
Thermische In-situ-Sanierung im Kluftgestein mit Dampf-Luft-Injektion – es geht ! - Machbarkeitsuntersuchung an einem Standort -

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

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

² Stadtbauamt Villingen-Schwenningen

³ GEOsens, Ingenieurpartnerschaft, Ebringen



23. Dienstbesprechung Altlasten, 22.10.2009, Freiburg-Munzingen

Historie und SU: Standort Biswurm

- ehemalige Städtische Verbrennungsanlage (1960-1974) mit Lager- und Verbrennungsbecken
 - ➡ Leckagen von MKW, CKW in ungesättigte Zone und Grundwasser, Verdacht auf freie organische Phase

- SU 2004-2007: Bestimmung Ausmaß der Kontamination und Nachweis pneumatischer und hydraulischer Sanierungsmöglichkeiten (Pilotsanierungsanlage P&T, BLA, ML-PV)
GEOsens, 2007:
 - ➡ Sanierungspflicht nach BBodSchV
 - ➡ **Vorschlag verschiedener innovativer In-situ-Sanierungsverfahren**

Schadenssituation

Schadensbild 2007

- ➔ ca. 800 m² Kernbereich (Schadensquelle) bis 40 m Mächtigkeit
- ➔ CKW bis 40 mg/L im Grundwasser, bis 3000 mg/m³ in der Bodenluft
- ➔ ca. 1 ha Fläche kontaminiertes Grundwasser (Schadstofffahne)
- ➔ Schadstoffe in UZ und GW

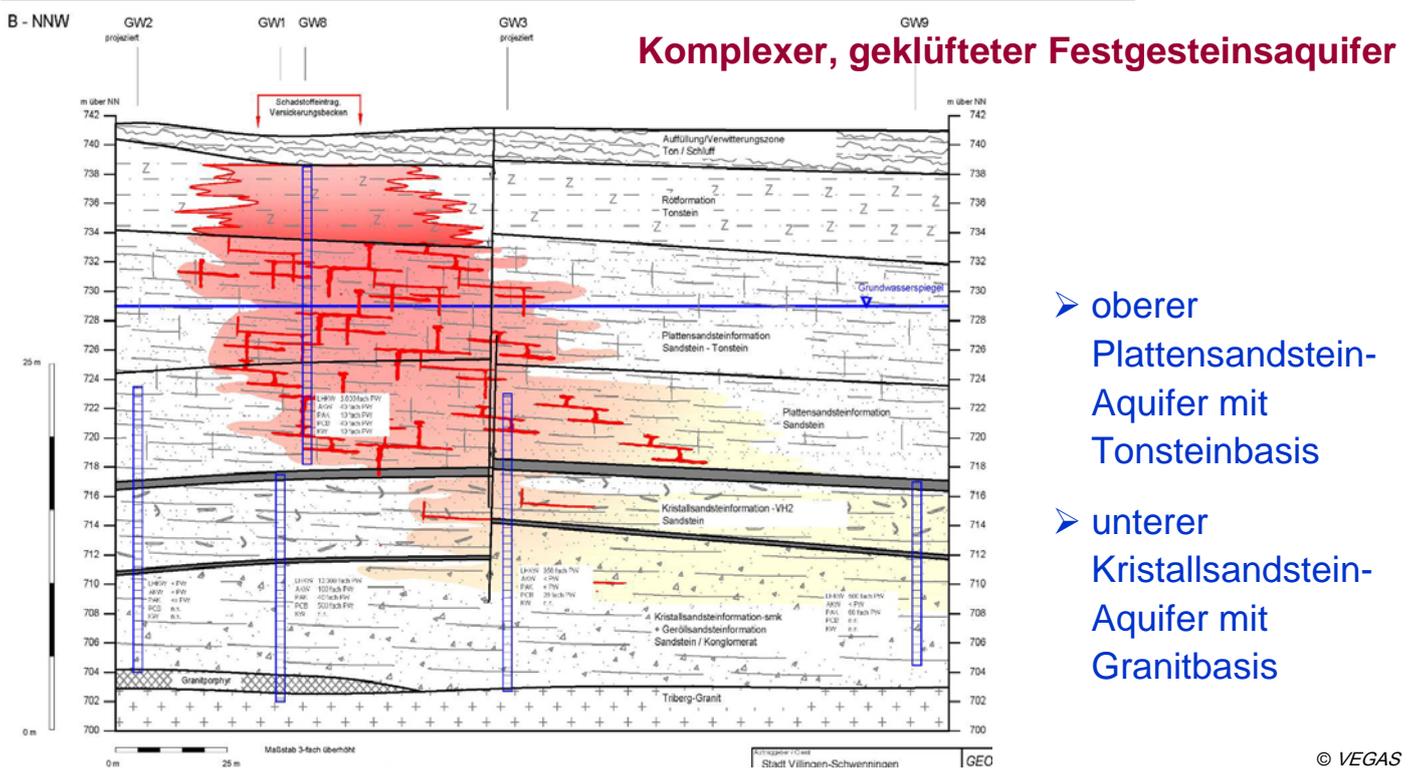
© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluftgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Altlasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 3

Geologie und Schadensbild



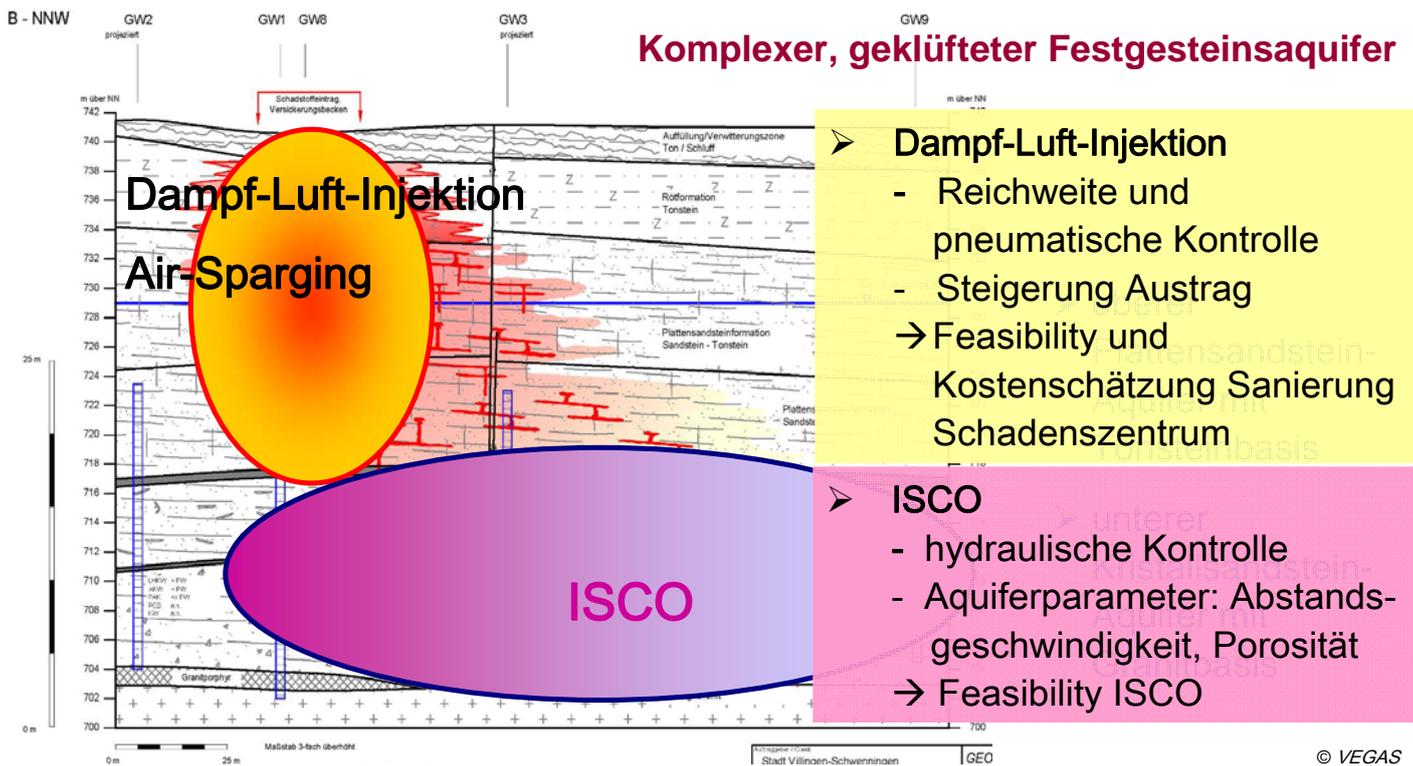
© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluftgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Altlasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 4

Motivation: Sanierungsplanung Standort Biswurm



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Altlasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 5

Aufgabenverteilung

Einsatz thermischer In-situ-Verfahren (MOSAM) zur partiellen Quellensanierung im Rahmen von SAFIRA II

- Planung und Durchführung der thermischen Pilotsanierung und der Eignungstests zum Einsatz von ISCO durch VEGAS
- Finanzierung der Bohrmaßnahmen, Verbrauchsstoffen und Energiekosten durch die Stadt Villingen-Schwenningen (Stadtbauamt)
- Finanzierung des Anlagenbetriebs und Eigentümer von MOSAM: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ, Leipzig
- Innovatives Temperaturmonitoring mittels Geoelektrik: UFZ
- Fachtechnische Betreuung und Monitoring, Sanierungsplan: Ingenieurpartnerschaft GEOsens
- Finanzielle Förderung und fachtechnische Unterstützung: RP Freiburg und LUBW



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Altlasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 6

Planung: Pilotanwendung Dampf-Luft-Injektion

- **Pilotanwendung im Rahmen der Sanierungsplanung: 6 Monate**
 - Bodenluftabsaugung: Schadstoffpotential ungesättigte Zone: 3 Wochen
 - Untersuchung pneumatische Kontrolle (Gastracer) und Effizienz Air-Sparging: 3 Wochen
 - Dampf-Luft-Injektion auf 3 Ebenen in Serie, simultan: 17 Wochen
 - Abkühlphase: 3 Wochen
- **Erschließung Pilotierungsfeld**
 - 1 Injektionsbrunnen, 4 Extraktionsbrunnen, 11 Temperaturmesslanzen
 - Tiefenbereich: bis 20 m u. GOK., Grundwasser ab 13 m u. GOK
 - Einsatz thermische Pilotsanierungsanlage (MOSAM)
 - Integration thermische Anlagentechnik in Sanierungsanlage

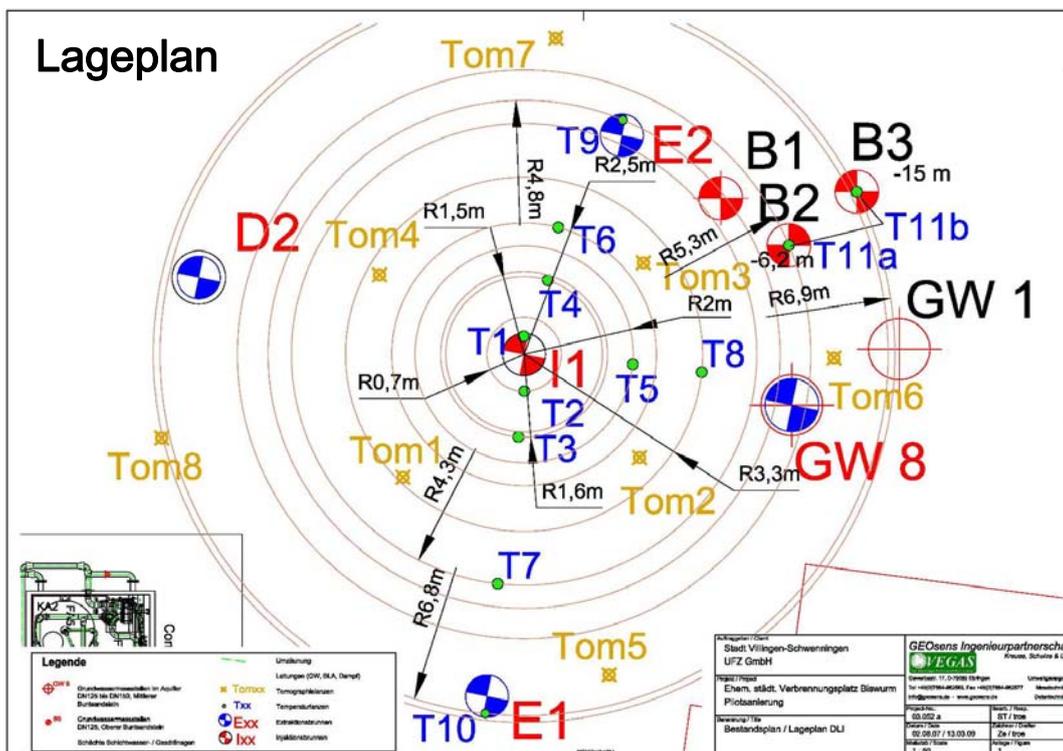
© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Alllasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 7

Ausstattung Pilotfeld Biswurm



Temperaturmonitoring

Radialsymmetrische Wärmeausbreitung
Variation Messachsen / Abstände

20 m Tiefe, mit 10 + 2 Messlanzen (T1 – T11) und 117 Temp.-Fühlern

8 Geoelektrische Sonden (Tom)

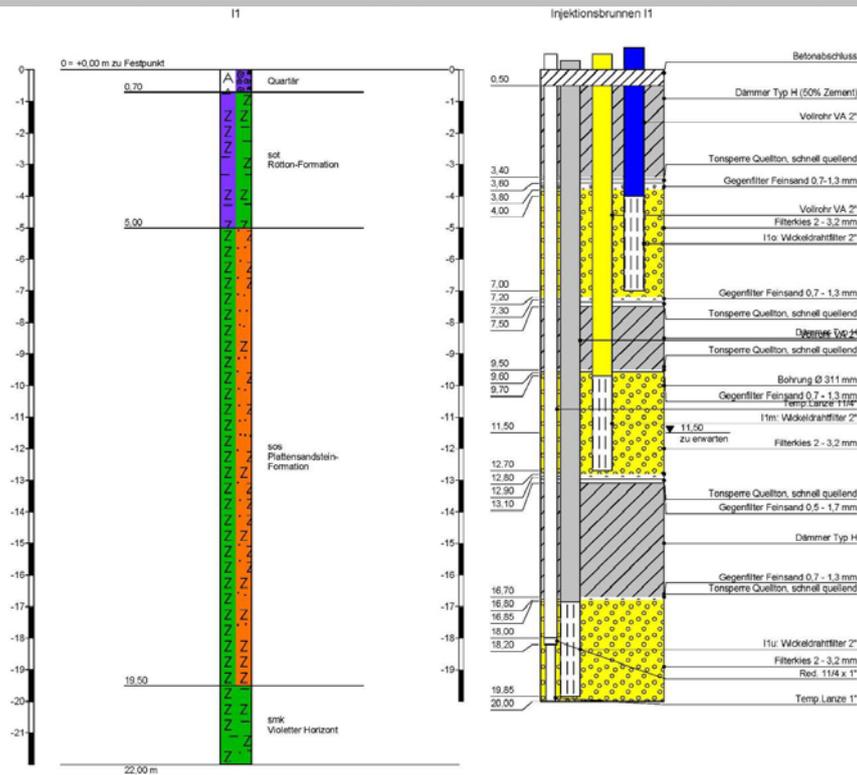
© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Alllasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 8

Injektionsbrunnen mit drei Injektionsebenen



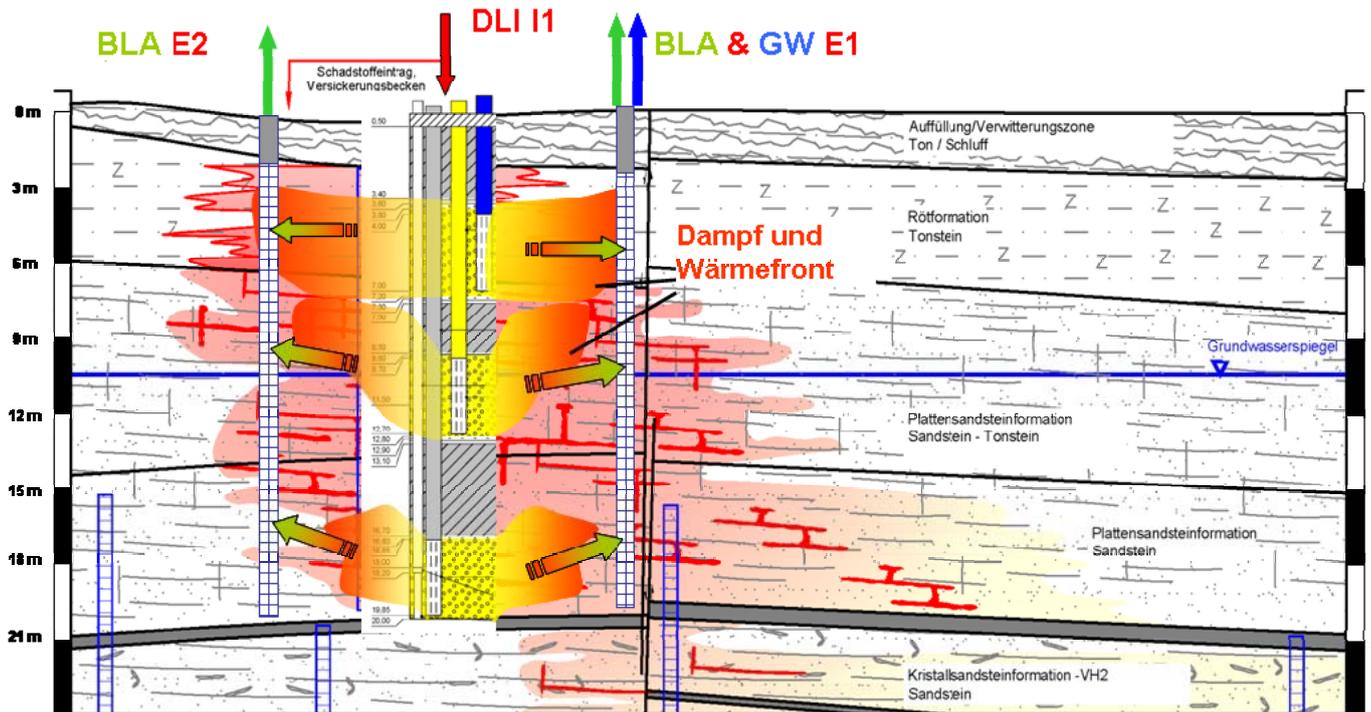
© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluftgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Alllasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 9

Geologie und thermische Erschließung



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluftgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Alllasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 10

Eindrücke vom Testfeld (I)



Inbetriebnahme 26.02.2009



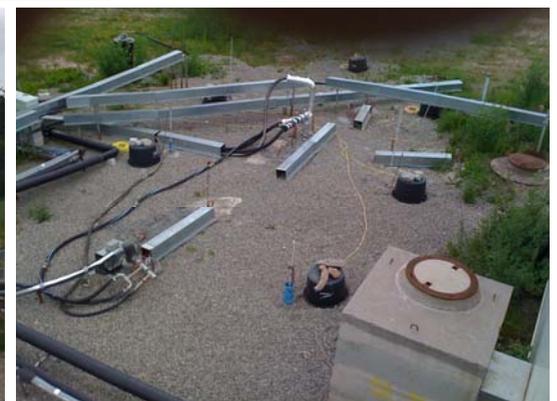
Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Alllasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 11

Eindrücke vom Testfeld (II)



DLI am 19.06.09



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Alllasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 12

Pilotanwendung Dampf-Luft-Injektion Biswurm

Die In-situ-Sanierung (Pilotierung) im Rahmen der SU während Grundwasser-sanierung (Sicherung) untergliedert sich in mehrere Phasen (ca. 7 Monate):

Phase 1: Bodenluftabsaugung (BLA) und Grundwasserhaltung, 2 Wochen
Schadstoffpotential ungesättigte Zone

Phase 2: BLA, Grundwasserhaltung und Air-Sparging, 4 Wochen
Untersuchung pneumatische Kontrolle (Gastracer) und Effizienz Air-Sparging

Phase 3: **Dampf-Luft-Injektion**: ca. 19 Wochen
auf 3 Ebenen in Serie und simultan, Reichweitenbestimmung, Nachweis Sanierung GW und UZ im Pilotfeld

Phase 4: Abkühlungsphase, ca. 4 Wochen
Abschluss und „Sanierungskontrolle“

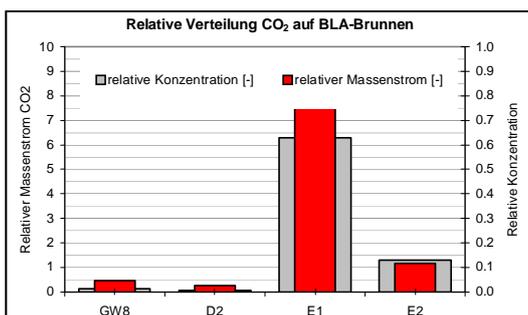
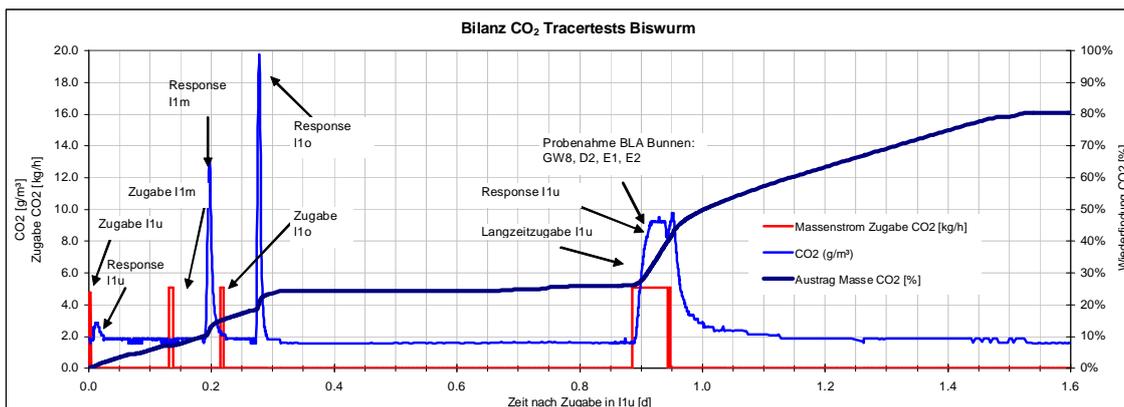
© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Alllasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 13

Pneumatische Anbindung Kluftaquifer: CO₂ Test



➤ **CO₂ Tracertest und Air Sparging**
- Air-Sparging mit Impulszugabe CO₂

➔ pneumatische Sicherung über sehr hohe Wiederfindung nachgewiesen

➔ geringer Porenanteil = Kluftaquifer mit instantaner Response

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Alllasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 14

Pilotanwendung Dampf-Luft-Injektion Biswurm

Die In-situ-Sanierung (Pilotierung) im Rahmen der SU während Grundwasser-sanierung (Sicherung) untergliedert sich in mehrere Phasen (ca. 7 Monate):

Phase 1: Bodenluftabsaugung (BLA) und Grundwasserhaltung, 2 Wochen
Schadstoffpotential ungesättigte Zone

Phase 2: BLA, Grundwasserhaltung und Air-Sparging, 4 Wochen
Untersuchung pneumatische Kontrolle (Gastracer) und
Effizienz Air-Sparging

Phase 3: Dampf-Luft-Injektion: Start: 16.04.2009 (ca. 19 Wochen)
auf 3 Ebenen in Serie und simultan, Reichweitenbestimmung,
Nachweis Sanierung GW und UZ im Pilotfeld

Phase 4: Abkühlungsphase, ca. 4 Wochen
Abschluss und „Sanierungskontrolle“

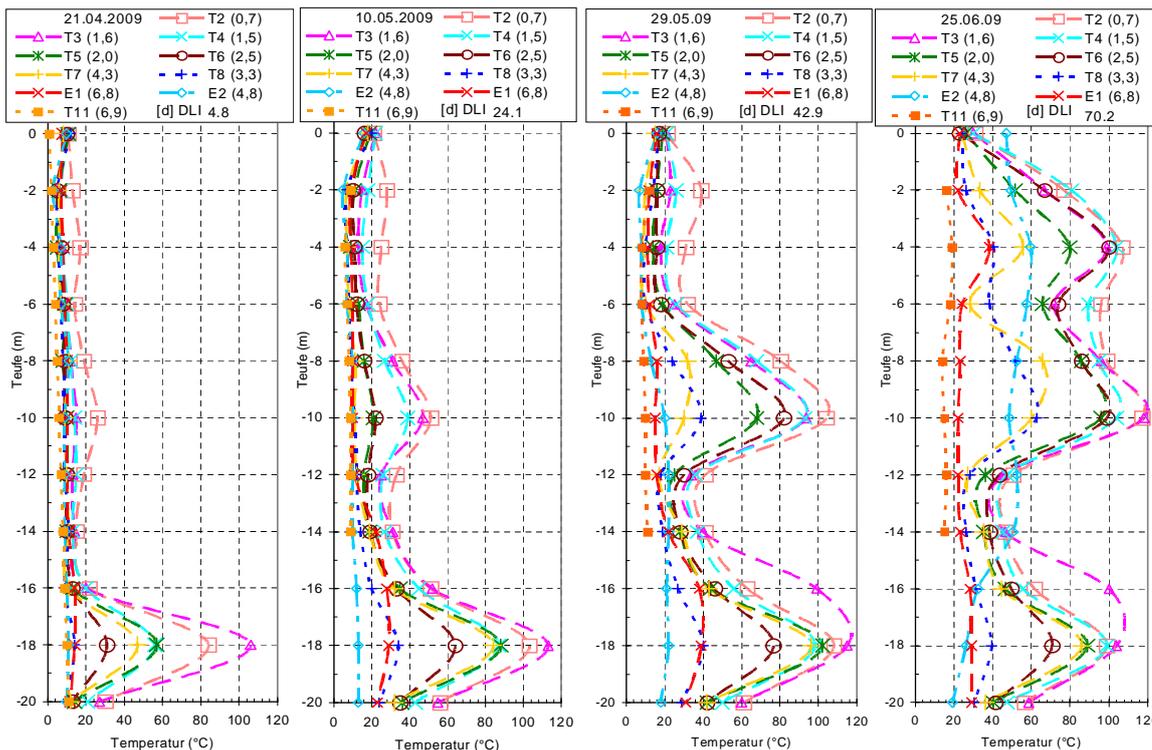
© VEGAS



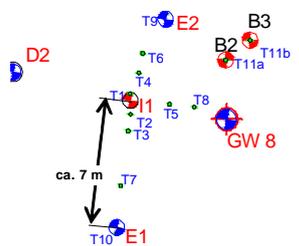
Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Alllasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 15

Wärmeausbreitung (Temperaturprofile)



**3.1 DLI:
16.04.2009**



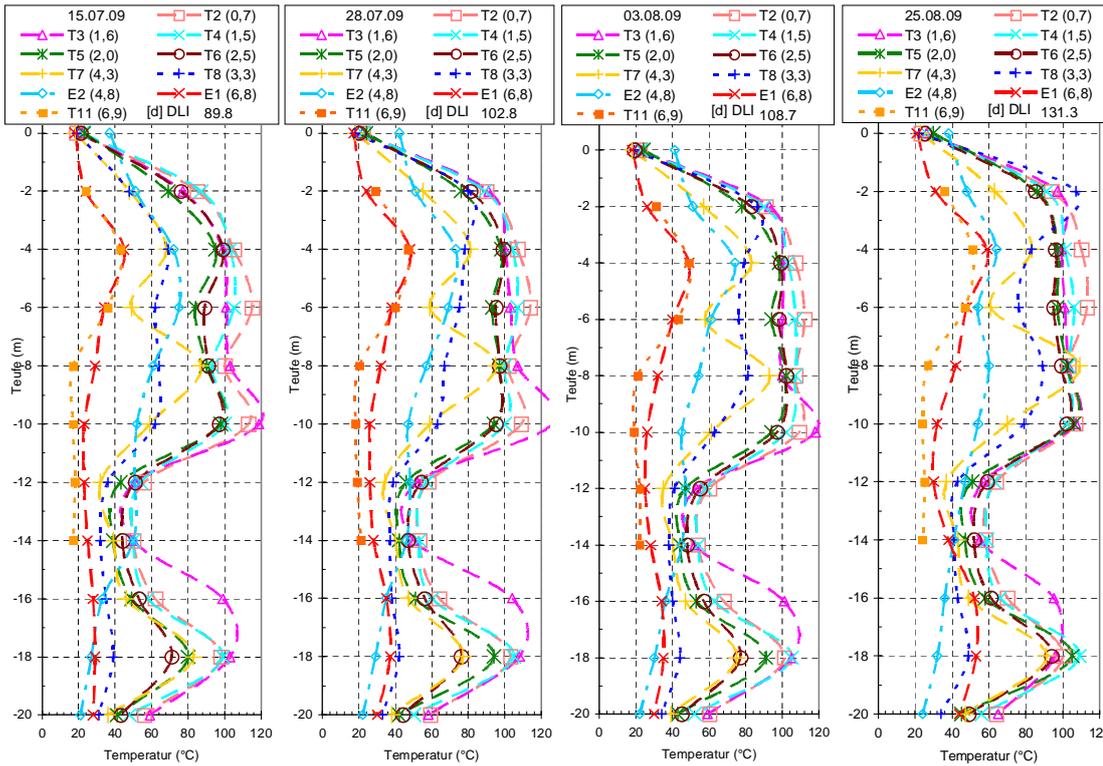
© VEGAS



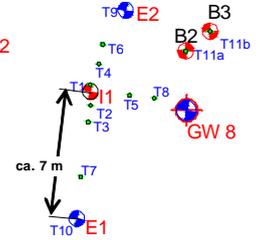
Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Alllasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 16

Wärmeausbreitung (Temperaturprofile)



3.1 DLI:
16.04.2009



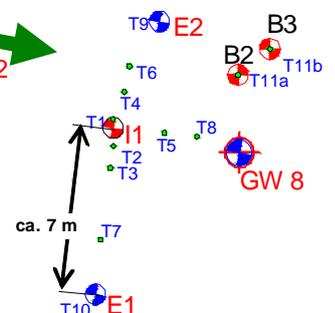
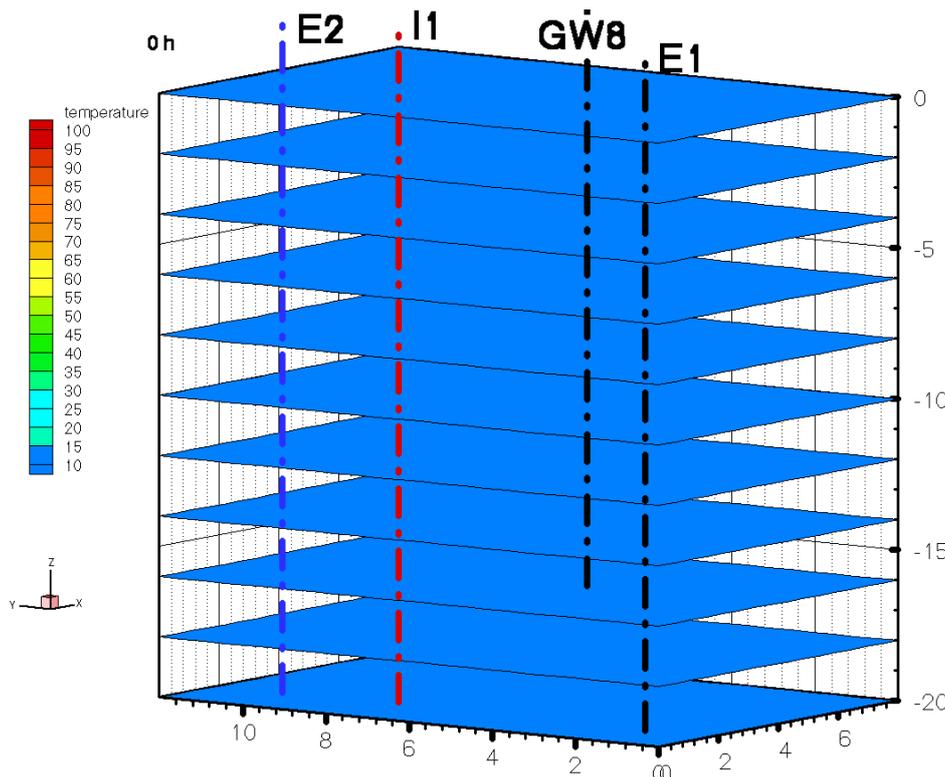
© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Altlasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 17

Wärmeausbreitung



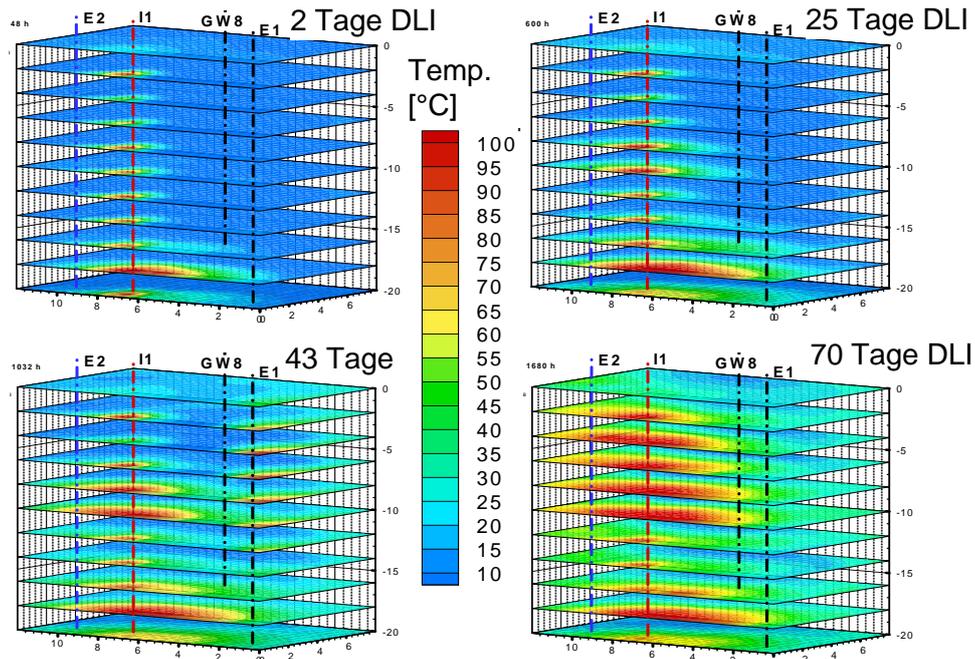
© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Altlasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 18

Wärmeausbreitung



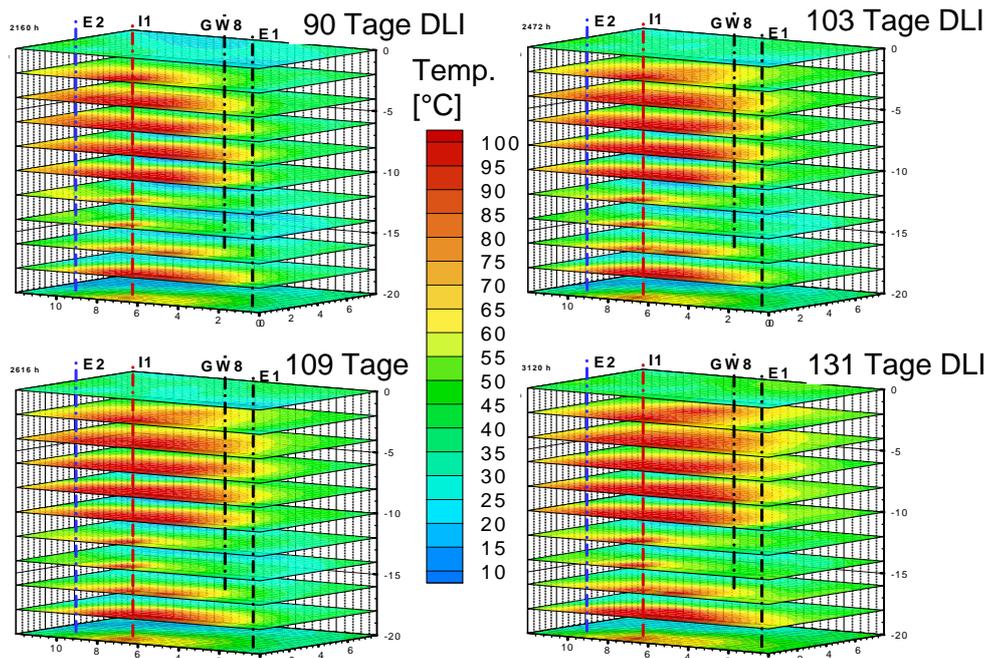
© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Altlasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 19

Wärmeausbreitung



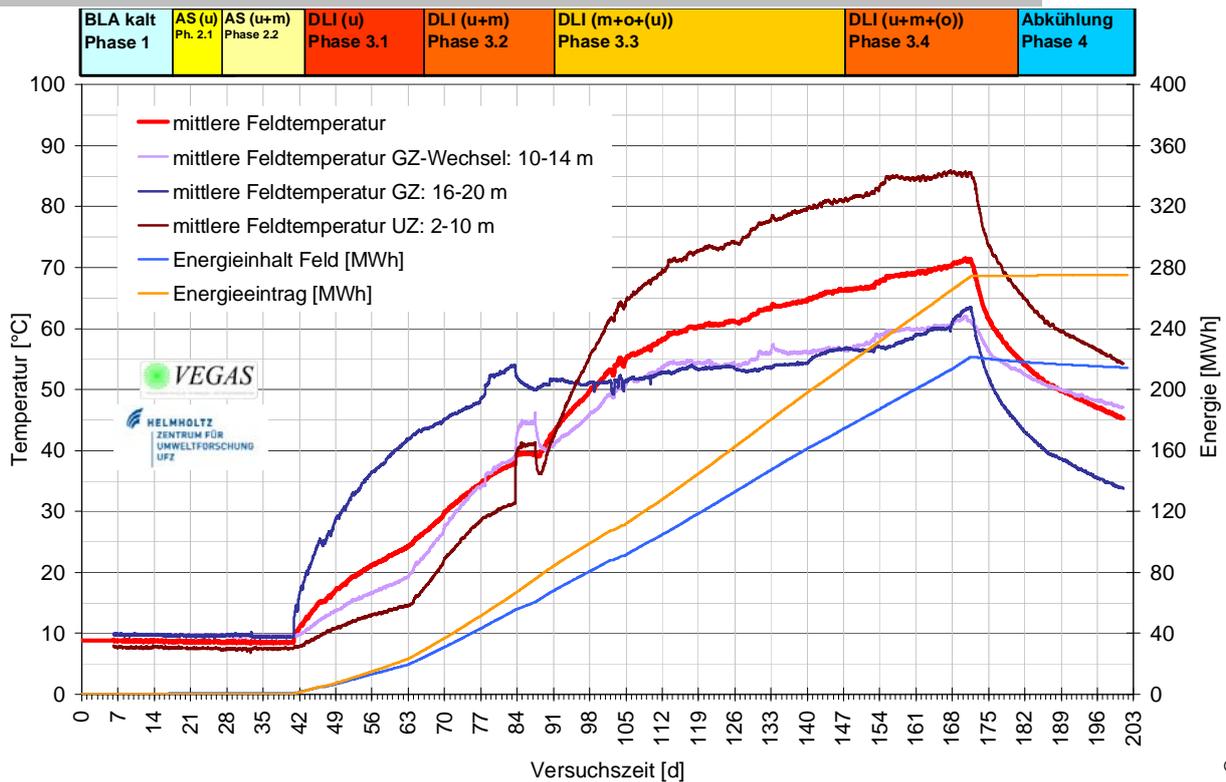
© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Altlasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 20

Energiebilanz und Temperaturentwicklung im Feldbereich



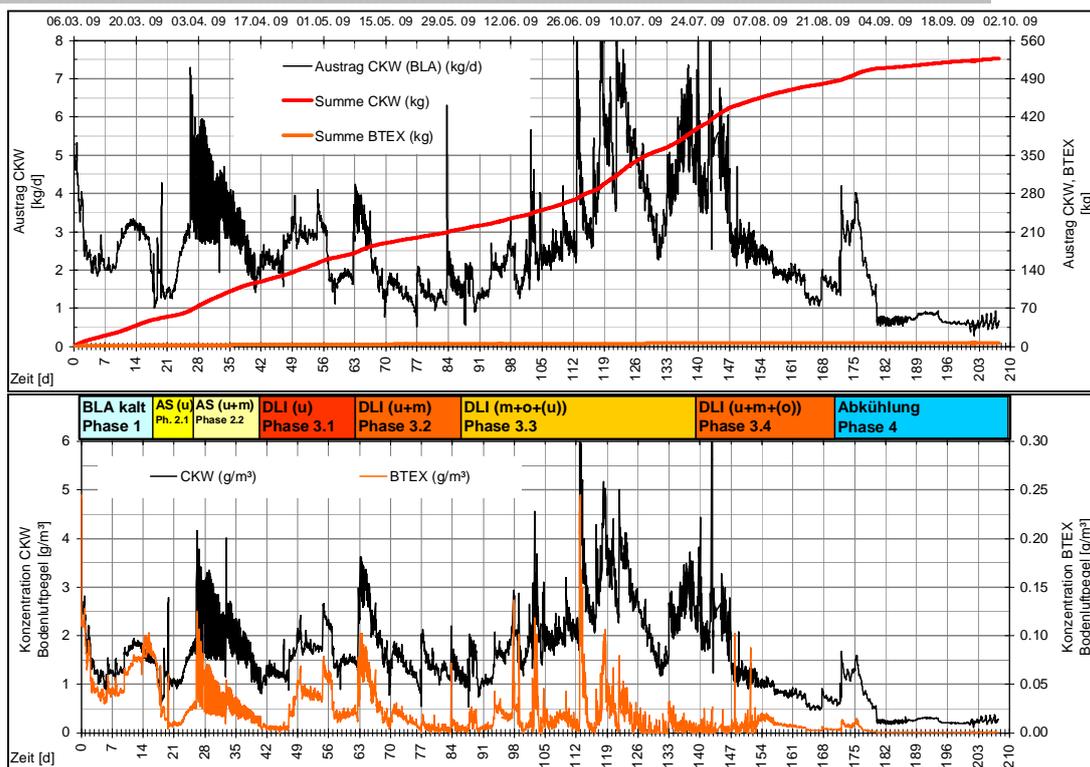
© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffeststein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Alllasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 21

Schadstoffaustrag Bodenluft



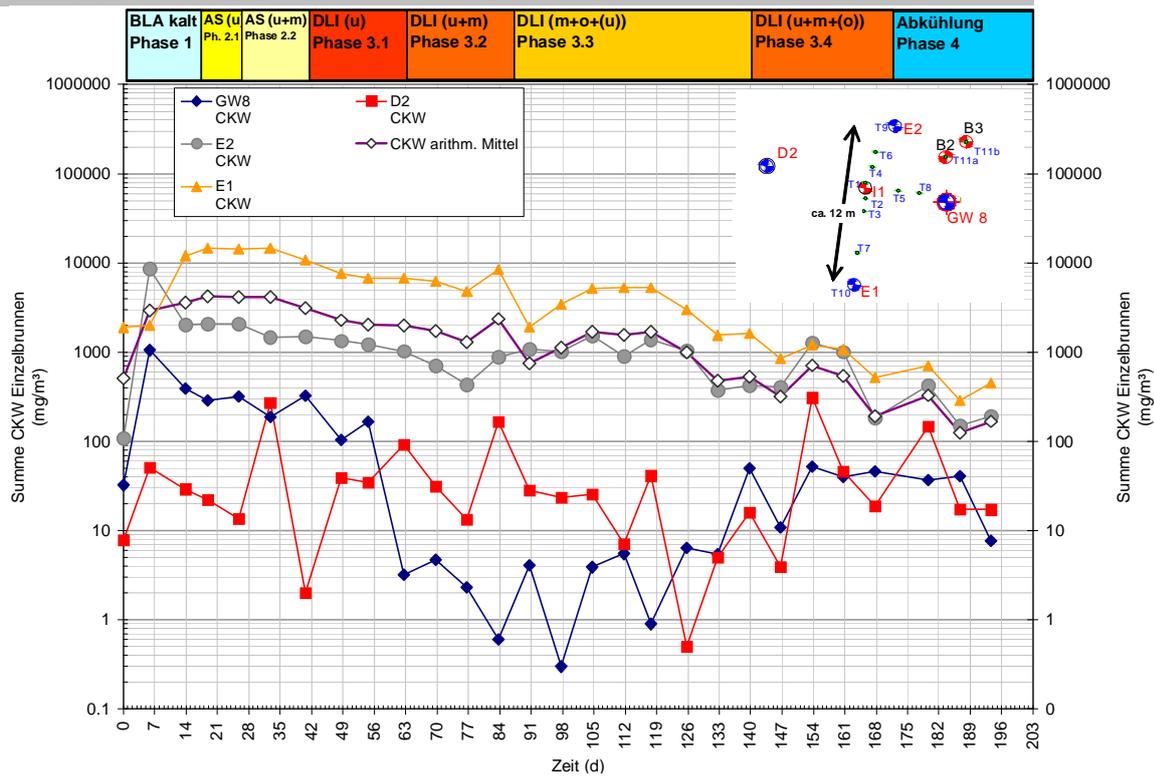
© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffeststein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Alllasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 22

Entwicklung CKW-Gehalte Bodenluft



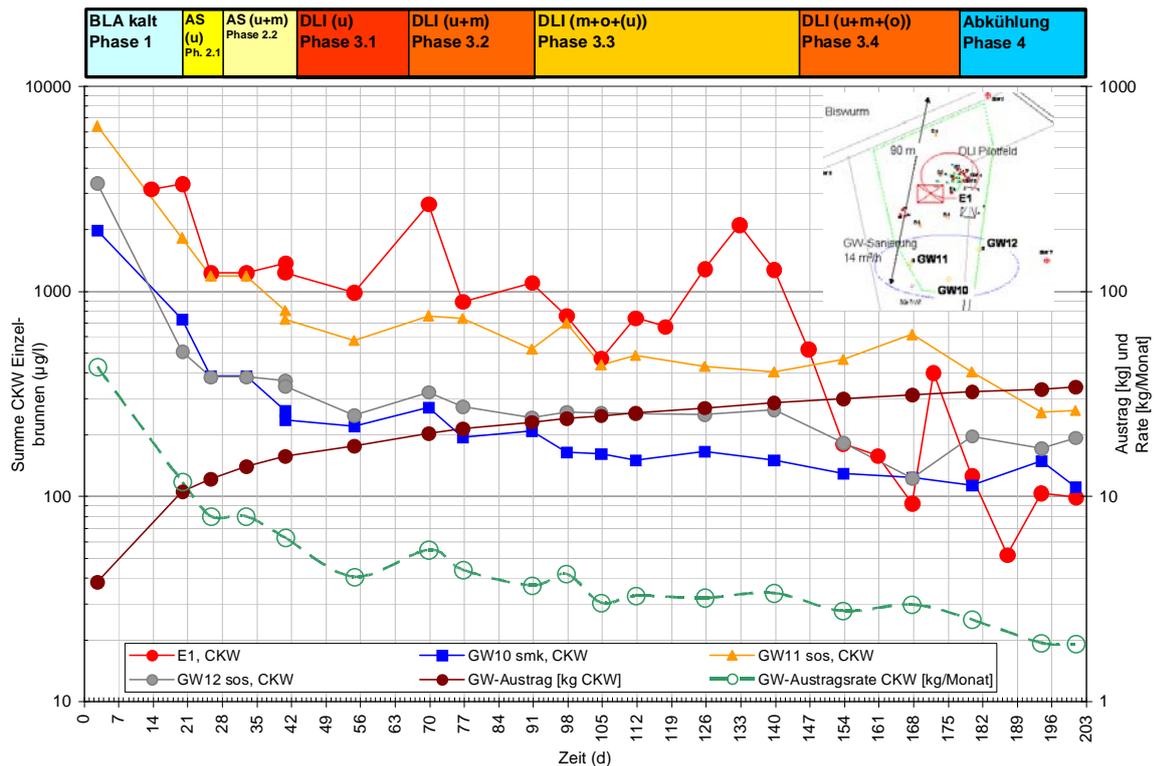
© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluftgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Altlasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 23

Entwicklung CKW-Gehalte Grundwassersanierung



© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluftgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Altlasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 24

Ergebnisüberblick aller Versuchsphasen

Phase	1	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Beginn / Ende	06.03.09 - 24.03.09	24.03.09 - 01.04.09	01.04.09 - 16.04.09	16.04.09 - 08.05.09	08.05.09 - 02.06.09	02.06.09 – 24.07.09	24.07.09 – 25.08.09	25.08.09 – 23.09.09
Dauer [d]	17	8	15	22	25	52	32	29
Ziele	Hintergrundbelastung, Effizienz „kalte“ BLA	Air-Aparging, Nachweis pneumat. Sicherung	Air-Sparging GW-Wechselbereich	DLI, Reichweite, Injektion auf Aquifersohle	DLI, Reichweite, Injektion auf GW-Höhe u. Aquifersohle	DLI, Reichweiten, Injektion UZ, GW-Höhe u. Aquifersohle	DLI, Reichweite, Injektion UZ, GW-Höhe u. Aquifersohle	Abkühlung, Rebound-Effekte ? Restbelastung?
GW-entnahme E1 [m³/h]	1,0 ab 20.03.2009	0,9	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,5
BLA Brunnen [kg/h]	97	63	95	84	59	80	123	140
Luftmenge (Sparging) [kg/h]	-	9,2	15,9	9,7	14,0	20,1	29,6	27,0
Ges. Dampfleistung [kW]	-	-	-	43	83	95	102	-
In I1u / I1m / I1o [kW]	-	-	-	43/-	42/41/-	21/47/29	55/28/18	-
Gesamt CKW (BLA) [kg]	49	16	52	54	45	184	108	19
Austrag CKW (BLA) [kg/d]	2,8	1,9	3,5	2,5	1,8	3,5	3,4	0,7
Ges. Austrag BTEX (BLA [kg])	2,1	0,2	0,8	0,9	0,5	1,3	0,6	0,04
Gesamt CKW (GW) [kg]	7,5	1,5	3,5	2,1	5,6	8,5	3,6	1,9
Temp. Sanierungsfeld [°C]	9	9	9	24	39	65	71	45
Temp im Aquiferbereich der Injektion [°C] I1u/I1m/I1o	-	-	(9,5)	42/19/14	49/41/35	54/56/80	63/61/86	34/47/54

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Altlasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 25

Zusammenfassung

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

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Altlasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 26

Ausblick

- Im oberen Plattensandsteinaquifer kann eine kosten- und zeiteffiziente Sanierung erfolgen
- Aus Kosten-Nutzen Erwägungen kann eine thermische Sanierung des unteren Aquiferbereichs nicht empfohlen werden, wenngleich dies technisch möglich ist
- Sanierungsplanung für eine thermische Sanierung des oberen Grundwasserbereichs und der ungesättigten Zone mittels DLI für eine Fläche von ca. 2.800 m² und einer Mächtigkeit von 15 m wird im Nov. 2009 vorgelegt
- Erste Kostenschätzungen 2,5 – 3,5 Mio. EUR für ca. 80.000 to Boden, Zeitrahmen 3 Jahren
- Grundsätzliche Eignung von ISCO im unteren geklüfteten Kristallsandsteinaquifer

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Altlasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 27

Schlussbemerkungen

- Europaweit zahlreiche Initiativen und Bemühungen lang laufende oder als bisher „aussichtslos“ eingestufte Sanierungen voranzubringen und „nachhaltig“ zu sanieren
- CKW-Schadensfälle weit verbreitet und problematisch
- Kluftaquifere bisher kaum einer Sanierung zugänglich
- Innovative In-situ-Sanierungsverfahren können einen Beitrag zur Lösung dieser Probleme leisten
- Anwendungsmöglichkeiten aber auch die Grenzen bedürfen der Bekanntmachung und des Technologietransfers in die Praxis
- Die Stadt Villingen-Schwenningen und das Land Ba-Wü leistet hierfür einen wichtigen Beitrag

 Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion – es geht !

 bei entsprechendem Standort und dem richtigen Team

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -

23. Dienstbesprechung Altlasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen 28

Zum guten Schluss

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

Gerne beantworte ich Ihre Fragen

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

<http://www.vegasinfo.de>

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

© VEGAS



**Thermische In-situ-Sanierung im Kluffgestein mit Dampf-Luft-Injektion
- Machbarkeitsuntersuchung am Standort Biswurm -**

*23. Dienstbesprechung Altlasten
22.10.2009, Freiburg-Munzingen* 29