
CKW-Sanierung im geklüfteten Festgestein: Thermische In-situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion - Ergebnisse einer Pilotanwendung -

Oliver Trötschler¹, Hans-Peter Koschitzky¹
Bernd Lidola², Michaela Epp², Stefan Schulze³
Holger Weiß⁴, Martin Bittens⁴

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

² Stadtbauamt Villingen-Schwenningen

³ GEOsens, Ingenieurpartnerschaft, Ebringen

⁴ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ



*Strategien zu Boden- und Grundwassersanierung, 23. – 24.11.2009,
DECHEMA, Frankfurt*

Historie und SU: Standort Biswurm

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

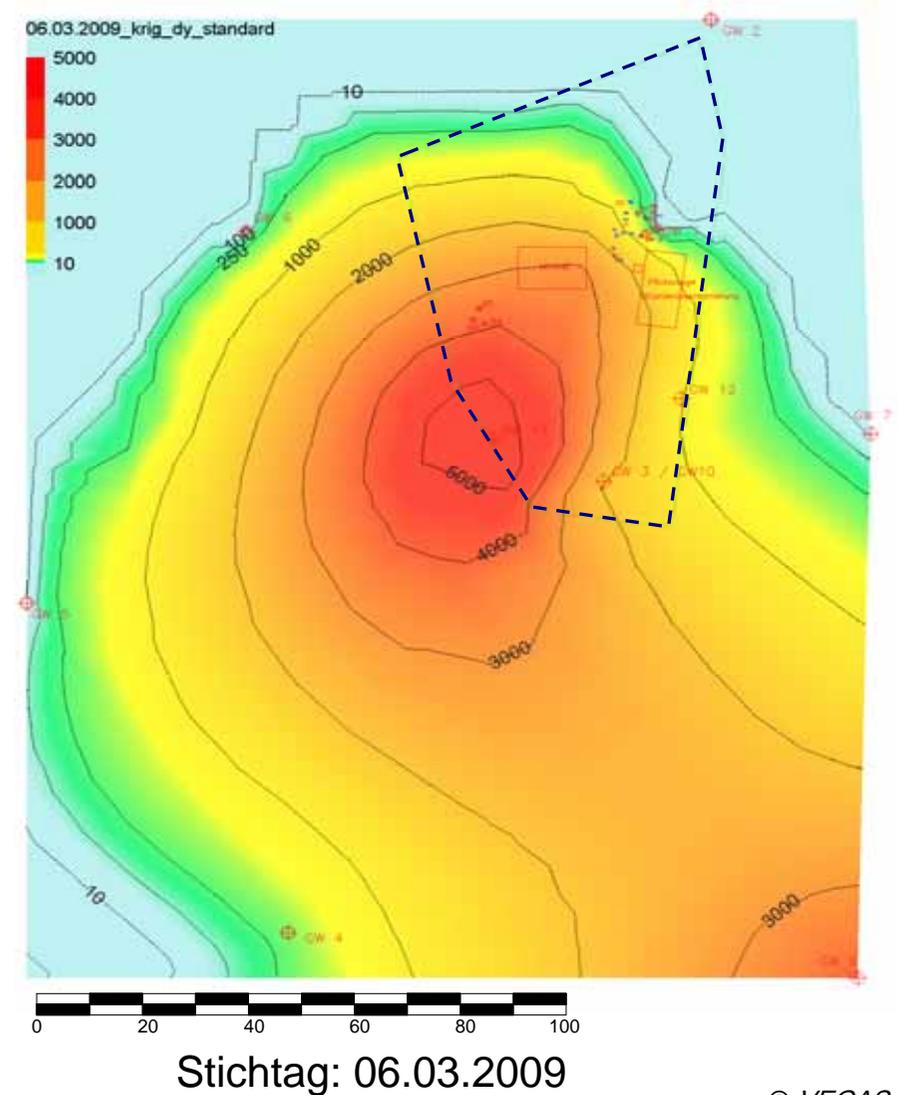
- SU 2004-2007: Bestimmung Ausmaß der Kontamination und Nachweis pneumatischer und hydraulischer Sanierungsmöglichkeiten (Grundwasserreinigungsanlage mit P&T, BLA, ML-PV)
GEOsens, 2007:
 - ➔ zwei Aquiferstockwerke und UZ betroffen:
10 – 100 to CKW, 5 - 50 to AKW und MKW
 - ➔ Sanierungspflicht nach BBodSchV
 - ➔ **Vorschlag zum Einsatz innovativer In-situ-Sanierungsverfahren**

© VEGAS

Schadenssituation

Schadensbild 2007 / 2009

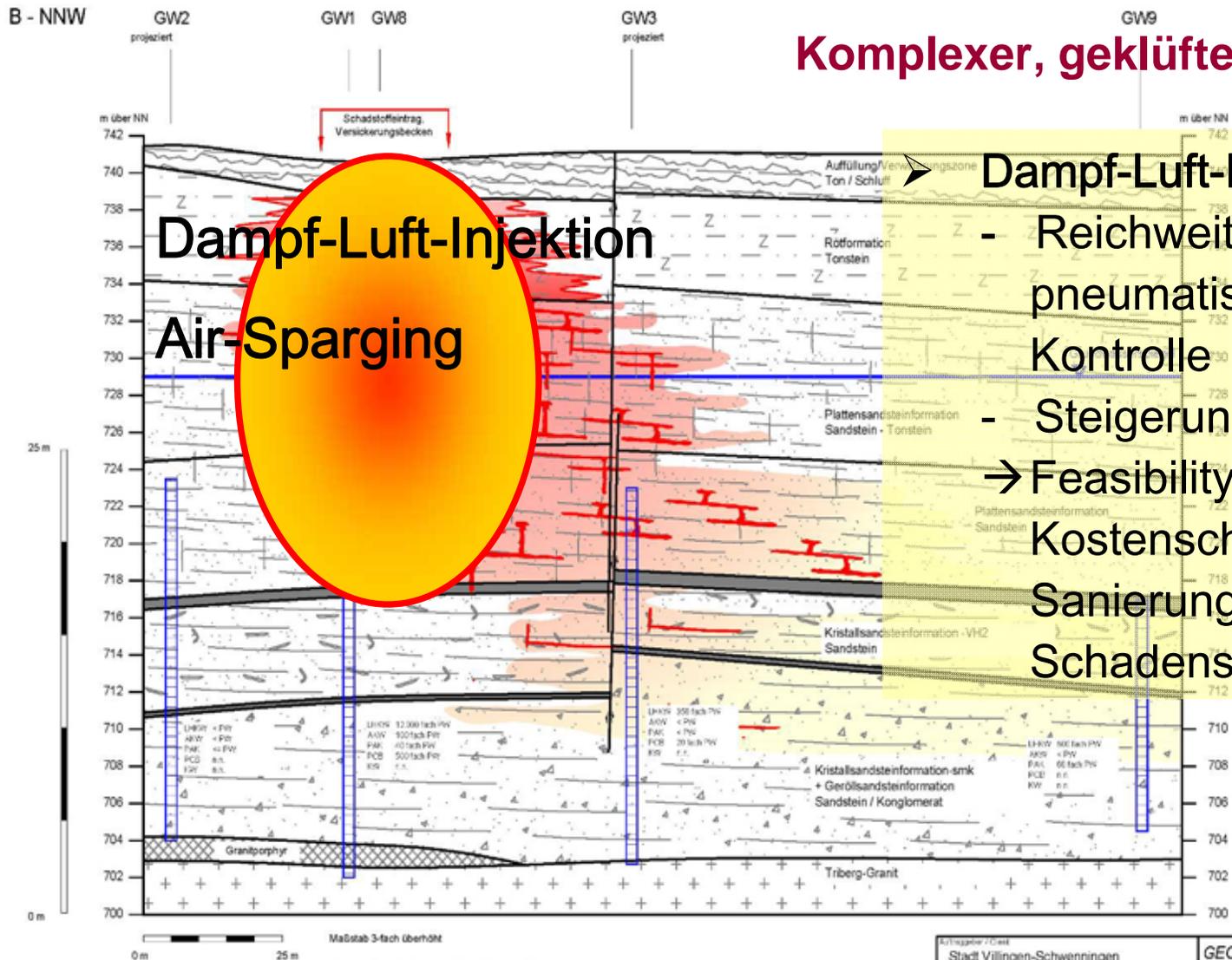
- ➔ ca. 2800 m² Kernbereich (Schadensquelle) bis 40 m Mächtigkeit
- ➔ CKW bis 40 mg/L im Grundwasser, bis 3000 mg/m³ in der Bodenluft
- ➔ Länge Schadstofffahne unbekannt, mind. 1 ha Fläche kontaminiertes Grundwasser
- ➔ Schadstoffe mit hohem Potenzial in UZ und geringerem Potenzial in gesättigter Zone



© VEGAS

Motivation: Sanierungsplanung Standort Biswurm

Komplexer, geklüfteter Festgesteinsaquifer



Dampf-Luft-Injektion
Air-Sparging

Dampf-Luft-Injektion

- Reichweite und pneumatische Kontrolle
- Steigerung Austrag
- Feasibility und Kostenschätzung
- Sanierung
- Schadenszentrum

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

Aufgabenverteilung Pilotanwendung Dampf-Luft-Injektion

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
- Fachtechnische Betreuung und Monitoring, Sanierungsplan: Ingenieurpartnerschaft GEOsens
- Finanzielle Förderung und fachtechnische Unterstützung: RP Freiburg und LUBW

© *VEGAS*

Pilotanwendung Dampf-Luft-Injektion Biswurm

Pilotanwendung DLI im Rahmen der Sanierungsplanung mit laufender Grundwassersicherung 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

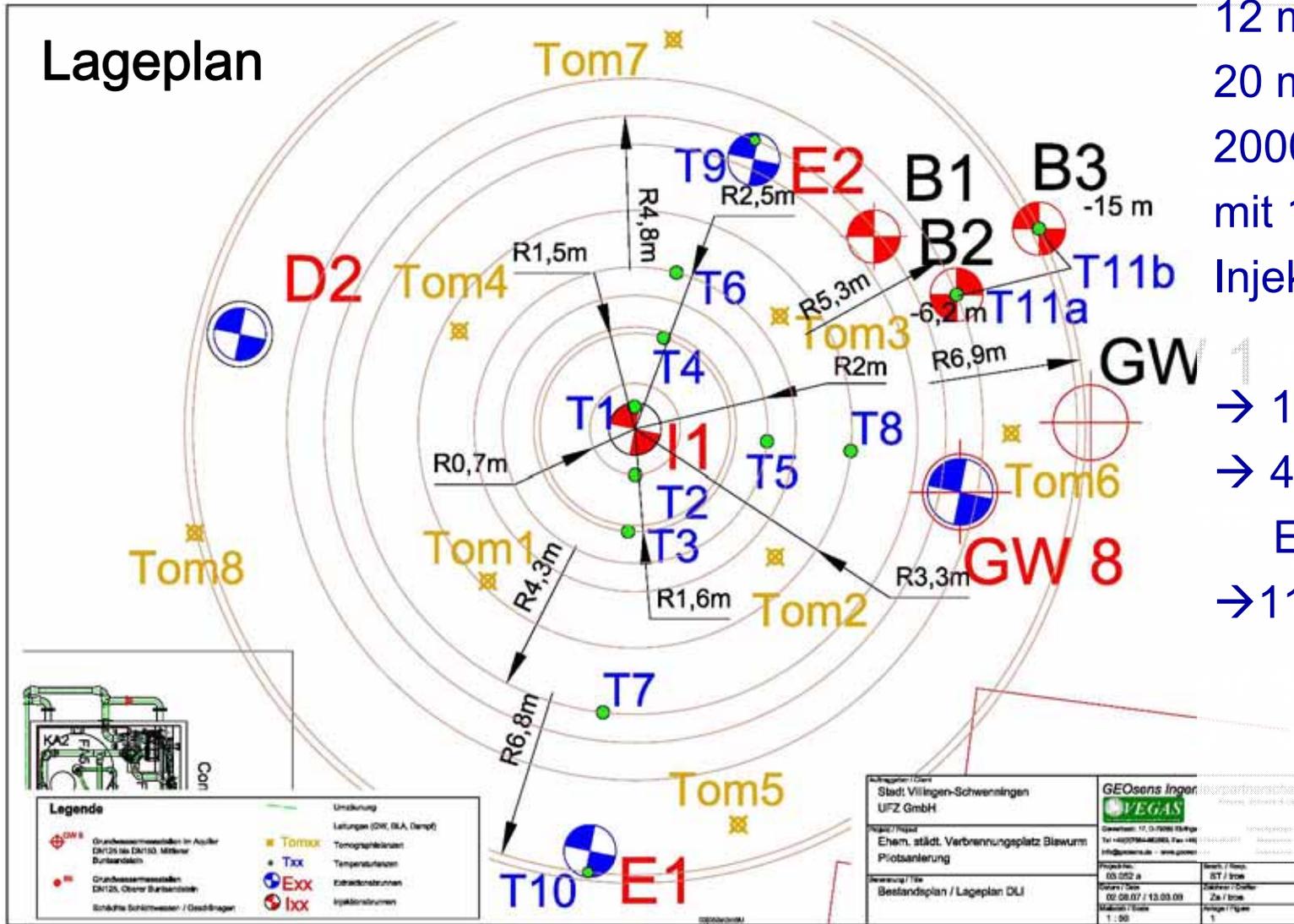
Phase 3: Dampf-Luft-Injektion: Start: 16.04.2009 (ca. 19 Wochen)
auf 3 Ebenen in serieller Zuschaltung, Reichweitenbestimmung, Nachweis Sanierung GW und UZ im Pilotfeld

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

© VEGAS

Ausstattung Pilotfeld Biswurm

Lageplan



12 m Durchmesser,
20 m Tiefe,
2000 m³ Kluftgestein
mit 100 kW
Injektionsleistung

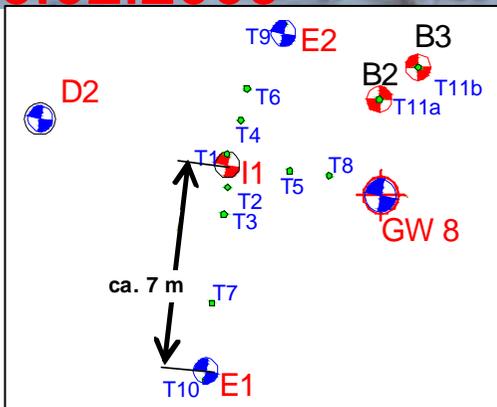
- 1 Injektionsbrunnen I1
- 4 Extraktionsbrunnen
E1, E2, D2, GW8
- 11 Temperatur-
messlanzen T1 - T11
- 117 Temperatur-Fühler
- 8 geo-elektrische
Sonden (Tom)

© VEGAS

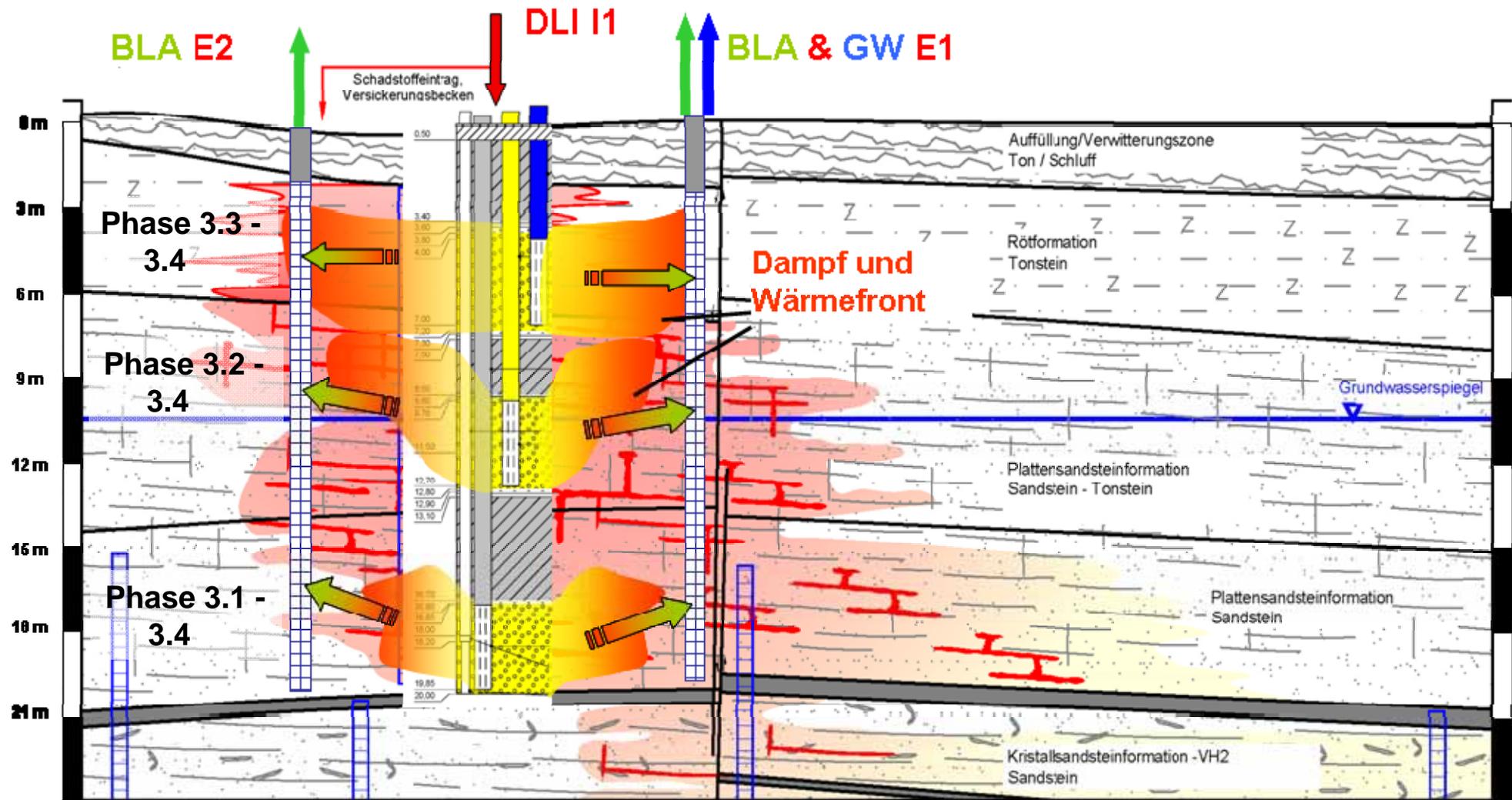
Eindrücke vom Testfeld



DLI am 19.06.09



Geologie und thermische Erschließung



Vorlage GEOsens (2007) ©

© VEGAS



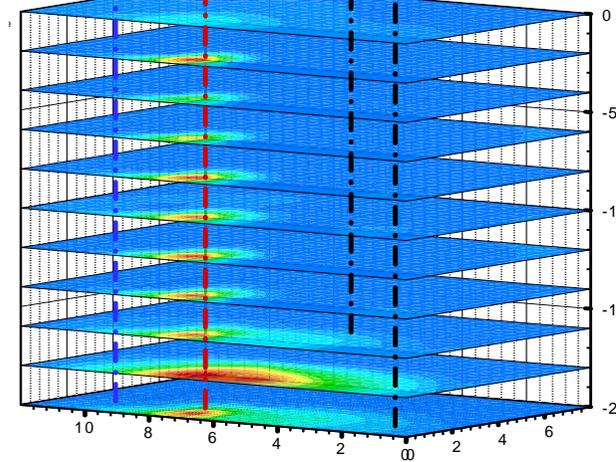
Thermische In-situ-Sanierung im Kluftsandstein mit Dampf-Luft-Injektion

- Ergebnisse einer Pilotsanierung -

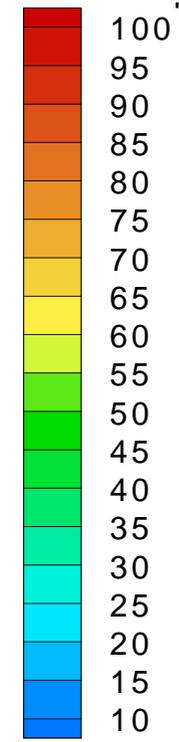
Strategien zur Boden- und Grundwassersanierung
DECHEMA, Frankfurt, 23.11.2009

Wärmeausbreitung

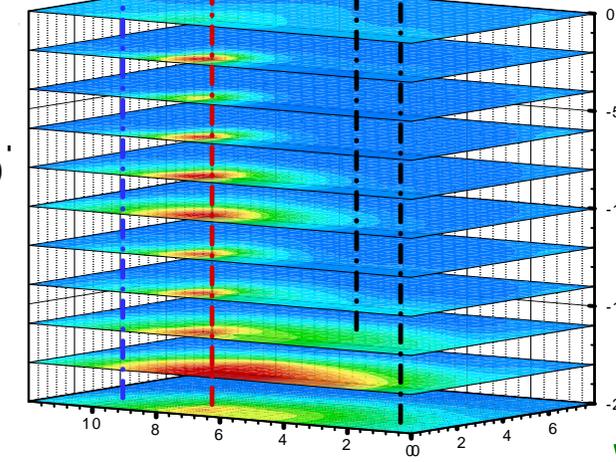
48 h E2 I1 Gw8 E1 2 Tage DLI



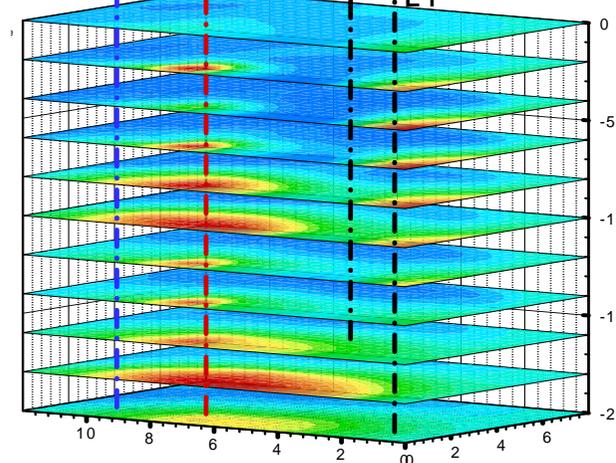
Temp. [°C]



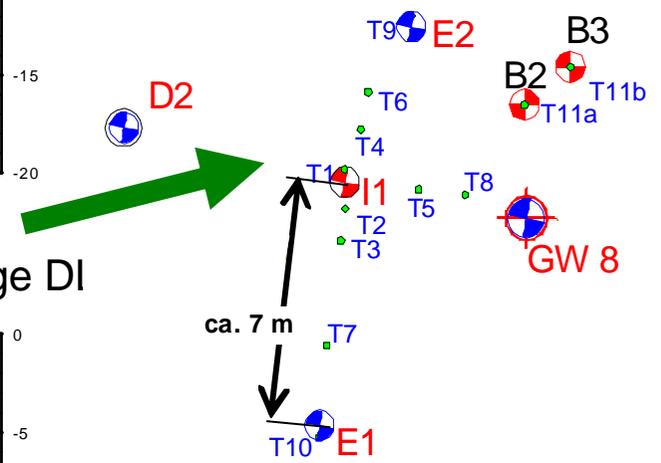
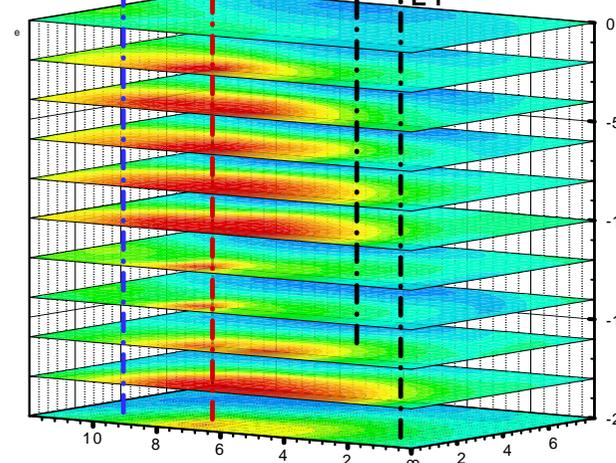
600 h E2 I1 Gw8 E1 25 Tage DLI



1032 h E2 I1 Gw8 E1 43 Tage



1680 h E2 I1 Gw8 E1 70 Tage DI



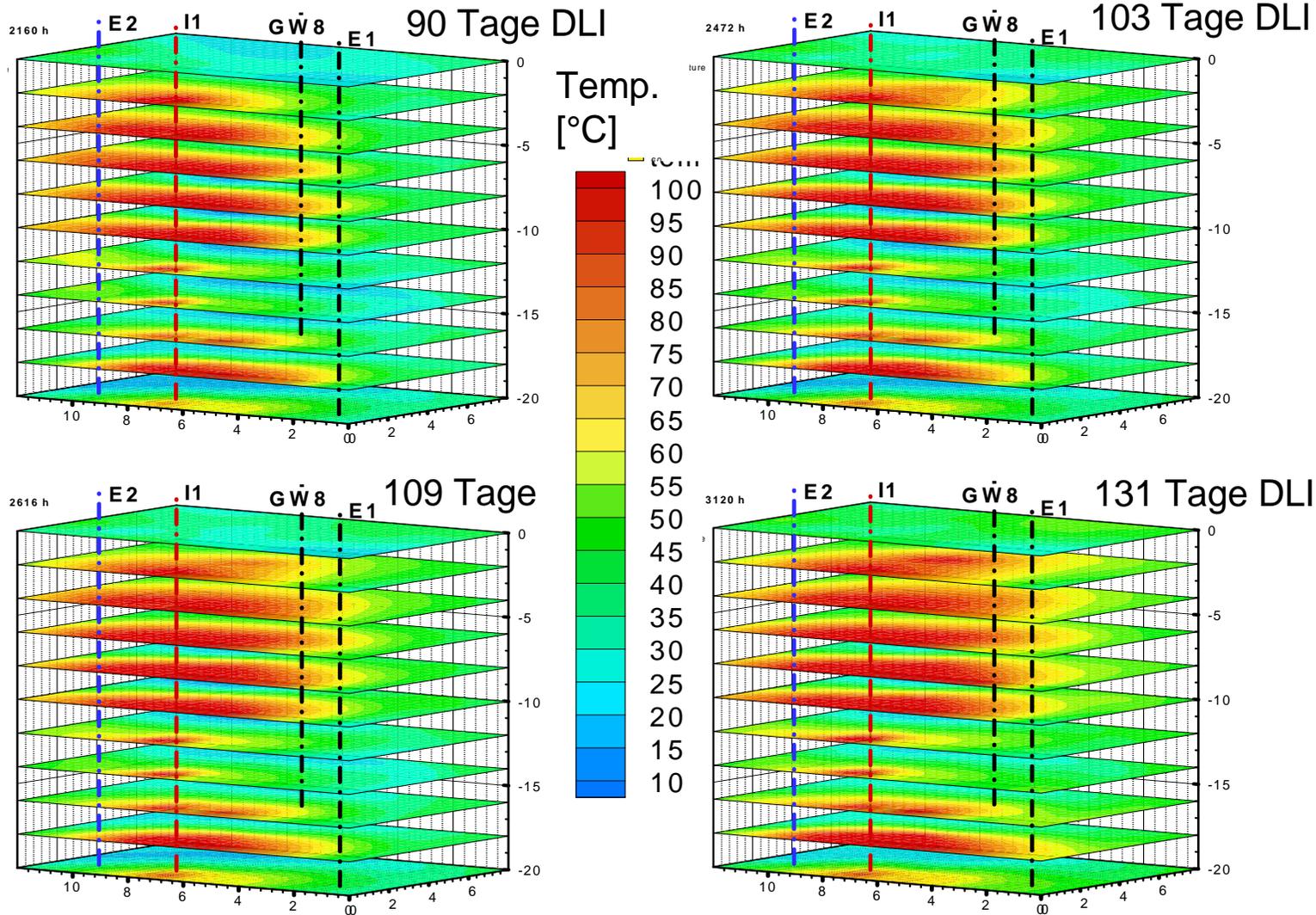
© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluftsandstein mit Dampf-Luft-Injektion
- Ergebnisse einer Pilotsanierung -

Strategien zur Boden- und Grundwassersanierung
DECHEMA, Frankfurt, 23.11.2009

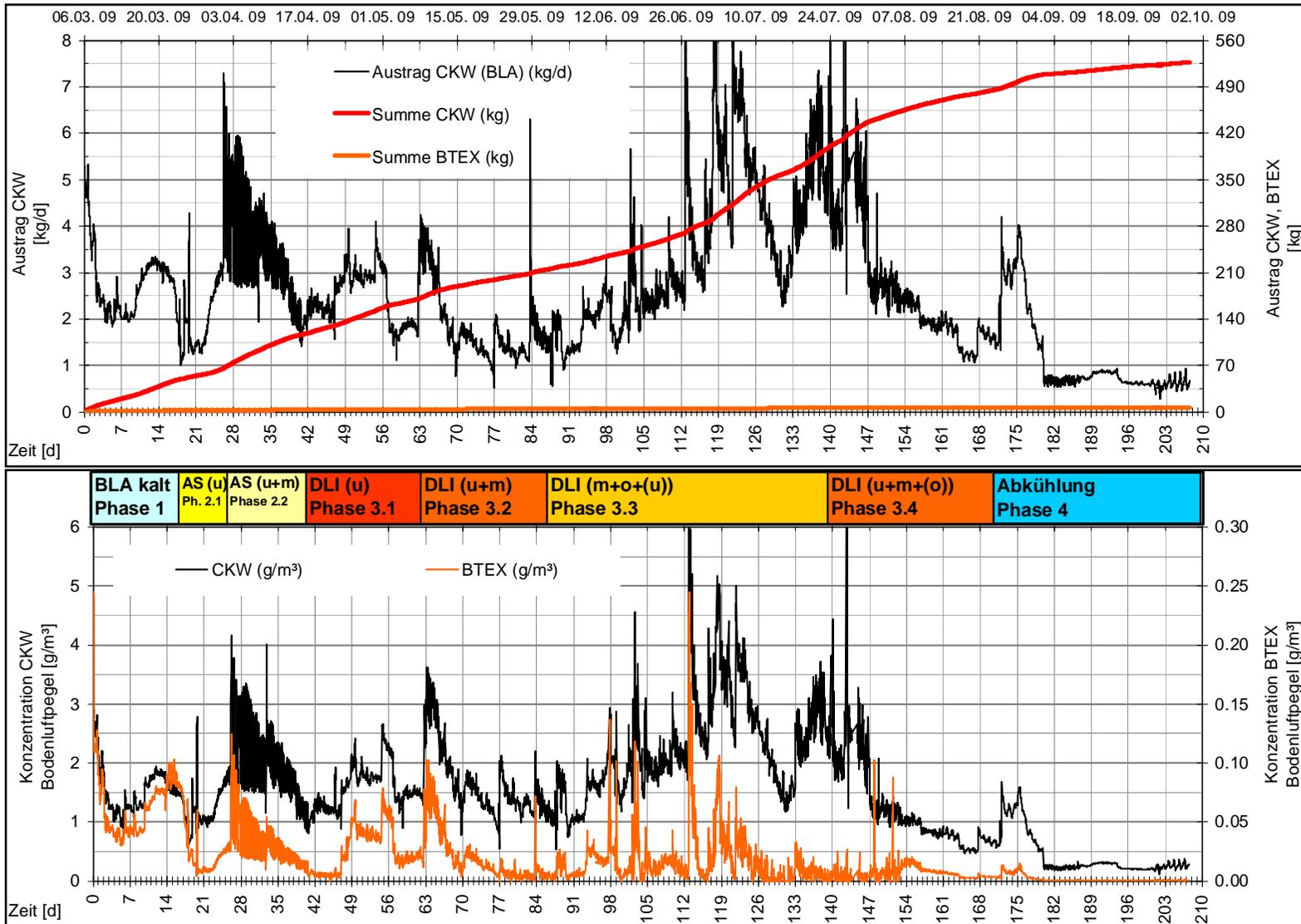
Wärmeausbreitung



- Thermische Reichweite an Aquiferbasis: 2 – 3 m Radius
- Thermische Reichweite GW-Höhe und UZ: größer 5 m Radius

© VEGAS

Schadstoffaustrag Bodenluft



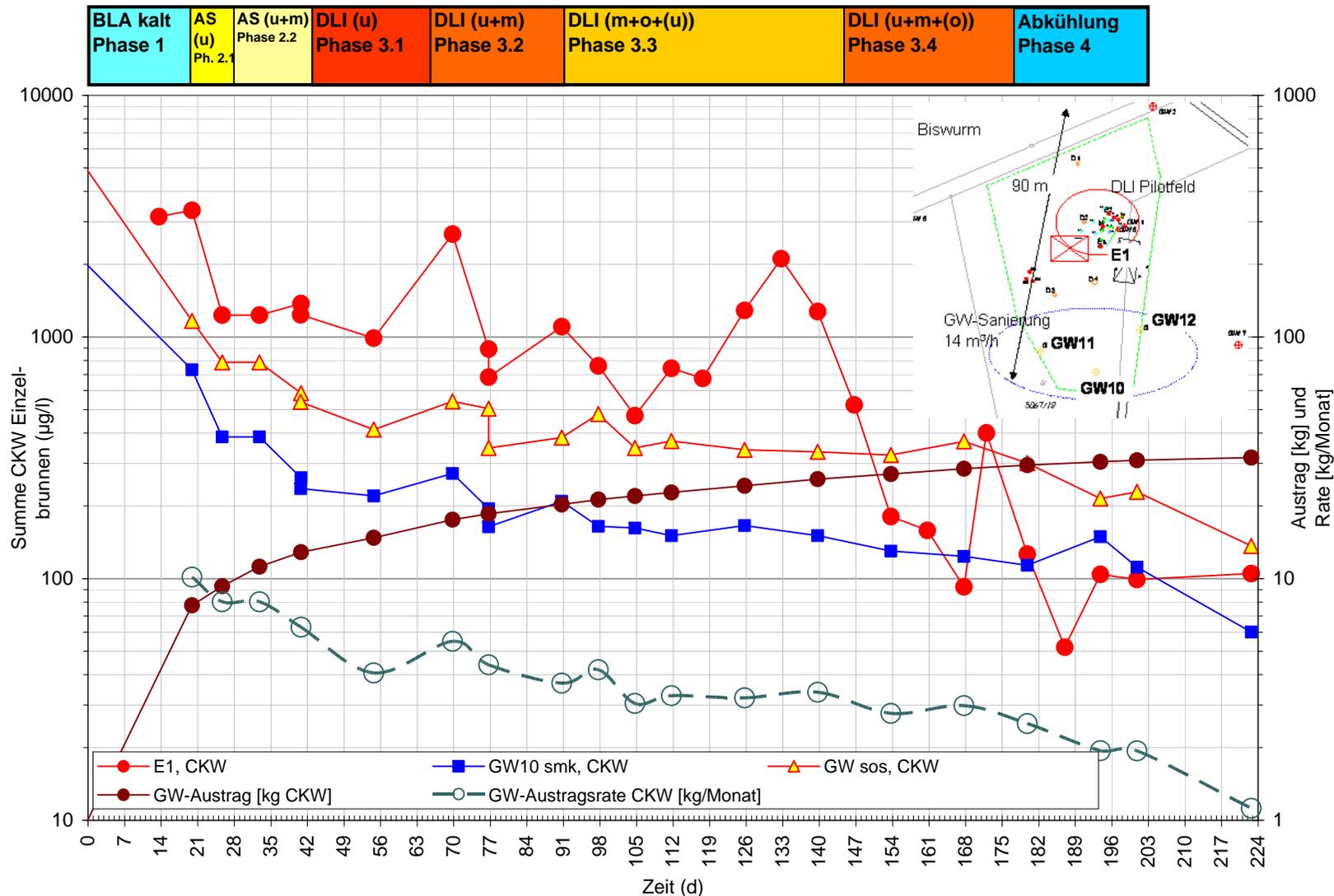
→ Hohes Schadstoffpotenzial GW-Wechsel und UZ

→ Air-Sparging mit zeitlich limitierter, hoher Austragsleistung

→ Höchste Austragsleistungen DLI auf GW-Höhe und in UZ

→ CKW-Gehalt um Faktor 15 reduziert © VEGAS

Entwicklung CKW-Gehalte Grundwassersanierung



- Rückgang an E1 (Abstrom Pilotfläche) auf 100 µg/l
- Kein Rebound-Effekt
- Emission Schadensherd bei 1,1 kg CKW je Monat
- CKW-Austrag über GW „nur“ 6% des Gesamtaustrags

© VEGAS

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-Förderung 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	-
Austrag CKW (BLA) [kg]	49	16	52	54	45	184	108	19
Austrag CKW (BLA) [kg/d]	2,8 → 1,1	1,9	3,5 → 1,9	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
Austrag 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

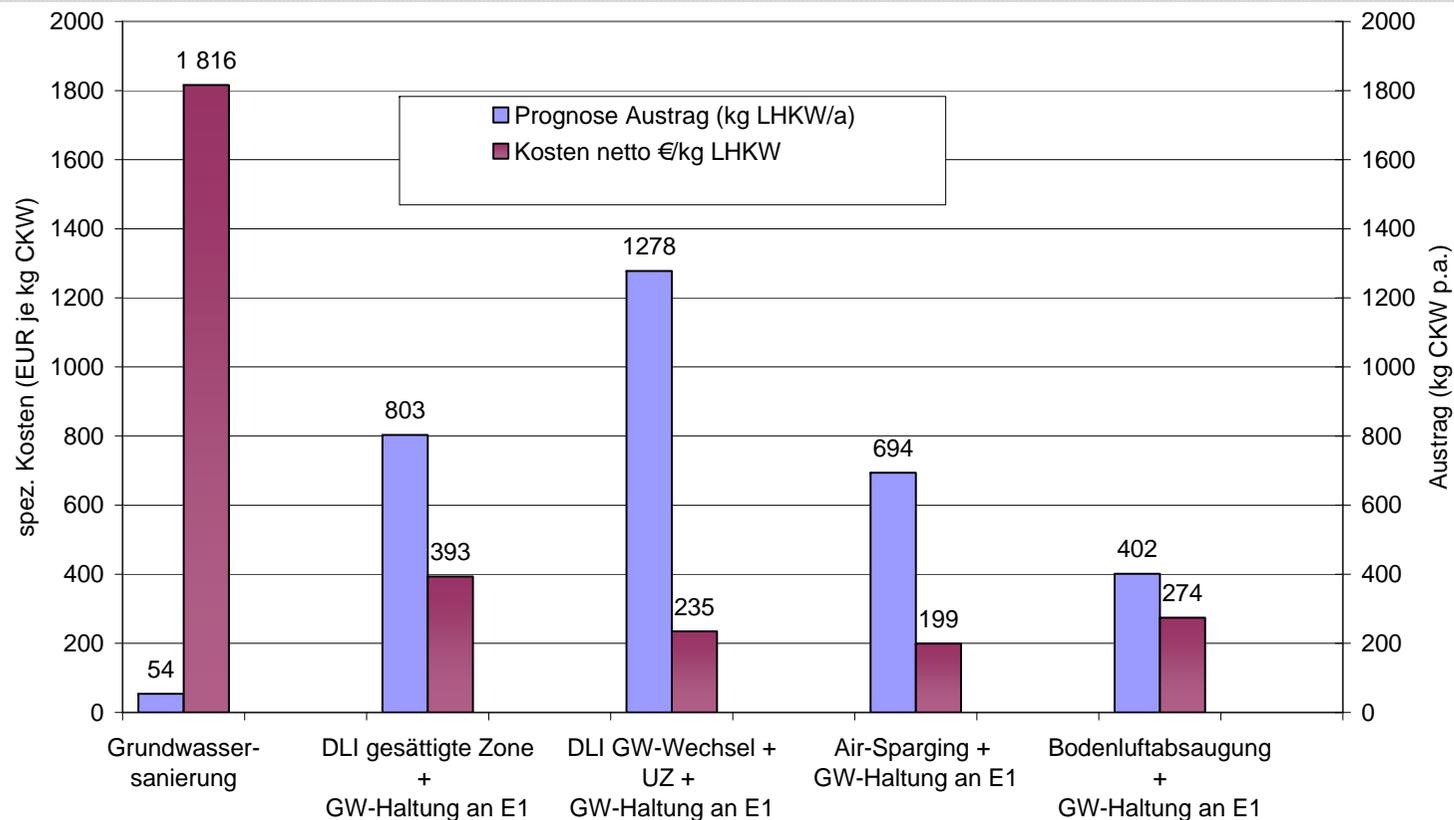
© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluftsandstein mit Dampf-Luft-Injektion
- Ergebnisse einer Pilotsanierung -

Strategien zur Boden- und Grundwassersanierung
DECHEMA, Frankfurt, 23.11.2009

Vergleich der Sanierungstechniken während Pilotanwendung



- Grundwassersanierung, bzw. -sicherung nicht ökonomisch aufgrund geringer Austragsrate
- Air-Sparging für gesättigte Zone als ökonomische Alternative mit Einschränkung
- DLI (GWW+UZ) = wirtschaftlich
- BLA um 15% teurer als DLI

© VEGAS

Zusammenfassung (I)

- 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 mit 4 – 6 m Durchmesser 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

Zusammenfassung (II)

- **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: Kostenrahmen für ca. 80.000 to Festgestein: **2,6 Mio. EUR in 3 Jahren Betriebszeit**
- **Kostenparität** der DLI mit der Grundwassersicherung nach 20 – 25 Jahren Betriebsdauer
- **Geschätzte Betriebsdauer** Grundwassersicherung länger als 100 Jahre
- **Im oberen Plattensandsteinaquifer** kann eine **kosten- und zeiteffiziente Thermische Sanierung** erfolgen
- **Aus Kosten-Nutzen Erwägungen keine Empfehlung** für DLI im unteren Aquiferbereich, wenngleich dies technisch möglich ist

© VEGAS

Zum guten Schluss

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

Gerne beantworte ich Ihre Fragen

oliver.troetschler@iws.uni-stuttgart.de

<http://www.vegasinfo.de>

Dipl.-Ing. (FH) Oliver Trötschler, Betriebsingenieur
VEGAS, Versuchseinrichtung zur Grundwasser-
und Altlastensanierung, Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 61, 70569 Stuttgart
Tel.: 0711 685-67021, Fax: 0711 685-67020

© VEGAS



Thermische In-situ-Sanierung im Kluftsandstein mit Dampf-Luft-Injektion
- Ergebnisse einer Pilotsanierung -

Strategien zur Boden- und Grundwassersanierung
DECHEMA, Frankfurt, 23.11.2009