

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren - Entwicklungen und Ausblick -

Hans-Peter Koschitzky
und viele VEGAS Kollegen



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



32. Dienstbesprechung Altlasten
des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft
mit den unteren Bodenschutz- und Altlastenbehörden
am 10./11. Oktober 2018 in Altensteig-Wart

Was können Sie erwarten

- Ausgangssituation / Veranlassung
- Forschungs- und Entwicklungsbedarf
- Innovative In-situ-Sanierungsverfahren / -methoden
- Von der Entwicklung zur Umsetzung in die Praxis:
Beispiel für Technologietransfer
 - Modellstandort „Mühlacker“: **Pilotierung**
 - Ehemalige chemische Reinigung in „Karlsruhe Durlach“, innenstädtisch, bewohntes Gebäude: **Pilotierung und Sanierung**
 - Ehemalige Verbrennungsanlage Biswurm – CKW im Kluftgestein: **Pilotierung und Sanierung** ➔ „Lessons learned“
 - Ehemaliges Fotoapparatewerk in „Bad Liebenzell“ – Campingplatz Sanierung CKW-kontaminierten Standort mit hohem Grundwasserstand: **Feasibility und Sanierung**
- **Fazit - Ausblick**

© VEGAS



Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018
Kos 2

Ausgangssituation / Veranlassung

- **Anfang der 80ziger Jahre:**
 - Kontaminationen in Trinkwasserfassungen ➔ Gefährdungspotential von Altlasten wurde deutlich.
 - Erste Schätzungen 240.000 Verdachtsflächen in der Bundesrepublik (ca. 35.000 in BW)
 - Mit „bekanntem“ Sanierungstechnologien: Schätzung Finanzbedarf für Sanierung >> 100 Mrd. DM, Zeiträume ??
- **Ende der 80ziger Jahre:**
 - Vorschlag Prof. Helmut Kobus: **Einrichtung von VEGAS** (Finanzierung von Bund und Land BW), ,
- **1995: Beginn Forschungsbetrieb bei VEGAS**
- **1997: VEGAS (3.) Statuskolloquium:**
 - Ministerialdirigent Peter Fuhrmann: „landesweit historische Erhebung auf 90 % der Landesfläche in Arbeit bzw. abgeschlossen, **32.000 aktuelle Verdachtsflächen** sind erfaßt, 11.000 Fällen Bewertungen durchgeführt, **6.130 Fälle in der Einzelfallbearbeitung**
 - **9 Modellstandorte und 8 Modellvorhaben**, 56 Mio DM in die Erprobung **innovativer Techniken** und wirtschaftlicher Verfahren investiert, technischen Möglichkeiten wurden erheblich verbessert
 - Auf der Habenseite zu verbuchen: die „Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung **VEGAS**“ die der **Technologieentwicklung** und der Grundlagenforschung im Altlastenbereich... dient.
 - Bewältigung Altlastenproblematik in BW in den nächsten 10-20 Jahren sind mit zwei bis drei Milliarden DM zu veranschlagen
- **2015: Zitat aus Pressemitteilung LUBW**
 - Ein Blick in die Statistiken zeigt, welch zahlreiche Aufgaben seit Beginn der Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg bewältigt wurden. **101.320 Flächen** wurden erfaßt und bewertet, **3.421 Flächen saniert**. Aktuell werden 17.803 altlastverdächtige Flächen und Altlasten im Kataster geführt. Aus heutiger Sicht ist davon auszugehen, dass für eine weitgehende Aufarbeitung des Altlastenproblems mindestens **weitere 20 Jahre** benötigt werden. <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/-/lubw-veroeffentlich-altlastenstatistik-2015>

- **Weiterhin Entwicklungs- und Optimierungsbedarf**
- **Zusätzlich neue „Problemstoffe“, schwierige Fälle,**

© VEGAS



Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018
Kos 3

Altlasten: Boden- und Grundwasserkontaminationen

- Mehrfach und unterschiedlich genutzte Standorte
- Insolvente Besitzer, verlassene Grundstücke, Brachflächen,
- ➔ **Boden- und Grundwasserkontaminationen vorprogrammiert**



© VEGAS



Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018
Kos 4

Boden- und Grundwasserkontaminationen innerorts

- man sieht sie nicht
 - durch historische Recherchen ggf. Verdacht
- ➔ **Untersuchung**



© VEGAS

VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

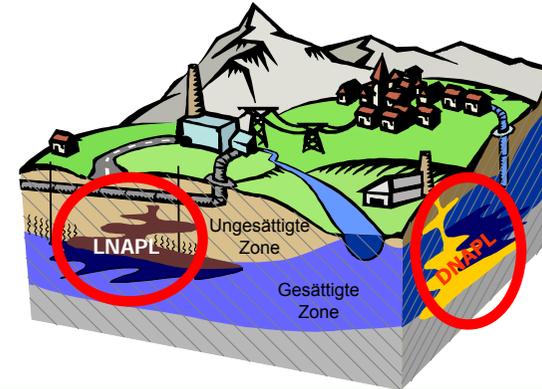
5

Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Komplexes Aufgabenspektrum:

Erkundung und Sanierung von Kontaminationen im Boden (Untergrund) und Grundwasser

- Ausbreitung von Schadstoffen in Phase und in Lösung
- Erkundung und Lokalisierung der Schadstoffe
- Entwicklung und Optimierung geeigneter Sanierungstechnologien bis zur „Feld“-Anwendung



- Ungesättigte Bodenzone
- Gesättigte Bodenzone (Grundwasser)
- Organische (NAPL) und anorganischen Schadstoffe
- Schadstoffquellen
- Schadstofffahnen
- Heterogener Untergrund

© VEGAS

VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

6

1995: Beginn Forschungsbetrieb VEGAS

- Übergeordnetes VEGAS-Forschungsthema ist die Detektion und Sanierung von Kontaminationen in Boden und Grundwasser auf verschiedensten Skalen
- Brücke zwischen Forschung in die Praxis ➔ **Technologietransfer**



© VEGAS

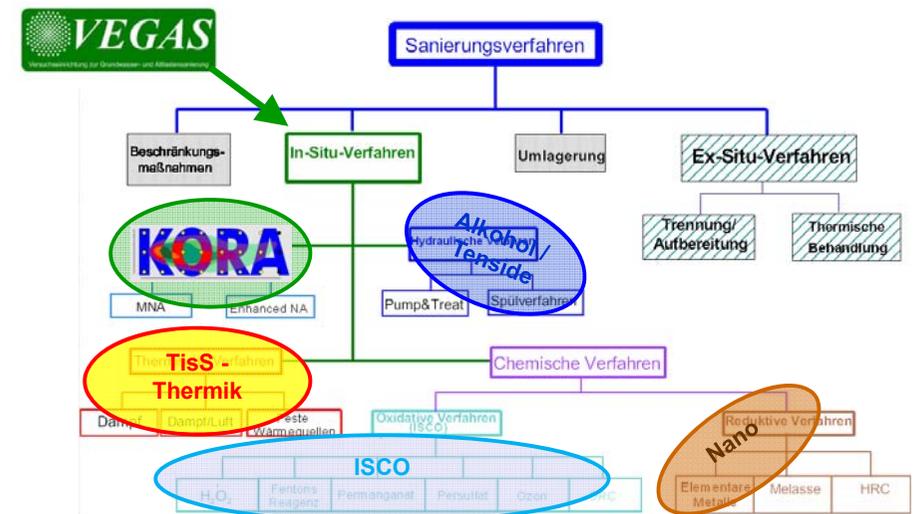
VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

7

Einteilung der Sanierungsverfahren



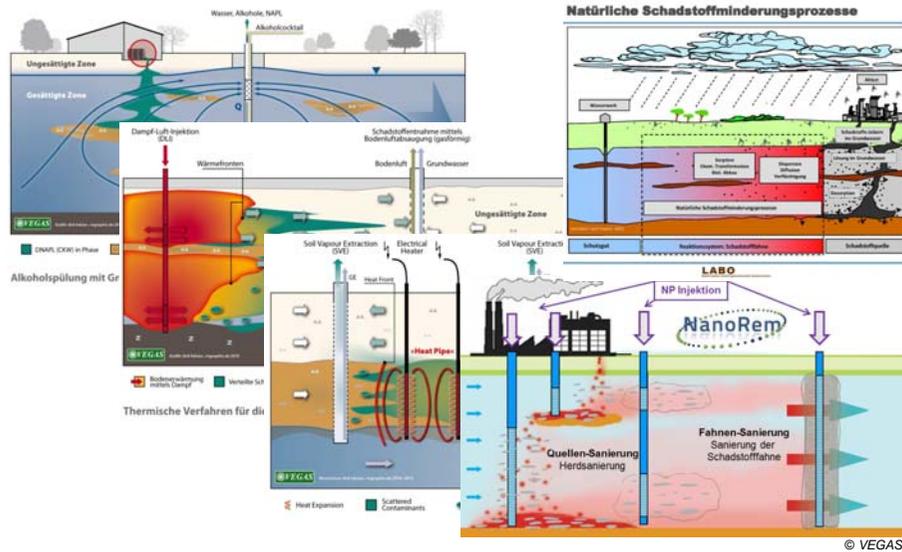
© VEGAS

VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

8



Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
9

NA: Natürliche Schadstoffminderungsprozesse sind biologische, chemische und physikalische Prozesse, die ohne menschliches Eingreifen zu einer Verringerung der Masse, der Fracht, der Toxizität, der Mobilität, des Volumens oder der Konzentration eines Stoffes im Boden oder Grundwasser führen. Zu diesen Prozessen zählen biologischer Abbau, chemische Transformation, Sorption, Dispersion, Diffusion und Verflüchtigung der Stoffe. **Natürliche Schadstoffminderung (Natural Attenuation)** ist das Ergebnis natürlicher Schadstoffminderungsprozesse.

MNA: Überwachung der natürlichen Schadstoff-minderung (Monitored Natural Attenuation) sind die Überwachungsmaßnahmen zur Kontrolle der Wirksamkeit von natürlichen Schadstoffminderungsprozessen

ENA: Enhanced Natural Attenuation wird als eine „In-situ“-Sanierungsmaßnahme angesehen, weil durch die Initiierung, Stimulierung oder Unterstützung von natürlichen Schadstoffminderungsprozessen mit dem Einbringen von Substanzen unter Nutzung naturgegebener Reaktionsräume aktiv in das Prozess-geschehen eingegriffen wird.

Quelle: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz, Ständiger Ausschuss Altlasten – ALA, Ad-hoc Unterausschuss „Natürliche Schadstoffminderung... Berücksichtigung der natürlichen Schadstoffminderung bei der Altlastenbearbeitung, Positionspapier, Stand 15.09.2015



Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
10

Grundlagen in Deutschland

(1) KORA Handlungsempfehlungen mit Methodensammlung (2008)

Handlungsempfehlungen mit Methodensammlung: Natürliche Schadstoffminderung bei der Sanierung von Altlasten - Bewertung und Anwendung, Rechtliche Aspekte, Wirtschaftlichkeit, Akzeptanz

Autoren: Jochen Michels, Matthias Stuhmann, Christopher Frey und Hans-Peter Koschitzky, Projektübergreifende Begleitung des BMBF-Förderschwerpunktes (2004-2008)



(2) LABO MNA Positionspapier (2009)

Berücksichtigung der natürlichen Schadstoffminderung bei der Altlastenbearbeitung
LABO; Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz, Ständiger Ausschuss Altlasten – ALA, Ad-hoc Unterausschuss „Natürliche Schadstoffminderung, Positionspapier, erste Fassung: 10.12.2009
Aktuelle Fassung mit Anhang 3: Empfehlungen zur Verhältnismäßigkeitsbetrachtung bei der Entscheidung über die Durchführung von MNA, 15.09.2015
https://www.labo-deutschland.de/documents/2015_09_15-Endf_LABO-Pos-papier_Naturli-Schadst.pdf

© VEGAS



Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
11



...und die zugehörigen Leitfäden

TV	Bezeichnung des Themenverbundes (Branchenspezifische Schadstoffe)	Kurzname der Arbeitshilfe*
1	Raffinerien, Tanklager, Kraftstoffe/ Mineralöl (MKW, BTEX, MTBE)	Leitfaden TV 1 (WABELLS & TEUTSCH, 2008)
2	Gaswerke, Kokereien, Teerverarbeitung (PAK, Teeröle, Heterozyklen)	Leitfaden TV 2 (WERNER et al., 2008)
3	Chemische Industrie (LCKW, BTEX)	Leitfaden TV 3 (GRANDEL & DAHMKE, 2008)
4	Deponien, Altablagerungen (Deponiebürtige Schadstoffe)	Leitfaden TV 4 (DGfZ, 2008a)
5	Rüstungsaltslasten (Sprengstofftypische Verbindungen)	Leitfaden TV 5 (JOOSS et al., 2008)
6	Bergbau, Sedimente (Spurenmetalle, Acidität/Sulfat, Pestizide)	Leitfaden TV 6 (HOTH et al., 2008)
7	Modellierung und Prognose (-)	Synopse des TV 7 (DGfZ, 2008b)
8	Rechtliche und ökonomische Aspekte, öffentliche und behördliche Akzeptanz (-)	Handlungsempfehlungen (MICHELIS et al., 2008)

© VEGAS

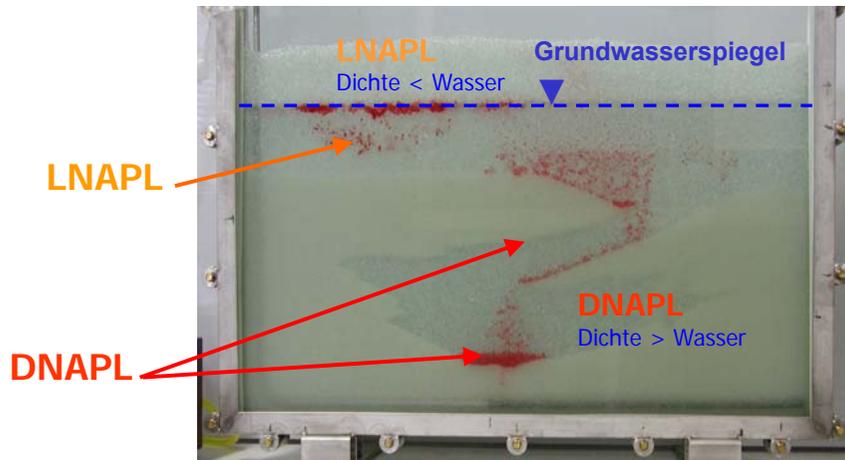


Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

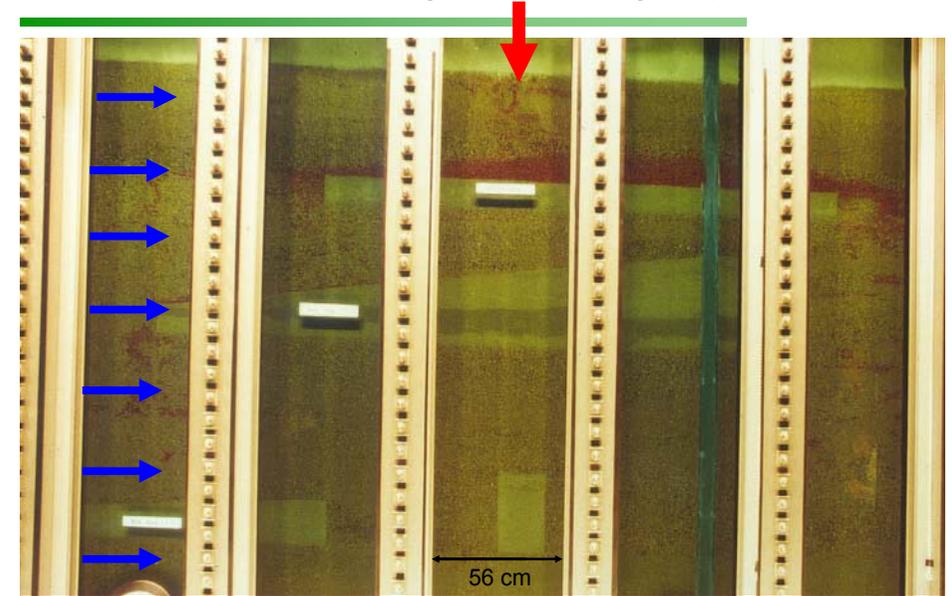
Kos
12

Sanierungstechnologien erforderlich

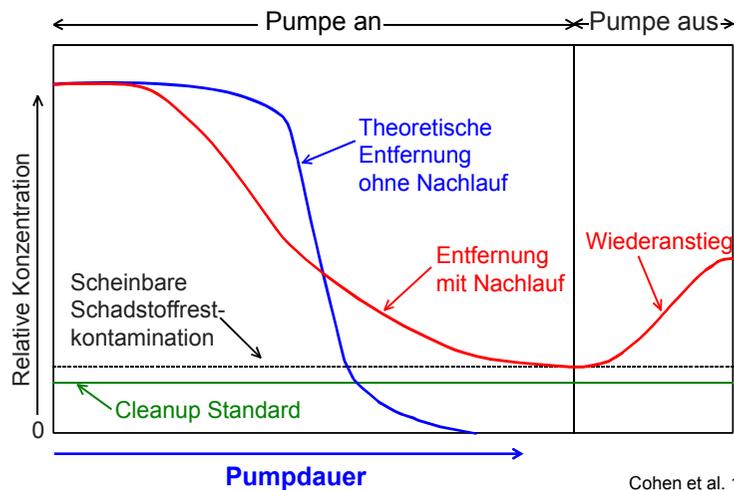


NAPL = Non-aqueous phase liquid (nicht mit Wasser mischbar)

IS



Problem Pump & Treat



Cohen et al. 1994

© VEGAS

Innovative In-situ-Sanierungsverfahren / -methoden

Ein **innovatives Sanierungsverfahren** ist ein Verfahren, das einen Entwicklungsstand erreicht hat, der seine praktische Eignung im Sinne einer umweltverträglichen, effizienten Anwendung gesichert erscheinen lässt, aber das noch nicht dem Stand der Technik und/oder den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht

- Innovativ kann auch eine Kombination mehrerer Verfahren sein
- Innovative Verfahren sollten zum Stand der Technik bzw. zu allgemein anerkannten Regeln geführt werden

Sanierungsverfahren die Schadstoffe biologisch, chemisch oder physikalisch aus dem Boden oder Grundwasser entfernen, in unschädliche Stoffe umwandeln oder ggf. deren Ausbreitung langfristig verhindern

© VEGAS



1. Veranlassung und Zielsetzung
 2. Einführung
 3. Begriffe und Definitionen
 4. Rechtliche Rahmenbedingungen
 5. Anwendungsvoraussetzungen
 6. Beurteilungskriterien
 7. Physikalische Verfahren (für die ungesättigte und gesättigte Bodenzone)
 8. Biologische Verfahren
 9. Chemische Verfahren
 10. Durchströmte Reinigungswände (PRB)
 11. Fazit und Ausblick (Empfehlungen)
 12. Literatur
 13. Glossar
- Anhang: Zusammenfassung der Verfahrensbewertungen Verzeichnis relevanter Rechtsnormen und Regelwerke Arbeitsschutz bei Arbeiten in kontaminierten Bereichen

Arbeitshilfe = unabhängige, wertfreie Darstellung der Verfahren

- Anwendung und Akzeptanz der Verfahren verbessern
- Auswahl eines geeigneten In-situ-Sanierungsverfahrens erleichtern
- Zielgruppe: Fachleute und Sachverständige aus dem Umweltbereich, Behördenvertreter sowie Sanierungspflichtige
- Aufzeigen / Hilfestellung: Was können innovative In-situ-Sanierungsverfahren leisten

Innovative Erkundungsverfahren und -methoden

Innovative **Erkundungsverfahren und -methoden:** af-Statusberichte



Arbeitskreis Innovative Erkundungs-,
Sanierungs- und Überwachungsmethoden

- AK erarbeitet seit September 1997 u.a. Statusberichte, um **Erfolg versprechende innovative Technologien** auf nationaler und internationaler Ebene zu identifizieren, ihre Einsatzmöglichkeiten zu analysieren und darzustellen
- Statusberichte vermitteln ein unabhängiges und ausgewogenes Bild über den **aktuellen Stand der innovativen Technologien**, die hinsichtlich ihrer Entwicklungsreife als „bereits feldtauglich“ eingestuft werden können
- Statusberichte sollen vor allem den Gutachtern und Consultants, den für Altlasten Verantwortlichen („Problem Owner“) und der Verwaltung Hilfestellungen geben, um **neue innovative Technologien in der Praxis einsetzen** zu können.



- Heft 1 (1999): Reaktive Wände
- Heft 3 (2000): Tenside zur In-situ-Grundwassersanierung
- Heft 4 (2000): Thermische In-situ-Sanierungstechnologien
- Heft 5 (2001): Natural Attenuation organischer Schadstoffe im Grundwasser
- Heft 7 (2002): Elektrokinetische In-situ-Sanierung
- Heft 8 (2003): Grundwasserabstromerkundung durch Immissionsmessung
- Heft 9 (2004): Ökobilanzierung von Altlastensanierungsverfahren
- Heft 11 (2006): Innovative Grundwassermess- und -überwachungsmethoden (Grundwassermonitoring)
- Heft 13 (2008): Grundlagen zur technisch-ökonomische Optimierung und Bewertung von Grundwassersanierungen
- Heft 14 (2009): Forensische Verfahren in der Altlastenbearbeitung
- Heft 15 (2010): Direct-Push-Verfahren
- Heft 16 (2013): Grundwasserabstromerkundung mittels Immissionspumpversuchen – Aktualisierung Stand der Technik, Planung, Implementierung, Anwendungsstrategien
- Heft 17 (2016): Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern - Moderne Anwendungs- und Auswertungsansätze
- Heft 18 (2017): Adaptive Erkundungsmethoden und -konzepte

altlastenforum
Baden-Württemberg e.V.
Schriftenreihe
Flächenrecycling, Boden- und Grundwasserchutz

Adaptive Erkundungskonzepte und -methoden

Schriftenreihe Heft 18

© VEGAS

VEGAS Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren - Entwicklungen und Ausblick 32. Dienstbesprechung Altlasten Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018 Kos 21

Von der Idee zum markreifen Produkt
Thermo-Flowmeter

NICOLE Technology Award 2012
Berghof Engineering Tübingen und VEGAS erhielten für die Entwicklung des **Thermo-Flowmeters** den zweiten Preis beim NICOLE Technology Award 2012

NICOLE
Network for Industrially Contaminated Land in Europe

Cheque worth Euro 750 for Thermo-Flowmeter System
developed by BERGHOF and VEGAS

2nd prize winner of the NICOLE Technology Award 2012

NICOLE Technology Award 2012
Berghof Engineering Tübingen und VEGAS erhielten für die Entwicklung des **Thermo-Flowmeters** den zweiten Preis beim NICOLE Technology Award 2012

NICOLE, Network for Industrially Contaminated Land in Europe, (Heute: Network for Industrially Co-ordinated Sustainable Land Management in Europe) ist ein führendes Forum für das Altlasten- und Brachflächenmanagement in Europa zur Förderung der Zusammenarbeit zwischen Industrie, Hochschulen und Dienstleister der Entwicklung und Anwendung von nachhaltigen Technologien.

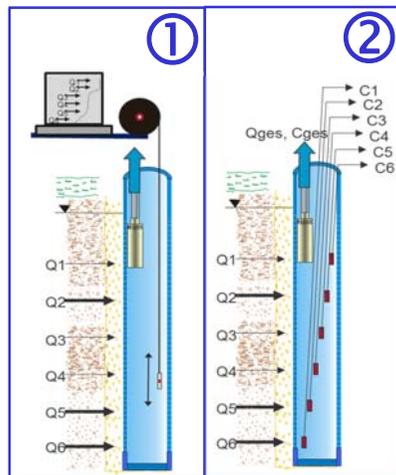
Seine Mitglieder kommen aus ca. 20 europäischen Ländern aus Industrieunternehmen und Handelsorganisationen (ca. 25), Consultants und Sanierungsfirmen/Technologie-Entwickler (ca. 50), Universitäten und unabhängigen Forschungseinrichtungen (ca. 30). Das Netzwerk startete im Februar 1996 als eine konzertierte Aktion im Rahmen des 4. Rahmenprogramms der Europäischen Gemeinschaft. Seit Februar 1999 ist NICOLE eigenständig (Association) und wird durch die Gebühren der Mitglieder finanziert. www.nicole.org

© VEGAS

VEGAS Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren - Entwicklungen und Ausblick 32. Dienstbesprechung Altlasten Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018 Kos 22

Sanierungsgrundlage Schadstoffsituation: zielgerichtete Untersuchung

Voll verfiltrierte Brunnen: Thermo-Flowmeter-Monitoring
Multi-Level-Probenahme unter Anregung



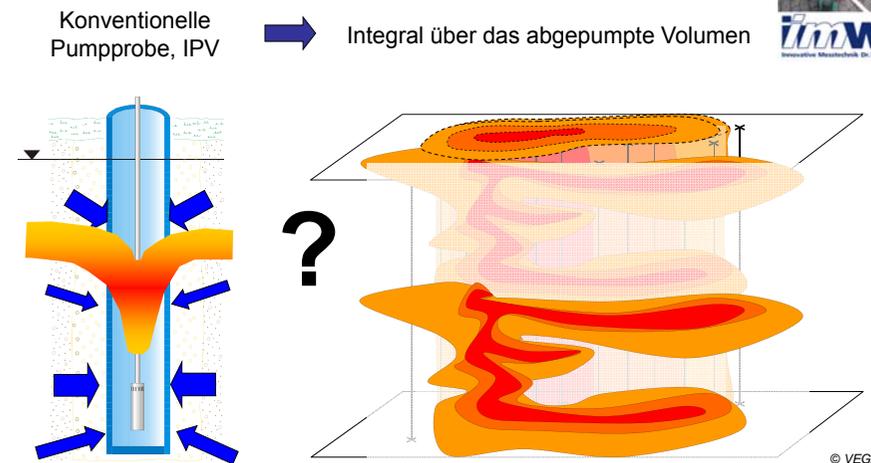
- (1) Thermo-Flowmeter-Messung**
→ Zustrom ($Q_1 - Q_6$) in verschiedenen Tiefen
 $Q_{\text{gesamt}} = \sum \Delta Q$
- (2) Parallele Low-Flow-Probenahme**
in verschiedenen Tiefen
→ Konzentrationen C1 - C6
- (3) Berechnung der zuflussgewichteten Stofffrachten [mg/sec] und tiefenorientierten Konz. [mg/L]**



VEGAS Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren - Entwicklungen und Ausblick 32. Dienstbesprechung Altlasten Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018 Kos 23

Sanierungsgrundlage: Konventionelle Untersuchung

Konventionelle Pumpprobe
→ **Schadstoffkonzentration: integral, volumenbasiert**

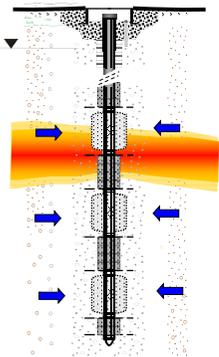


VEGAS Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren - Entwicklungen und Ausblick 32. Dienstbesprechung Altlasten Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018 Kos 24

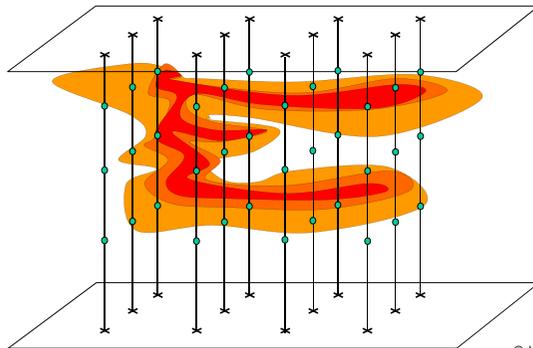
Tiefenorientierte Probenahme

→ Ergebnis Schadstoffkonzentration tiefenhorizontiert, vertikal auflösend

Tiefenorientierte Probenahme



diskrete repräsentative Information



ImW
Innovative Messtechnik, Dr. Wilke

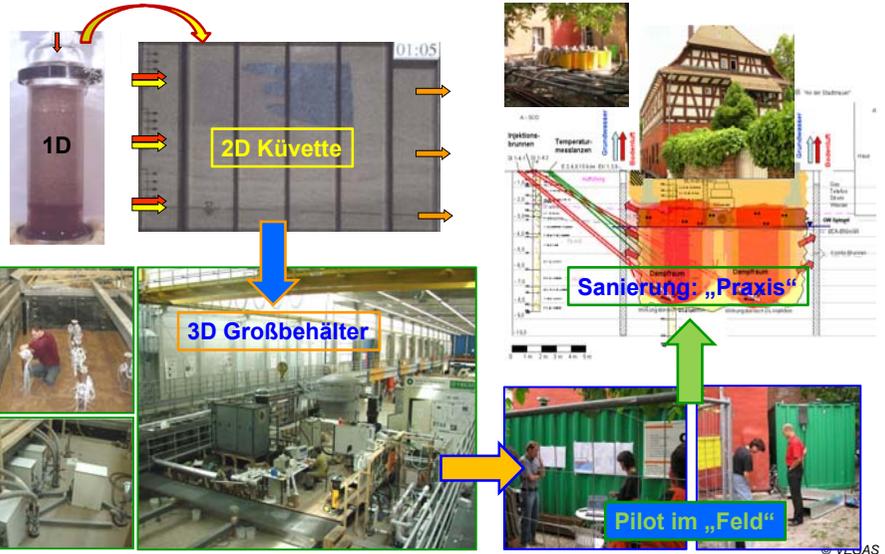
© VEGAS



Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
25

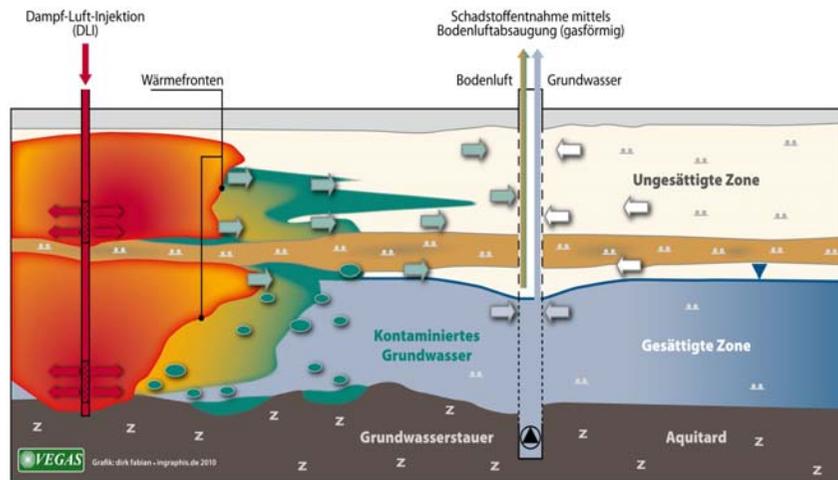


Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
26

TiS: Dampf-Luft-Injektion, DLI



Bodenerwärmung mittels Dampf Verteilte Schadstoffe Flüssige Schadstoffpools .a.a. Schluff Z Festgestein

© VEGAS

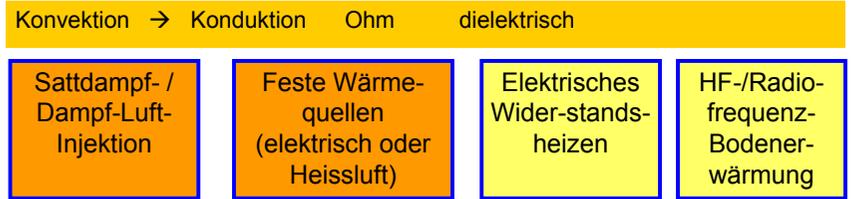


Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
27

TiS - Thermische In-situ-Sanierungsverfahren



- Organische Schadstoffe (LNAPL & DNAPL)
- Erhöhung des Dampfdrucks der Schadstoffe durch Erwärmung des Untergrunds / Wasserdampfdestillation
→ Erhöhung der Austragsraten (**gasförmig**) um mehrere Faktoren
- **Schadstoffaustrag über Bodenluftabsaugung**
- Schneller und zuverlässiger (kontrollierbarer) Sanierungsverlauf
→ Auswahl der Technologie hängt von den Standortverhältnissen und vom Schadstoffspektrum ab
→ „Expertenwissen“ erforderlich

© VEGAS

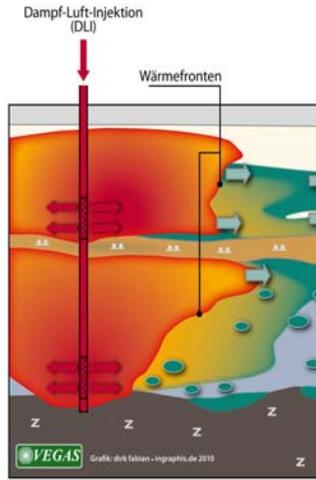


Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
28

Einsatzbereiche Dampf-Luft-Injektion (konvektiv)



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 Satttdampf)
- 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 organhaltige Böden (Torflagen) → Setzungen?

VEGAS Grafik: Dirk Fabian - ingraphis.de 2010
 Bodenerwärmung mittels Dampf Verteilte Schadstoffe

© VEGAS

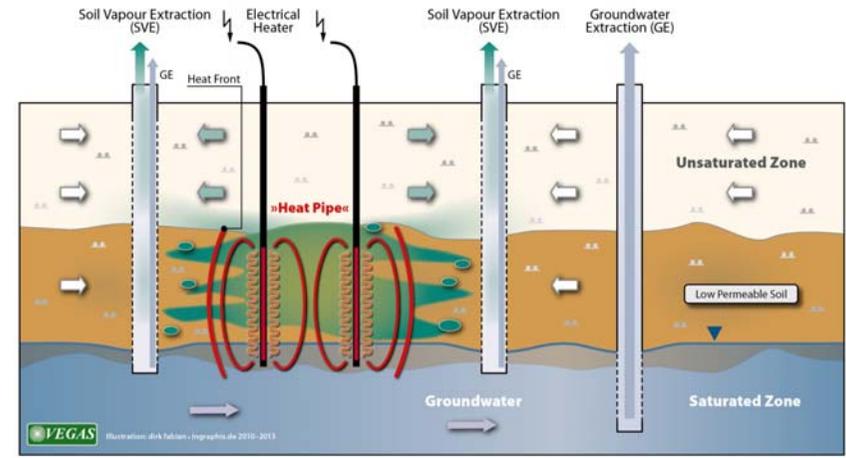
VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
29

Feste Wärmequellen Verfahrensprinzip (konduktiv)



VEGAS Illustration: Dirk Fabian - ingraphis.de 2010-2013
 Heat Expansion Scattered Contaminants Pools of Contaminants Silt

© VEGAS

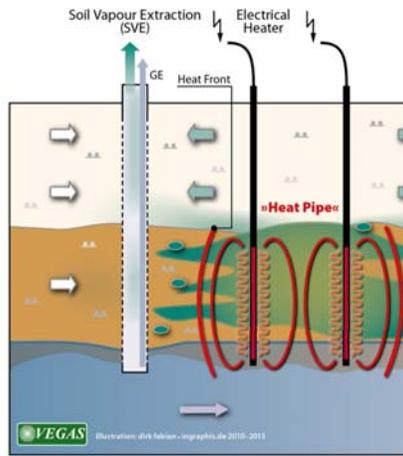
VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
30

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

VEGAS Illustration: Dirk Fabian - ingraphis.de 2010-2013
 Heat Expansion Scattered Contaminants Pool

VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
31

TiS, (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

VEGAS

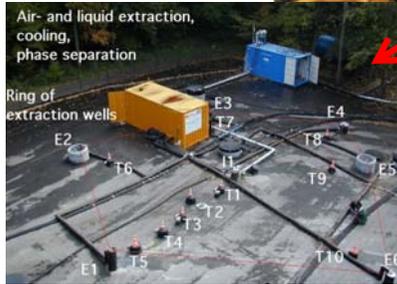
Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
32

Ehemalige Sondermülldeponie Eckenweiher Hof

- Sondermülldeponie bis 1976 (vier Erdbecken)
- ca. 5.400 m³ organische Abfälle



- Keine Abdichtung, kein Drainagesystem
- CKW/BTEX Kontamination in der ungesättigten Zone und im Grundwasser

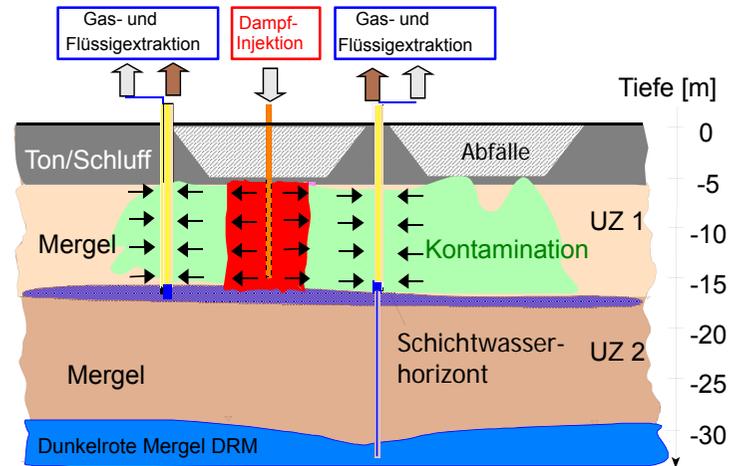
H.-P. Koschitzky, R. Schmidt, T. Theurer



Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren - Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos 33



© VEGAS

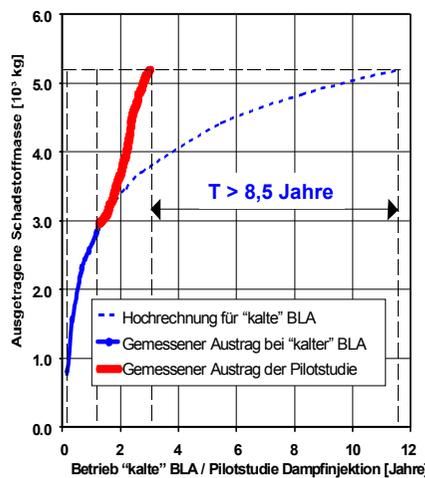


Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren - Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos 34

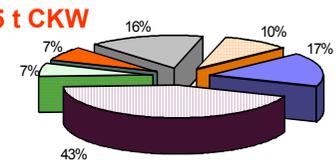
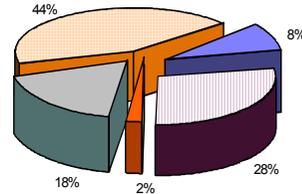
Vergleich TUBA – „kalte“ BLA im Jahr 2002



„Kalte“ BLA: ~ 775.000 € oder 310 €/m³ beh. Bodens

TUBA ~ 510.000 € oder 204 €/m³ beh. Bodens
Austrag > 5 t CKW

- Brunneninstallation
- Sattdampf
- BLA
- Verbrauch
- Reinigung
- Personal



© VEGAS



Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren - Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos 35

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, Industriehalle	(GZ, vadose, UZ), kiesig/ sandig, Schlufflage, sandig/kiesig (-12 m) über Kohlekomplex	Benzo	Pilot. erfolgreich, Sanierungskonzept erstellt, keine Umsetzung / Auskoffierung im Zuge großräumiger Bebauung
2009 Pilot 2012- 2016, DLI, 2016-2018 Abkühl., 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



Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren - Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos 36

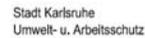
Thermische In-situ-Sanierung eines CKW-Schadens unter einem denkmalgeschützten Gebäude - von der Planung bis zur erfolgreichen Sanierung



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



Stephan Denzel, dplan, Karlsruhe



Claudia Purkhold, Stadt Karlsruhe, Umwelt- und Arbeitsschutz



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



altlastenforum
Baden-Württemberg e.V.
Altlastensanierung, Boden- und Grundwasser

Auszug u.a. aus Vorträgen
Altlastensymposium 2011, 07. & 08. Juli 2011, Neu-Ulm
Symposium Strategien zur Boden- und Grundwassersanierung, 21. & 22. November 2011



Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.



Heutige Nutzung
Galerie und
Rahmenladen



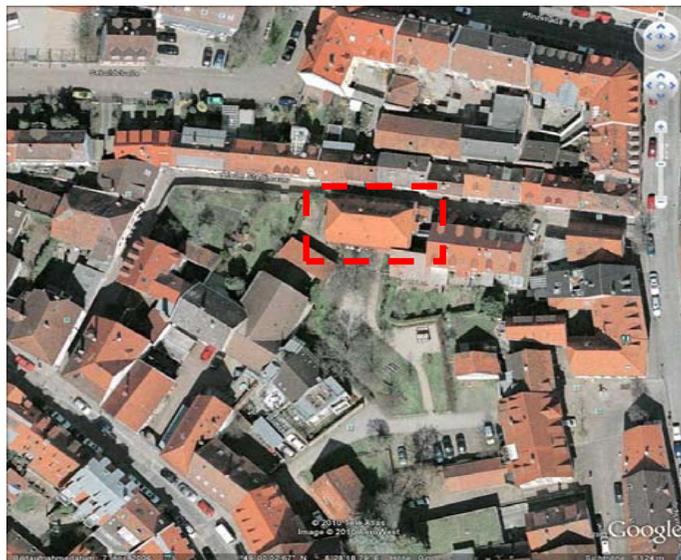
© VEGAS



Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
38



© VEGAS



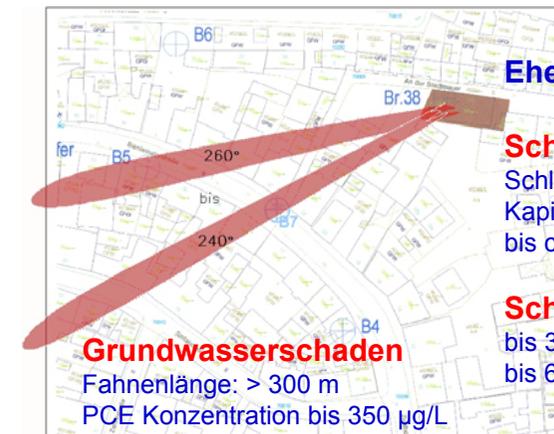
Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
39

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

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

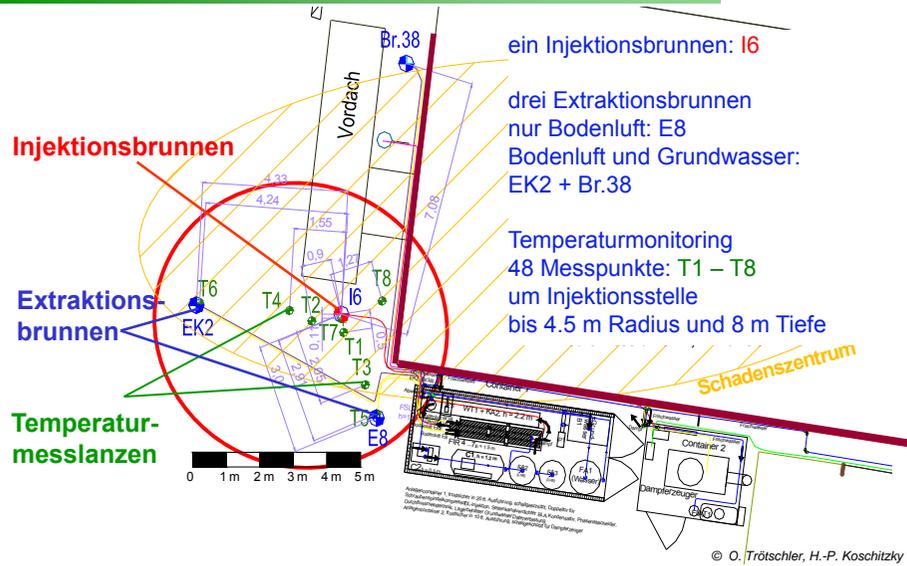


Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
40

Pilot – Testfeld: Ausstattung



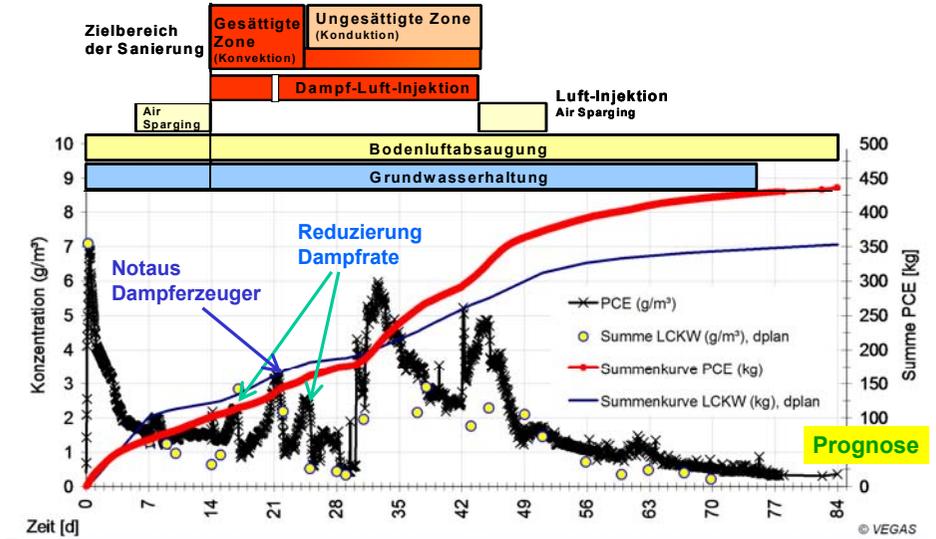
VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
 - Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
 Ministeriums für Umwelt, Klima und
 Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
 41

Massenbilanz Schadstoffaustrag



VEGAS

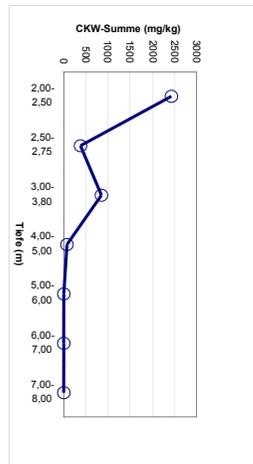
Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
 - Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
 Ministeriums für Umwelt, Klima und
 Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

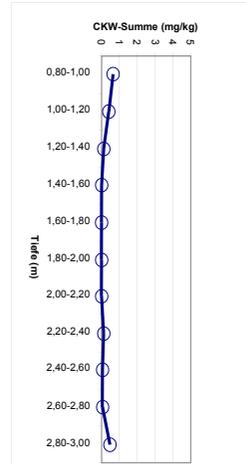
Kos
 42

Bodenproben vor & nach Pilot-Sanierung

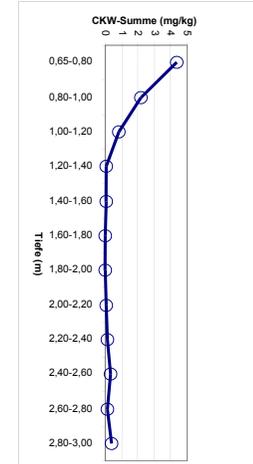
Sondierung Injektionsbr. I6
 vor Pilot-Sanierung



Sondierung 1,5 m Abstand
 zu I6 nach Pilotierung



Sondierung 3 m Abstand
 zu I6 nach Pilotierung



© VEGAS

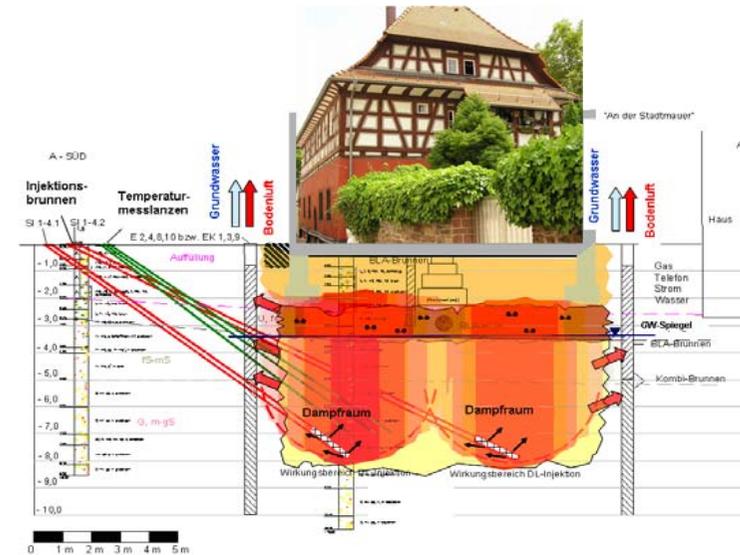
VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
 - Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
 Ministeriums für Umwelt, Klima und
 Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
 43

Realisierung DLI unter dem Gebäude



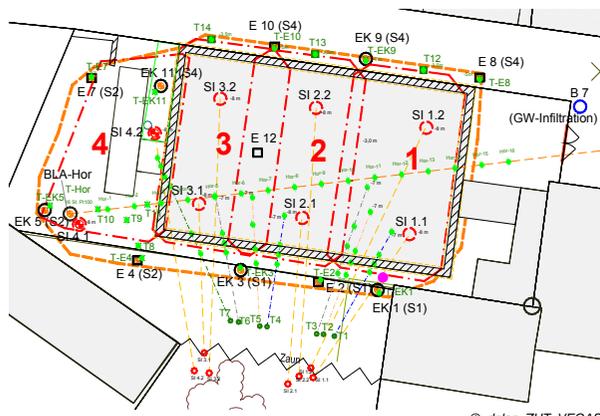
VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
 - Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
 Ministeriums für Umwelt, Klima und
 Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
 44

Sanierungsausführung



© dplan, ZUT, VEGAS

Stadt Karlsruhe
Umwelt- u. Arbeitsschutz

d-plan
dplan gmbh

ZUBLIN

VEGAS

- 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...

© VEGAS

VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
45

Betrieb Mai - Juli 2010



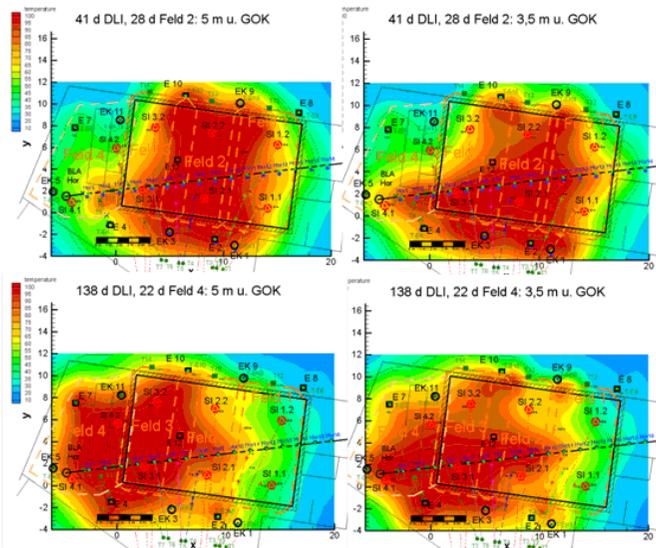
VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
46

Temperaturausbreitung



© VEGAS

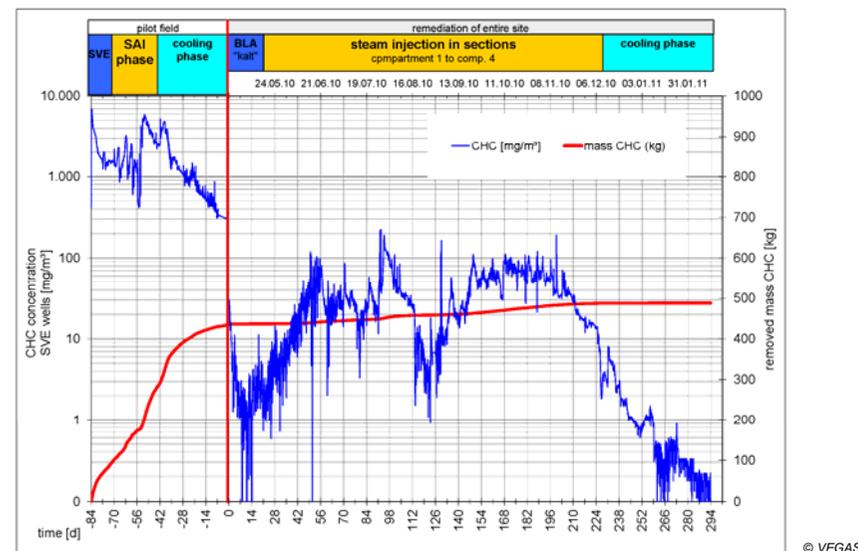
VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
47

Schadstoffaustrag Bodenluft



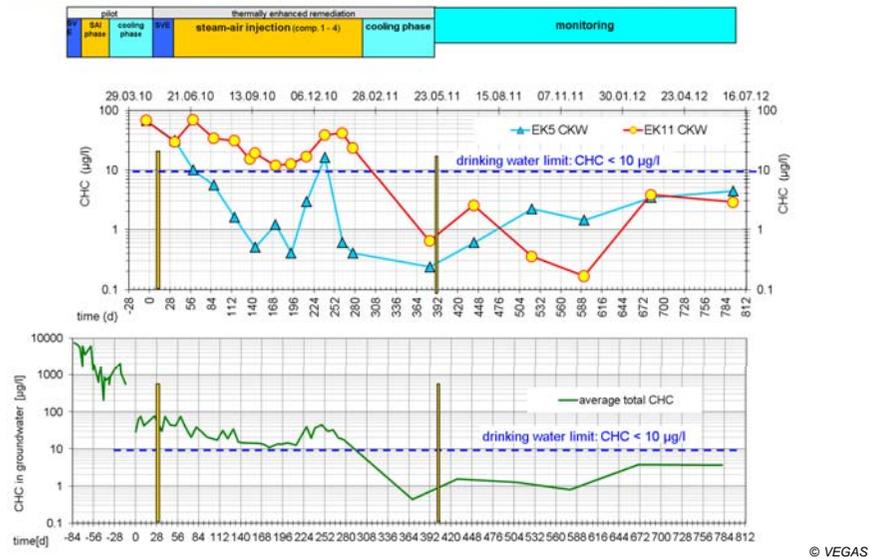
© VEGAS

VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
48



© VEGAS



Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
49

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 Altlastensanierung, Universität Stuttgart
- (2) Stadtbaumeister 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



Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

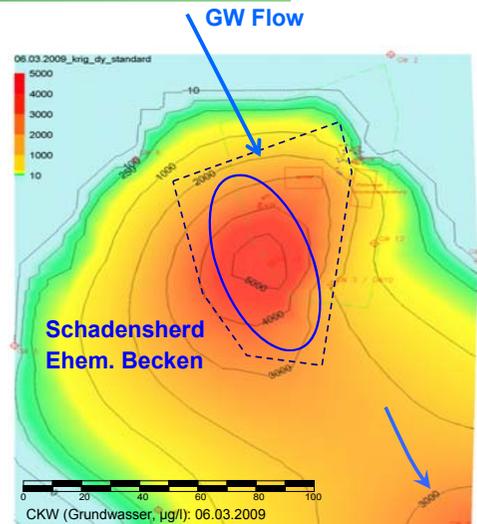
32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

50

Schadenssituation Biswurm

Schadensbild 2007 / 2009

- ca. 2.900 m² Kernbereich bzw. 43.000 m³ Kluffgestein (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

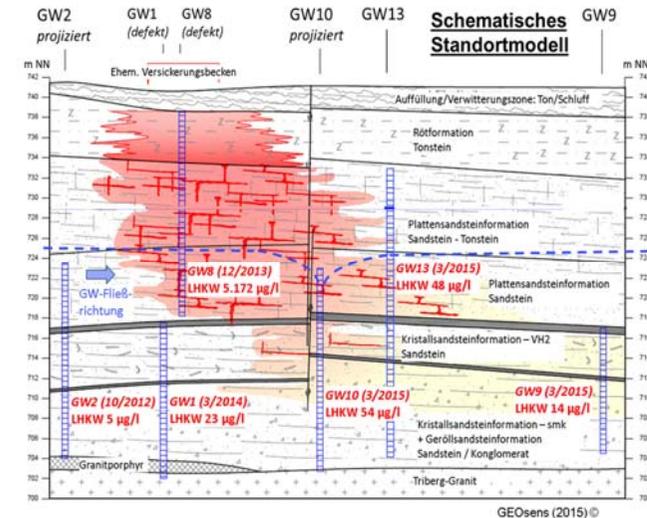


Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
51

Geologie und Schadensbild in einem Kluftaquifer



Komplexer, geklüfteter
Festgesteinsaquifer

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

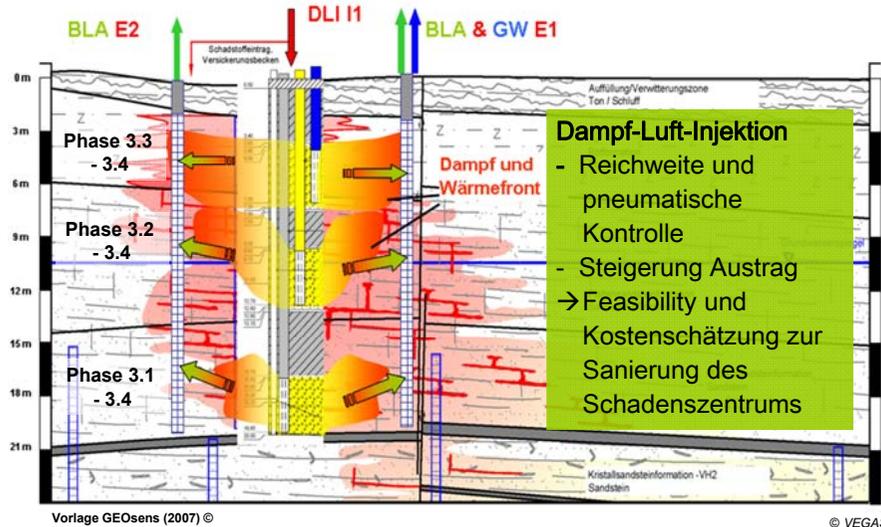
© VEGAS



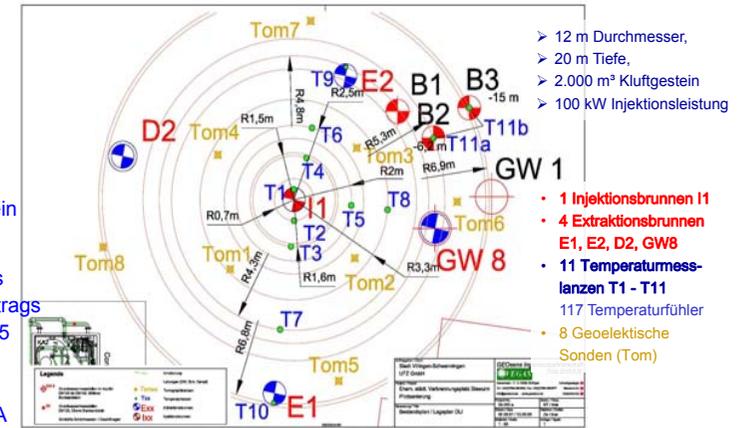
Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

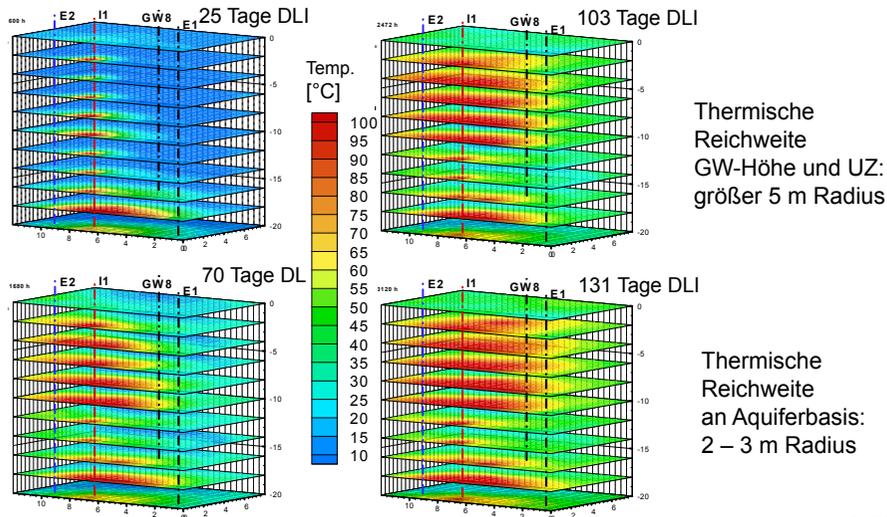
52



- Eignung der DLI für den Kluftaquifer, 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**



Pilotierung: Überblick Wärmeausbreitung



Eindrücke vom Testfeld

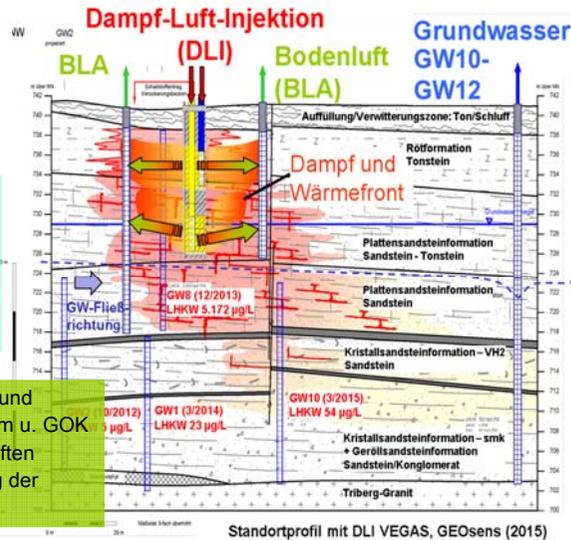


Sanierungsplanung auf der Grundlage der Pilotanwendung

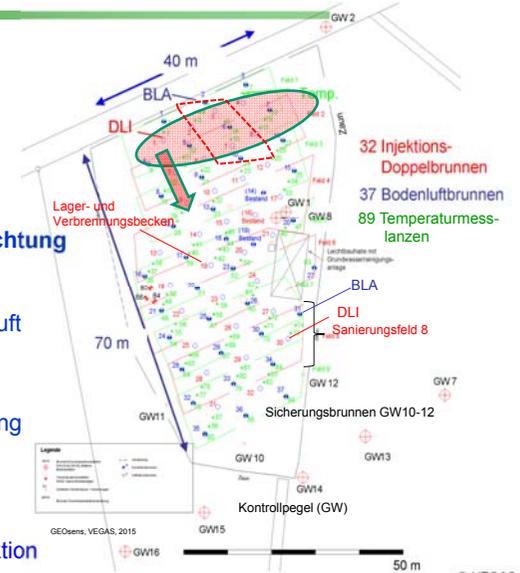
Dampf-Luft-Injektion (DLI)

- 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



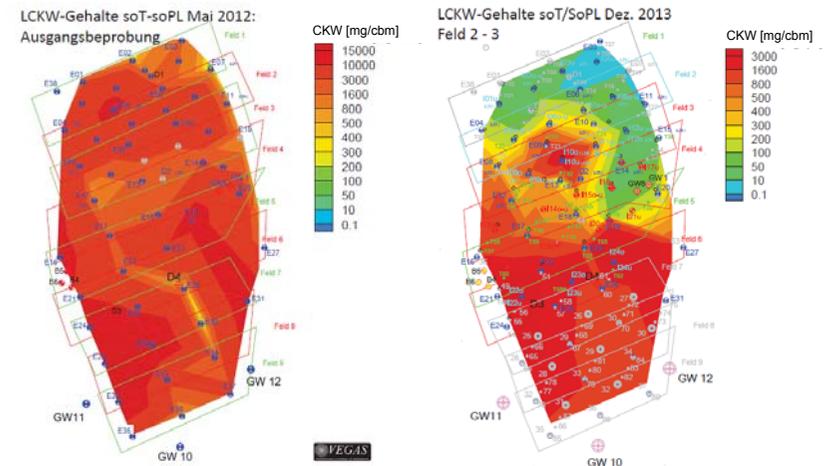
- **9 Sanierungsfelder** mit je 4 – 5 Injektionsbrunnen für 4.000 m³
- **32 Injektionsdoppelbrunnen**
37 Bodenluftabsaugbrunnen
89 Temperaturmesslanzen
- **DLI abschnittsweise in GW-Richtung**
350 – 450 kW Wärmeleistung
Dampfausbreitungsphase
6 Wochen mit 550 kg/h Dampf-Luft
LHKW-Desorptionsphase
8 Wochen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



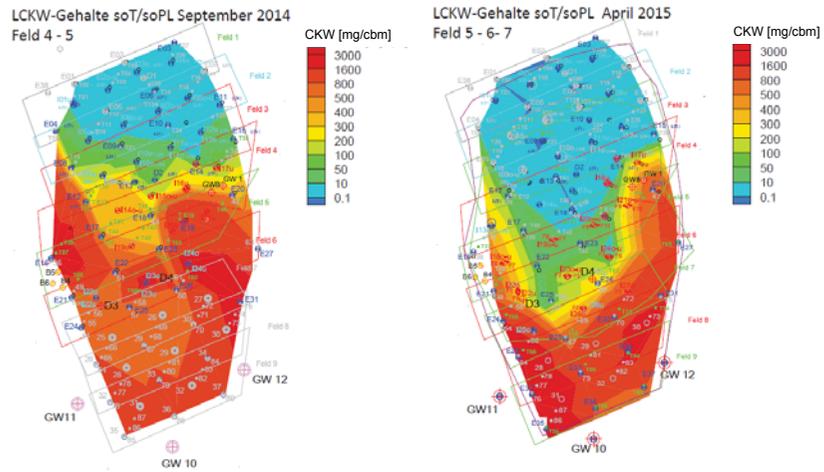
Sanierung Biswurm



Entwicklung der LCKW-Gehalte während der Sanierung



Entwicklung der LCKW-Gehalte während der Sanierung



Am

© VEGAS



Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
61

Eindrücke vom Sanierungsfeld in Biswurm

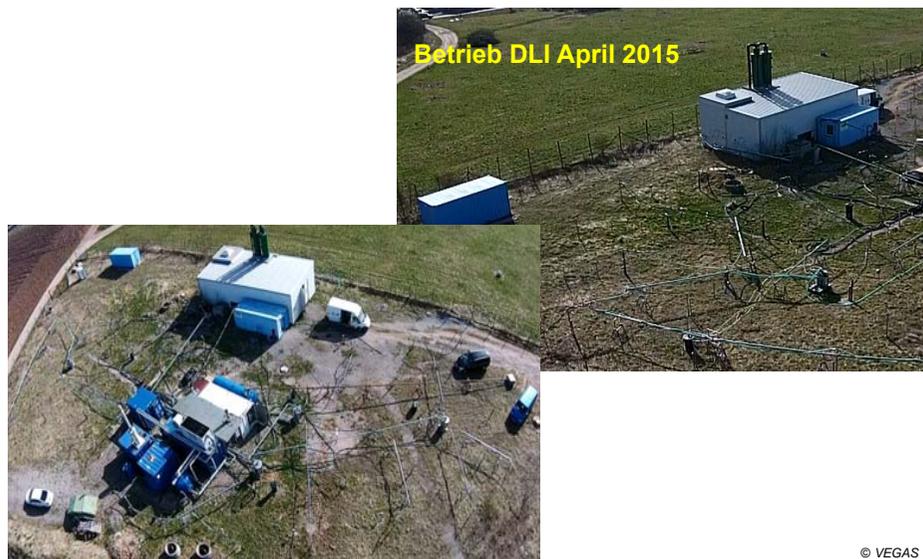


Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
62

Blick auf das Sanierungsfeld



© VEGAS

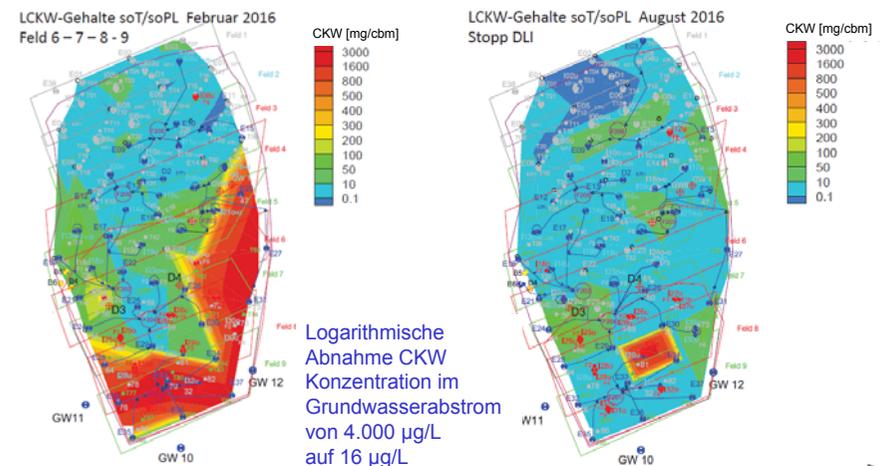


Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
63

Entwicklung der LCKW-Gehalte während der Sanierung



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

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

Am

© VEGAS

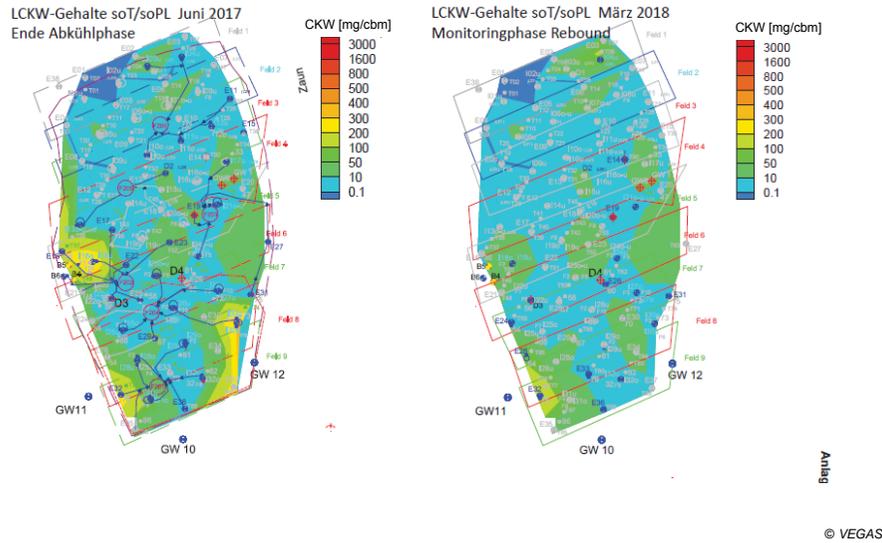


Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
64

Entwicklung der LCKW-Gehalte während der Sanierung



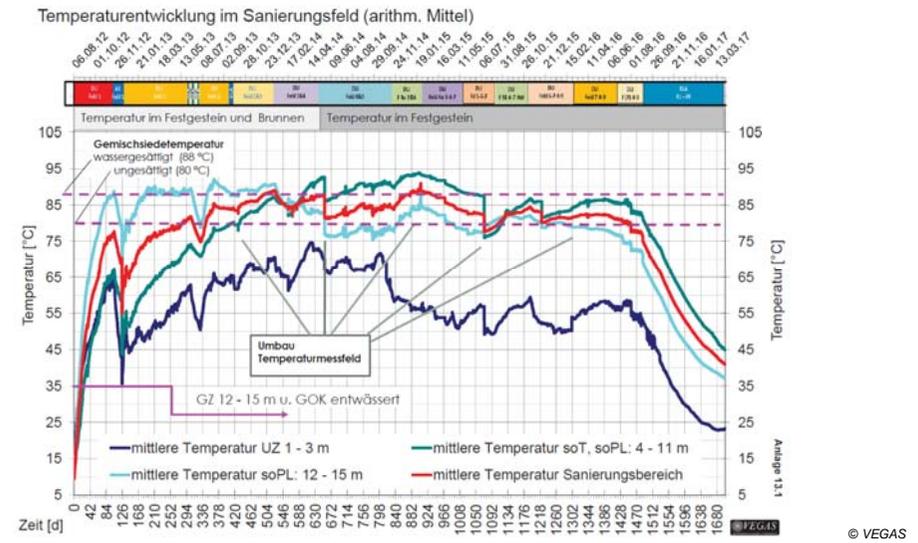
VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
65

Entwicklung der Temperaturen während der Sanierung



VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
66

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 gesamtes Feld
ca. 20 Monate

→ **August 2016:**
Ende DLI und Abkühlphase

→ **März 2018:**
Reboundtest und „Nachsorge“

© VEGAS

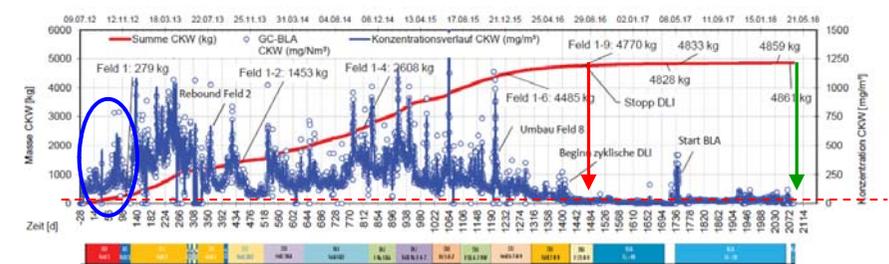
VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
67

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

VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
68

- **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

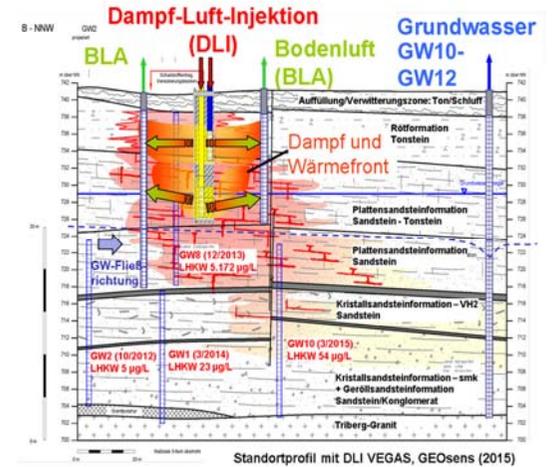


Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren - Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos 69

- Beginn der Sanierung: 18.07.2012, ca. 71 Monate
- Dampf-Luft-Injektion: Start: 06.08.2012 bis 28.08.2016
- **Abschaltung DLI August 2016**
- **Abkühlphase 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)**
- **Erfolgreicher Projektabschluss nach Besprechung Bewertungskommission (LRA SBK, Stadt VS, Geosens, VEGAS, RP Freiburg LGRB, LUBW Ba-Wü) am 12. Juli 2018**
- **Aktuell Überwachungsphase (ca. 2 Jahre)**



© VEGAS



Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren - Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos 70

TIsS, (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 Schadenherdentfernung, starke Setzungen aber ohne Einfluß auf Gebäude
2012 – 2013 Pilot 2014 Sanierung	Stuttgart ehemaliger metallverarb. 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. Talablagerungen, kiesig, sandig, schluffig, hoher GW-Stand 1 - 10 m u. GOK	CKW	Feasibility / Sanierungsvorschlag, wirtschaftlichere Alternative zur Großbohrlochverfahren Sanierung abgeschlossen, derzeit Nachsorgemonitoring

© VEGAS



Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren - Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos 71

Ehemalige „Fotoapparatewerk“ - CKW-kontaminierter Standort mit hohem Grundwasserstand



Altstandort „Regula King“
Bad Liebenzell, Nagoldtal

© VEGAS



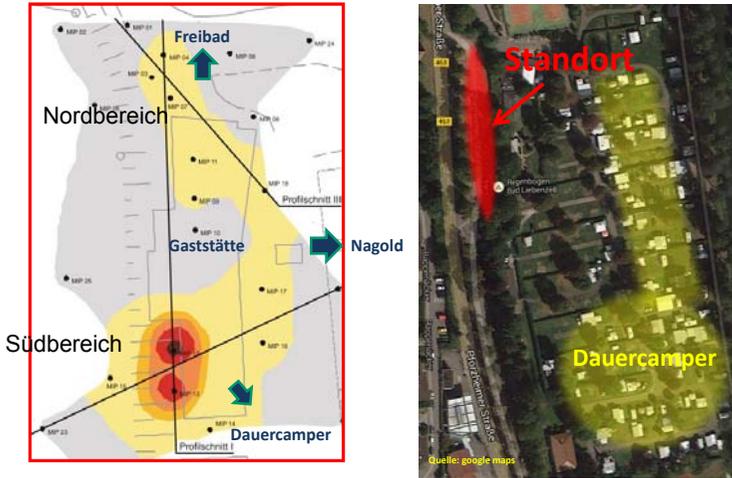
Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren - Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos 72

Untergrundverunreinigungen – woher?

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



© VEGAS

VEGAS

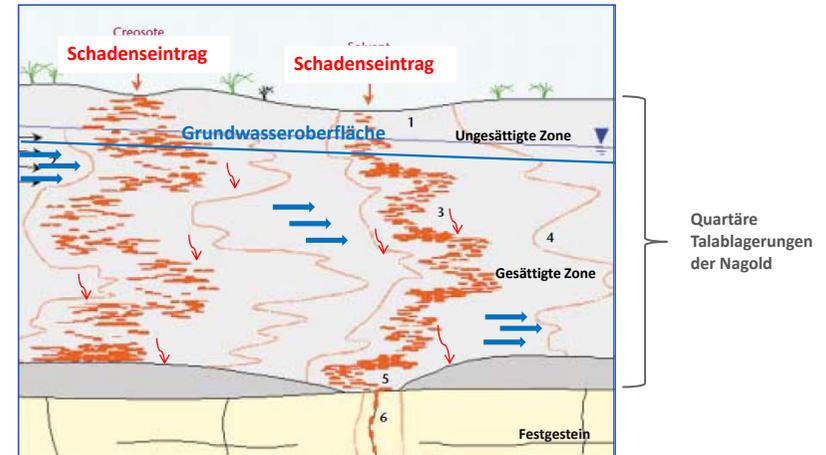
CDM Smith

vative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
73

Konzeptionelle Modellvorstellung der Untergrundverunreinigungen



Quartäre
Talablagerungen
der Nagold

- **Schadenschwerpunkt unterhalb Gaststätten-/Sanitärgebäude**
- Geschätztes Inventar vor DLI 2013: ≈ 715 kg bis 2.065 kg LCKW**

© VEGAS

VEGAS

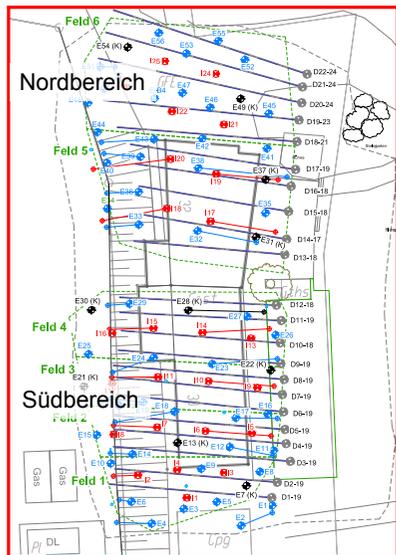
CDM Smith

vative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
74

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

VEGAS

CDM Smith

vative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
75

Bad Liebenzell – letzte Eindrücke vom „aktiven“ Standort, 21.09.2016



© VEGAS

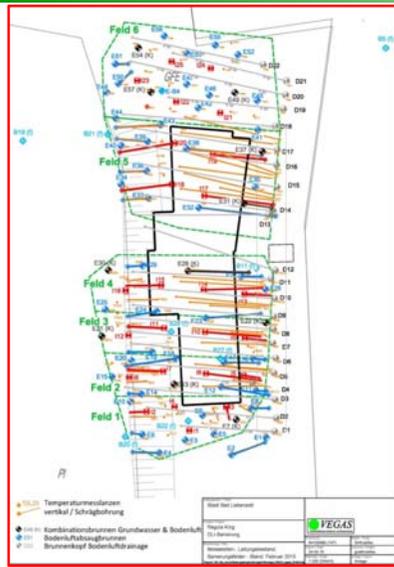
VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
76

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 Überwachungsprogramm**

© VEGAS

VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
77

Vorher / nachher (heute)



© VEGAS

VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
78

Fazit TisS Entwicklungen

- **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

VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

Kos
79

Zusammenfassung & Ausblick

- Erfolge bei der **Entwicklung von Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren** durch 23 Jahre interdisziplinäre F&E Projekte und Rückkoppelung mit der „Praxis“
- **Technologietransfer und „Bekanntmachung“** der Entwicklungen z.B. Fortbildungsverband Boden und Altlasten BW
- **Erfolgreicher Technologietransfer** am Beispiel TisS
- **Schadensherdsanierung mit TisS** z.B. nach „erfolglosen“ Sanierungen“ bzw. „Langläufer“, um Kontaminationsquellen kontrollier- und planbar und zuverlässig zu beseitigen, **TisS aber kein Allheilmittel**
- **Andere innovative Verfahren** wie Nanopartikel zur Sanierung von Untergrundkontaminationen (Nanoremediation), wurden in den letzten Jahren intensiv bearbeitet und in Pilotanwendungen getestet (z.B.: www.nanorem.eu), und sind - mit gewissen Einschränkungen - „reif“ für die Praxis, erfolgreiche und zuverlässige Anwendung muss noch unter Beweis gestellt werden.

© VEGAS

VEGAS

Innovative Erkundungs- und In-situ-Sanierungsverfahren
- Entwicklungen und Ausblick

32. Dienstbesprechung Altlasten
Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft, BW, 10.-11.10.2018

80

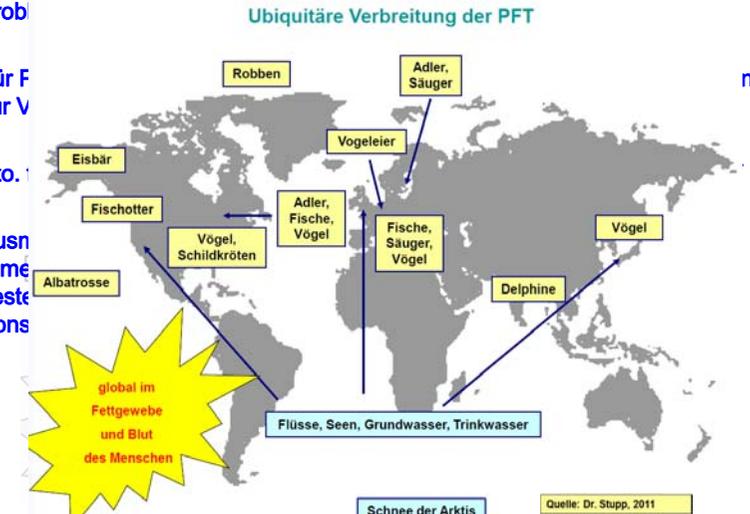
Zusammenfassung & Ausblick

- Eine große Herausforderung der Zukunft: Problematik der PFC (Perfluorierte und polyfluorierte Chemikalien)
- Für PFC stehen bis heute weltweit keine wirklichen Sanierungstechnologien zur Verfügung
- Dto. für Erkundung / Gefährdungsbeurteilung noch erheblicher F&E Bedarf
- Ausmaß des PFC-Problems (auch finanzielle und gesellschaftliche Dimension) offensichtlich noch nicht überschaubar → Seitens der Politik besteht dringender Aufklärungs-, und Handlungsbedarf und in der Konsequenz F&E-Bedarf



Zusammenfassung & Ausblick

- Eine große Herausforderung der Zukunft: Problematik der PFC (Perfluorierte und polyfluorierte Chemikalien)
- Für PFC stehen bis heute weltweit keine wirklichen Sanierungstechnologien zur Verfügung
- Dto. für Erkundung / Gefährdungsbeurteilung noch erheblicher F&E Bedarf
- Ausmaß des PFC-Problems (auch finanzielle und gesellschaftliche Dimension) offensichtlich noch nicht überschaubar → Seitens der Politik besteht dringender Aufklärungs-, und Handlungsbedarf und in der Konsequenz F&E-Bedarf



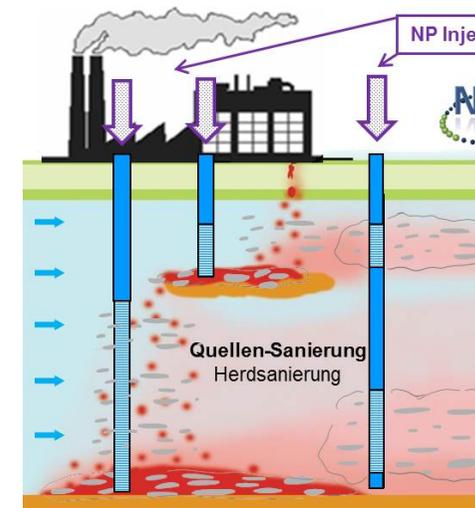
Danke für Ihre Aufmerksamkeit

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



Nanopartikel für die In-situ-Sanierung



Nanosanierung
In-situ-Einsatz von Nanopartikeln (NP) zur Behandlung kontaminierter Böden und Grundwasserleiter.

- NP = Partikel bei denen mindestens eine Dimension < 100 nm
- NP meist aus Metallen oder Metalloxiden, häufig nanoskaliges Eisen
- Unterschiedlicher Produktionsweisen
- NP optimiert und verändert, um Handhabung und Sanierungsleistung zu verbessern
- z.B.: mit einem Katalysator wie Palladium versetzt oder in funktionelle Hüllmaterialien oder auf aktive Träger (Aktivkohle) aufgebracht.

