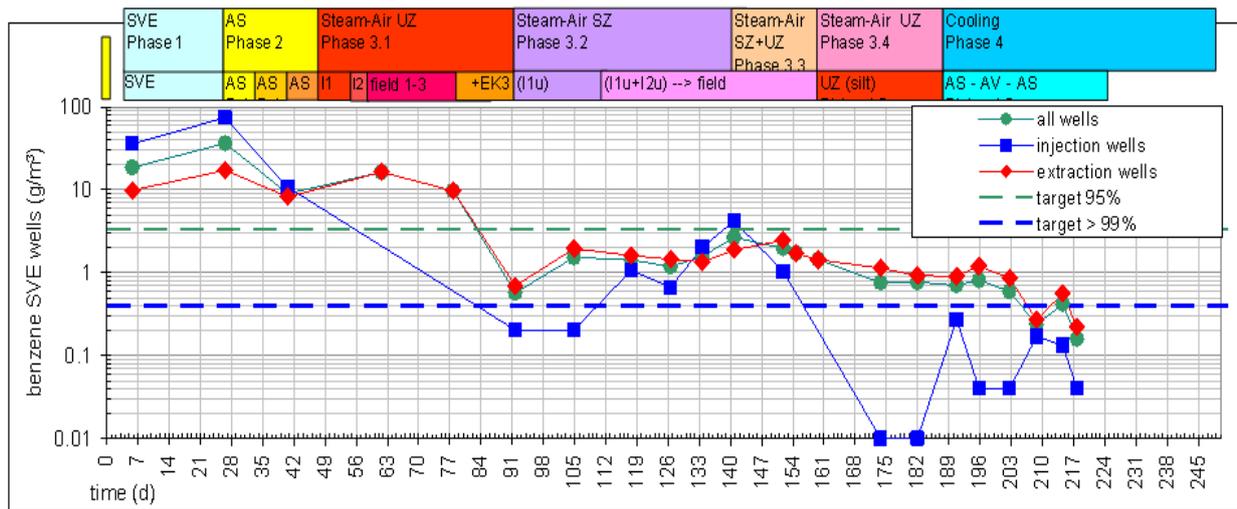


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg
Kos 32

Benzol-Konzentration in Bodenluftabsaugung



- Rückgang der Benzolgehalte um 99%
- Minderung der Benzolgehalte im Boden > 99% (basierend auf Gleichgewichts-berechnung Bodenluft-Porenwasser-Boden (K_{oc} -Methode): 0,16 mg Benzol / kg Boden)
- Bodenprobenahme (Mai 2008): **0,1 mg/kg für UZ** (von 3.500 mg/kg Boden) und **0,5 mg/kg für GZ** (von 900 mg/kg Boden)

© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltlastensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg

Kos
33

Ehemalige Verbrennungsanlage Biswurm – CKW im Kluffgestein, Pilotierung

Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein: „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 Alltlastensanierung, 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



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?

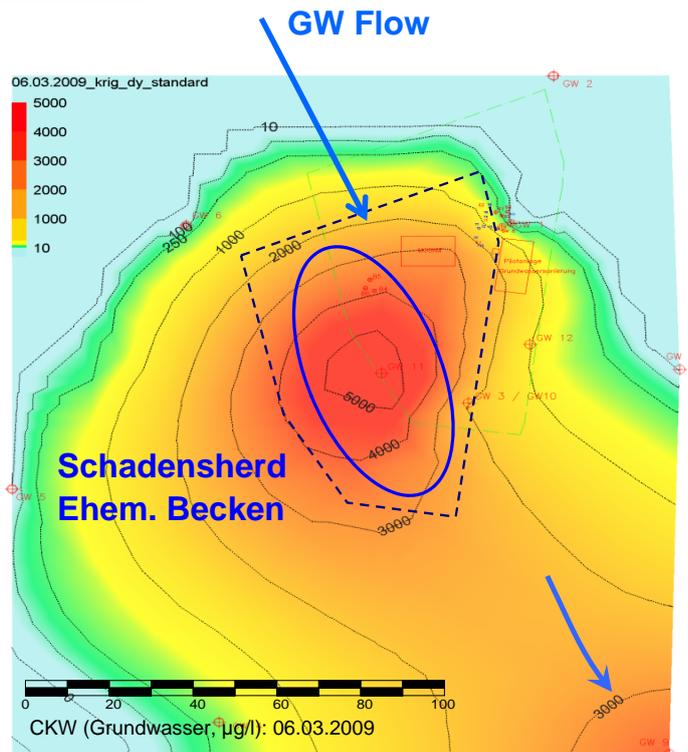


Alltlastensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg

34

Schadensbild 2007 / 2009

- ➔ ca. 2.900 m² Kernbereich bzw. 43.000 m³ Kluftgestein (CKW-Schadensquelle)
- ➔ 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

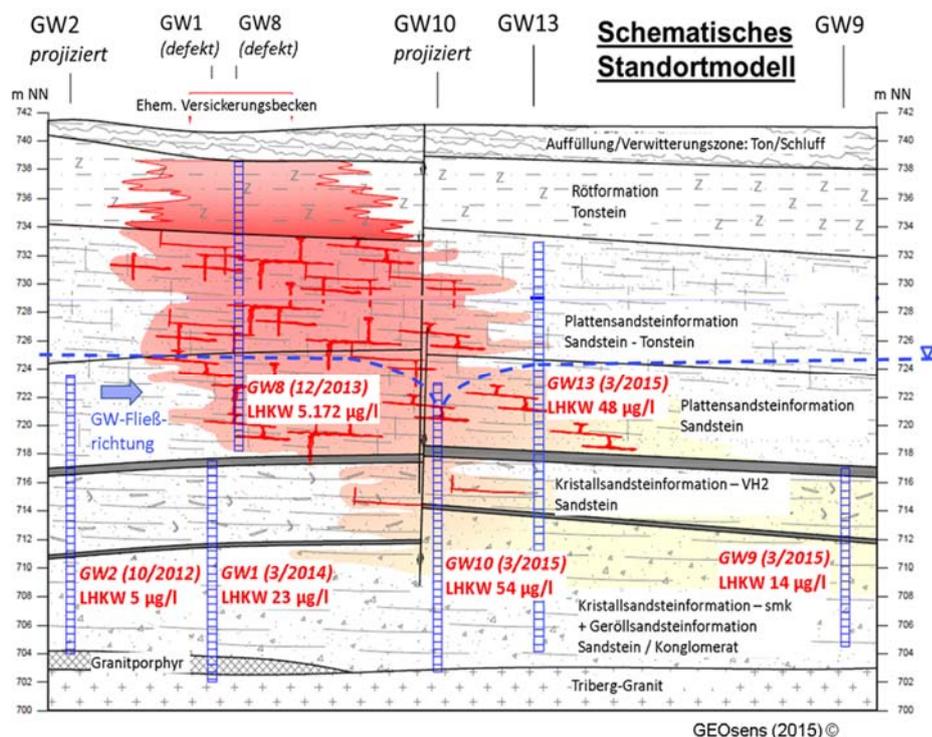


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagstagsymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg Kos 35

Geologie und Schadensbild in einem Kluftaquifer



GEOsens (2015) ©

Komplexer, geklüfteter
Festgesteinsaquifer

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

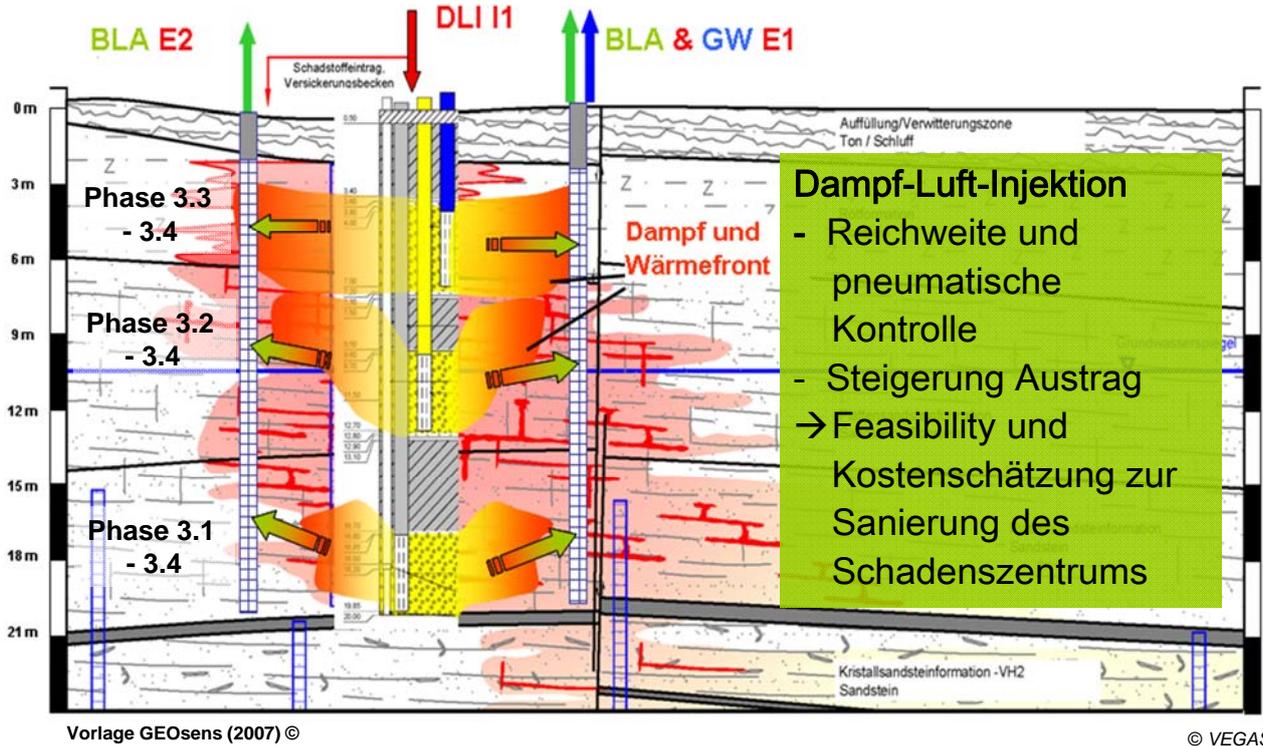
© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagstagsymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg Kos 36



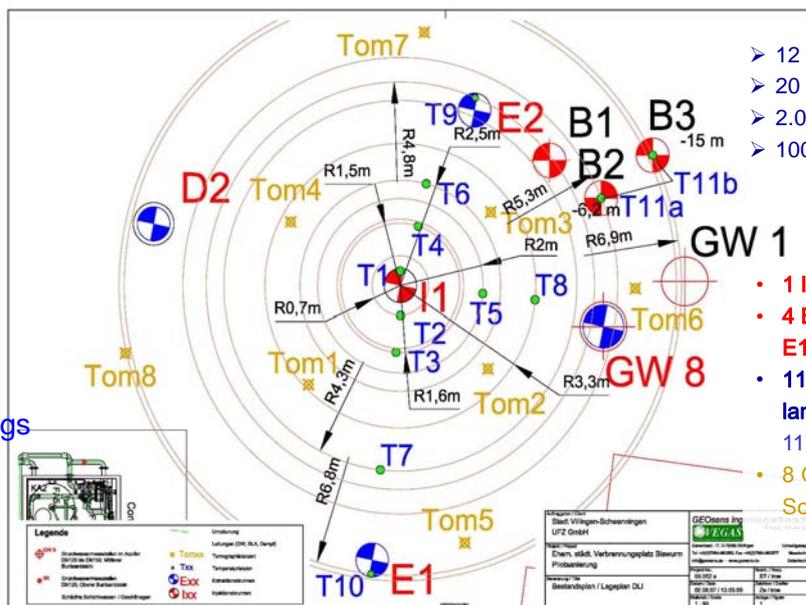
... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagstagsymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg
Kos 37

Pilotanwendung Biswurm

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



- 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



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagstagsymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg
Kos 38

Eindrücke vom Testfeld



© VEGAS



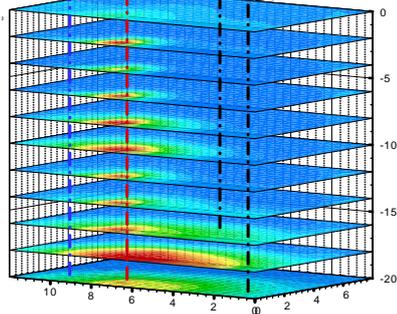
... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



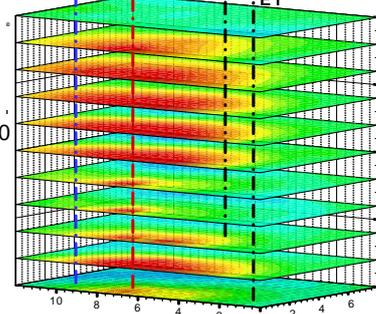
Alllastensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg Kos 39

Überblick Wärmeausbreitung

600 h E2 I1 GW8 E1 25 Tage DLI

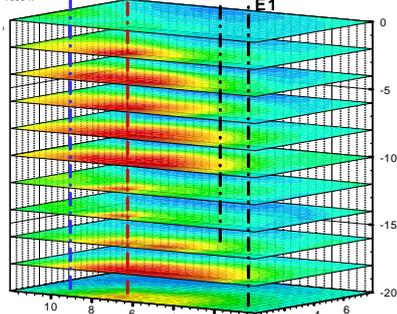


2472 h E2 I1 GW8 E1 103 Tage DLI

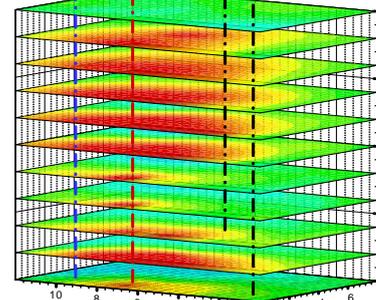


Thermische Reichweite
GW-Höhe und UZ:
größer 5 m Radius

1680 h E2 I1 GW8 E1 70 Tage DL



3120 h E2 I1 GW8 E1 131 Tage DLI



Thermische Reichweite
an Aquiferbasis:
2 – 3 m Radius

© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



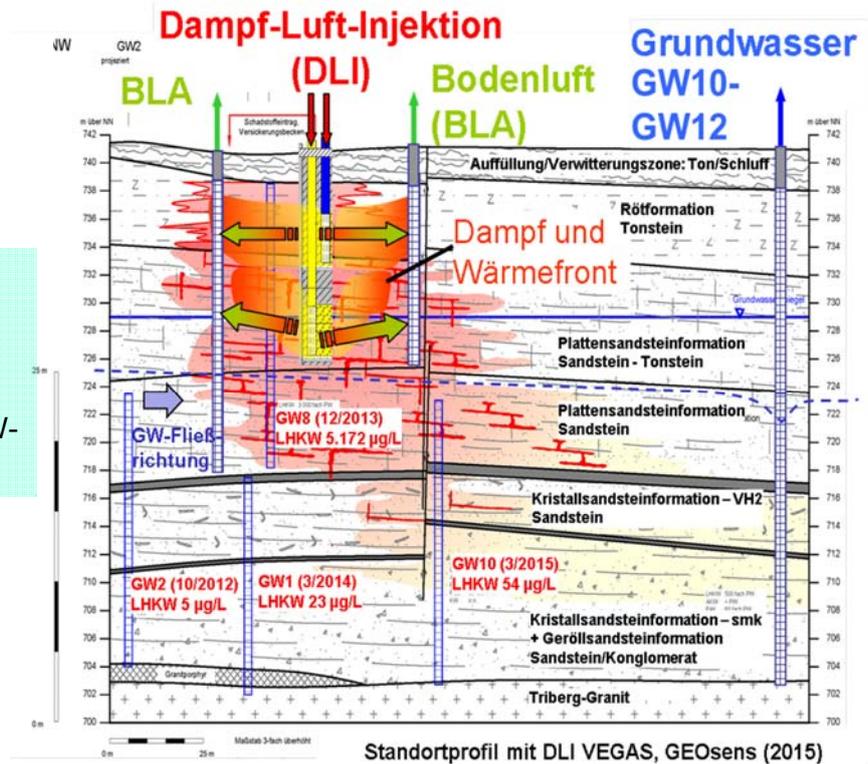
Alllastensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg Kos 40

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)



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?

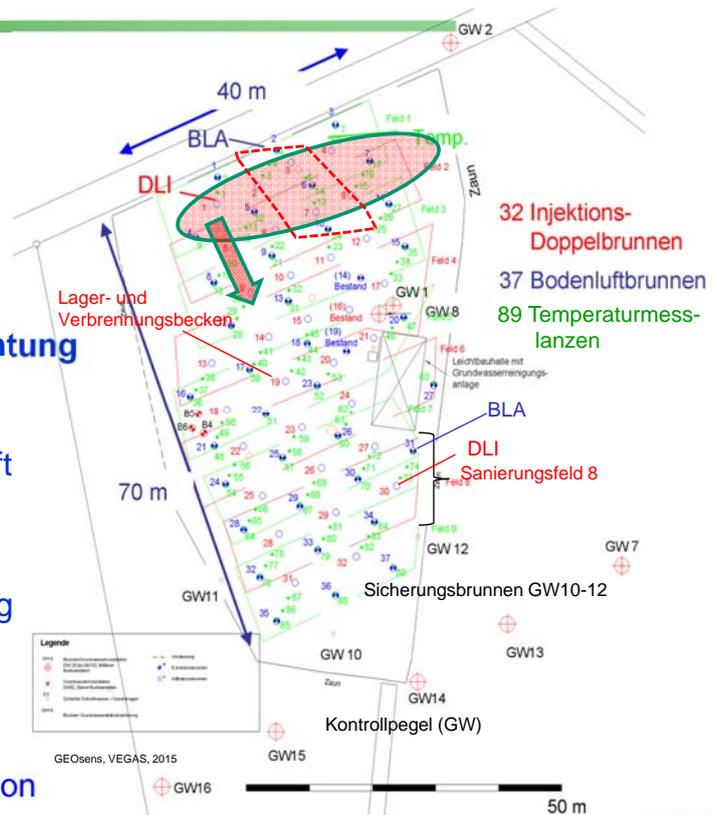


Alltagensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg

Kos
41

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**
- **36 Monate** thermische In-situ-Sanierung mit 33 Monaten Dampf-Luft-Injektion



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg

Kos
42



© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagssymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg Kos
43

Planung und Realität der Dampf-Luft-Injektion

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, ges. ca. 7 Monate

→ **März 2017:**
derzeit Abschluss und „S-Kontrolle“

© VEGAS



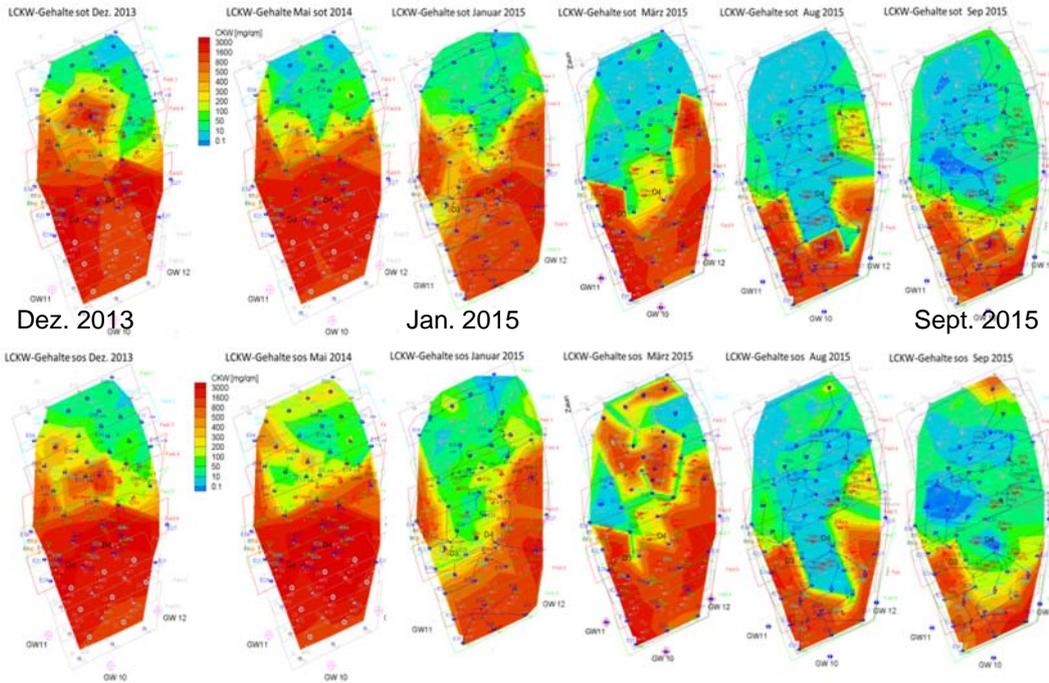
... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagssymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg Kos
44

Sanierungsfortschritt LHKW (Dez 2013 → Sept 2015)

LCKW Bodenluftbeprobung Sand- und Tonsteinlage bis 8 m u. GOK



Wasser- und Wärmespeicherung lange Austrags- und Desorptionsdauer aus Ton- und Sandstein

- ➔ Verfrachtung Schadstoffe über Klüfte
- ➔ Ausweitung Absaugleistung

LCKW Bodenluftbeprobung Sandsteinlage 11 - 15 m u. GOK

© VEGAS

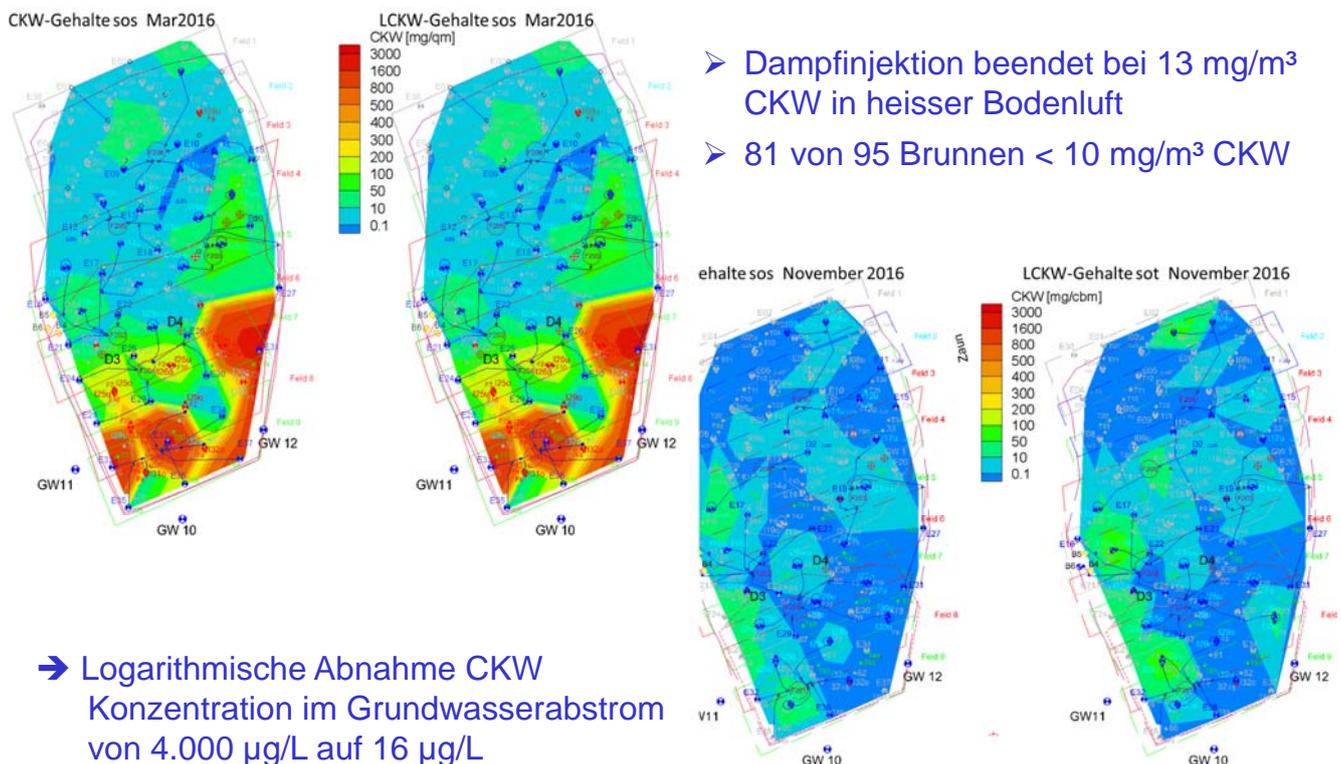


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagssymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg Kos 47

Schadstoffverteilung in Bodenluft bis zum Ende DLI



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

➔ Logarithmische Abnahme CKW Konzentration im Grundwasserabstrom von 4.000 µg/L auf 16 µg/L

© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alltagssymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg Kos 48

Laufende Sanierung Biswurm



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?

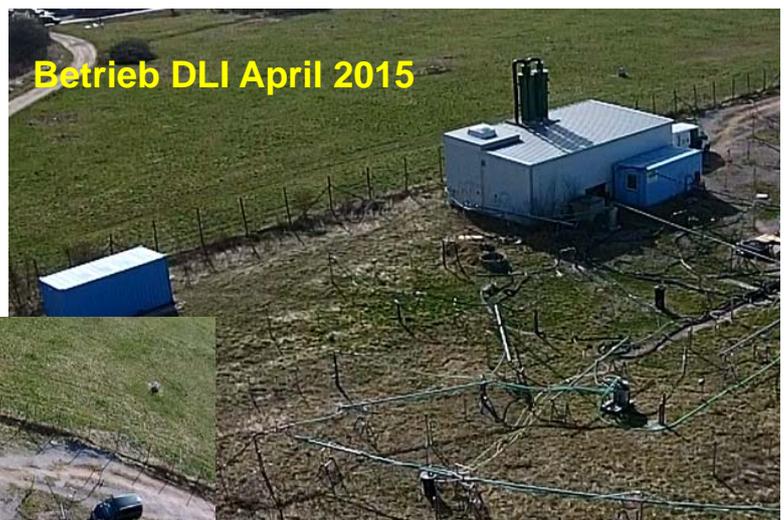


Altlastensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg

Kos
49

Blick auf das Sanierungsfeld

Betrieb DLI April 2015



© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Altlastensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg

Kos
50

- **LHKW Austrag über BLA ist dominant:** 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** (unter der Annahme, dass Schadstoffaustrag konstant bleibt)
-
- ➔ **Sanierung des Festgesteins mittels DLI effektiv**
 - ➔ **Kontroll- und steuerungsintensiv**
 - ➔ **Anpassung des Sanierungsbetriebs an Sanierungsfortschritt erfordert Flexibilität**

© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?

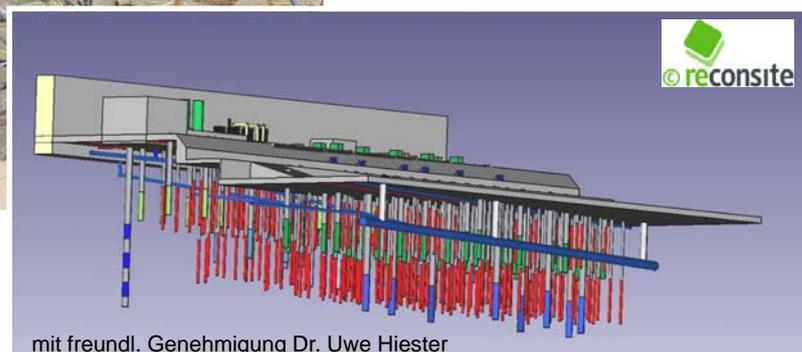


Altlastensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg Kos 51

Feste Wärmequellen



CKW (BTEX) Sanierung



mit freundl. Genehmigung Dr. Uwe Hiester

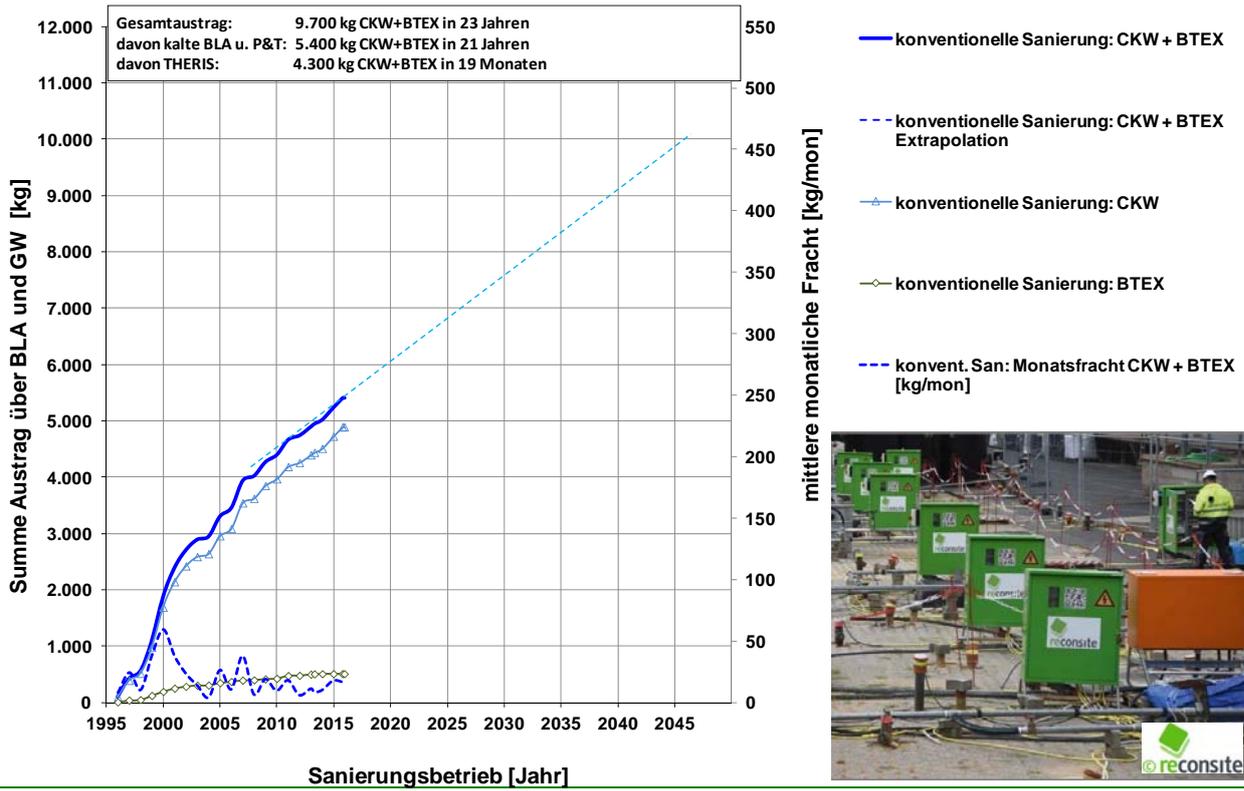


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Altlastensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg Kos 52

Konventionelle BLA und P&T

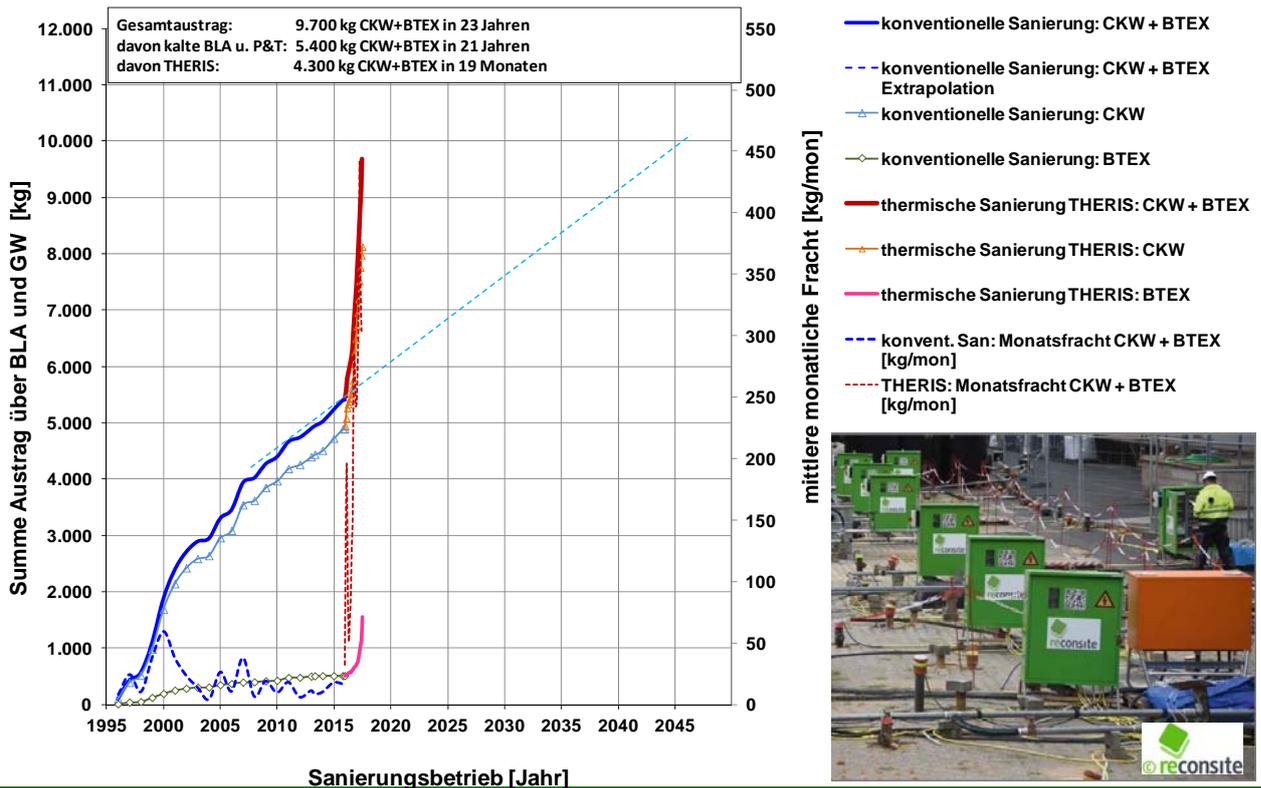


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
 - wo stehen wir heute?



Altlastensymposium 2017
 05.-06.07.2017 Nürnberg Kos 53

Konventionelle BLA, P&T → Thermische Sanierung

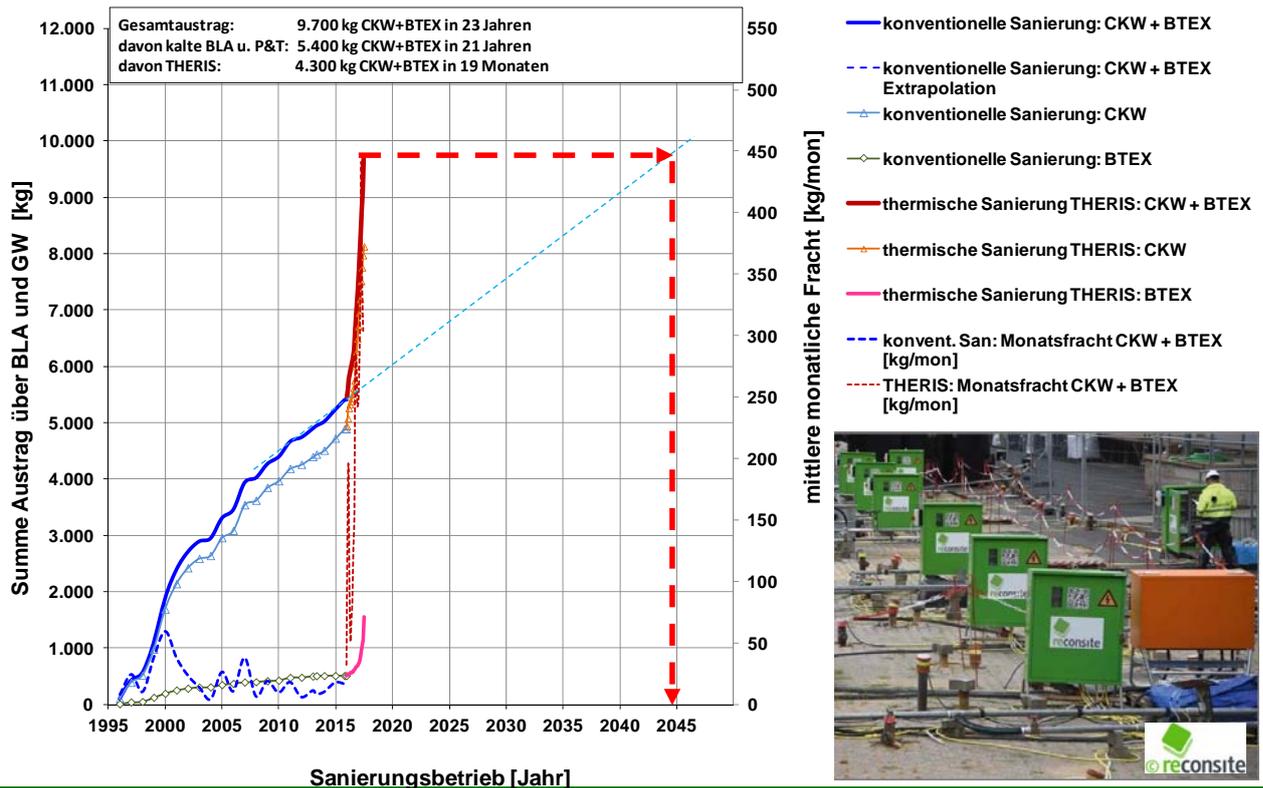


... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
 - wo stehen wir heute?



Altlastensymposium 2017
 05.-06.07.2017 Nürnberg Kos 54

Konventionelle BLA, P&T → Thermische Sanierung



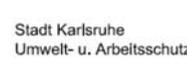
... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
 - wo stehen wir heute?



Altlastensymposium 2017
 05.-06.07.2017 Nürnberg
 Kos 55

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**



© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
 - wo stehen wir heute?



Altlastensymposium 2017
 05.-06.07.2017 Nürnberg
 Kos 56

- TIsS werden weltweit zunehmend (sehr erfolgreich) angewendet
- Erfolg ist maßgebend an sorgfältiger Erkundung und detailliertes Konzeptionelles Standortmodell gekoppelt
- Vollständige und nachhaltige Sanierung von Schadensherden innerhalb definierten und bestimmbarer Zeiträume (mit gewissen Bandbreiten) möglich
- „intensive“ Sanierungsbegleitung und -steuerung (Online-Datenerfassung, Anlagensteuerung) erforderlich
- **TIsS sind einzige Verfahren bei denen sanierungsbegleitend Austrag erfasst und eine Sanierung (Sanierungserfolg) messtechnisch nachgewiesen werden kann**
- Expertenwissen ist erforderlich, international einige Anbieter (Spezialisten)
- Garantie des Sanierungserfolg ist möglich (Vertraglich regelbar)

© VEGAS



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alllastensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg

Kos
57



... 20 Jahre thermische In-situ-Sanierung
- wo stehen wir heute?



Alllastensymposium 2017
05.-06.07.2017 Nürnberg

Kos
58