Übersicht und Einsatzmöglichkeiten innovativer In-Situ-Verfahren: Thermik, ISCO, Nano-Technologie

Hans-Peter Koschitzky
Oliver Trötschler, Norbert Klaas, Jürgen Braun et al.
Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung, Universität Stuttgart
koschitzky@iws.uni-stuttgart.de

Fortbildungsverbund Boden und Altlasten Baden-Württemberg

Seminar 10/2013
LCKW-Herdsanierung
Landesbibliothek Karlsruhe
19. November 2013

Was können Sie erwarten

Entstehung von Schadensherden

TisS - Thermische In-Situ-Sanierungsverfahren

- **Grundlagen**
- **Operating Windows**
- **Stand der Entwicklungen, Projektbeispiele**

ISCO - In-Situ-Chemische-Oxidation

- **Überblick, Anwendungsmöglichkeiten, Besonderheiten**

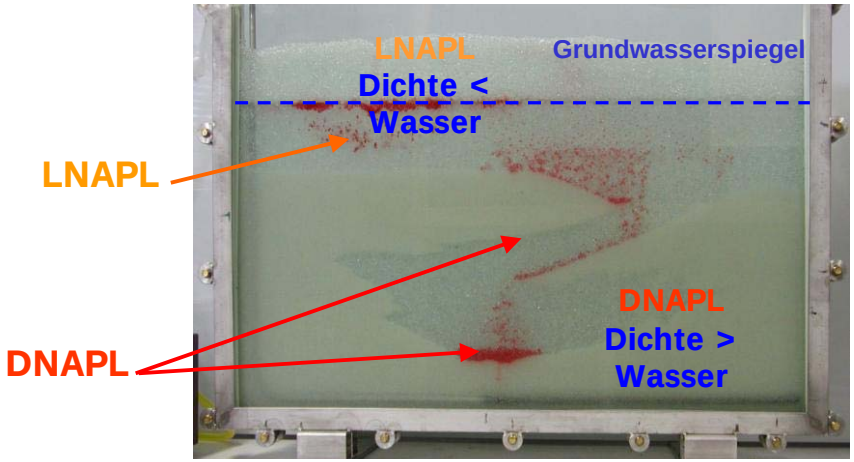
NanoRem – Nano-Partikeln zur Boden- und Grundwassersanierung

- **Weshalb „nano“ --> Erwartungen**
- **Entwicklungstand, offene Fragen, --> To-Do**

© VEGAS

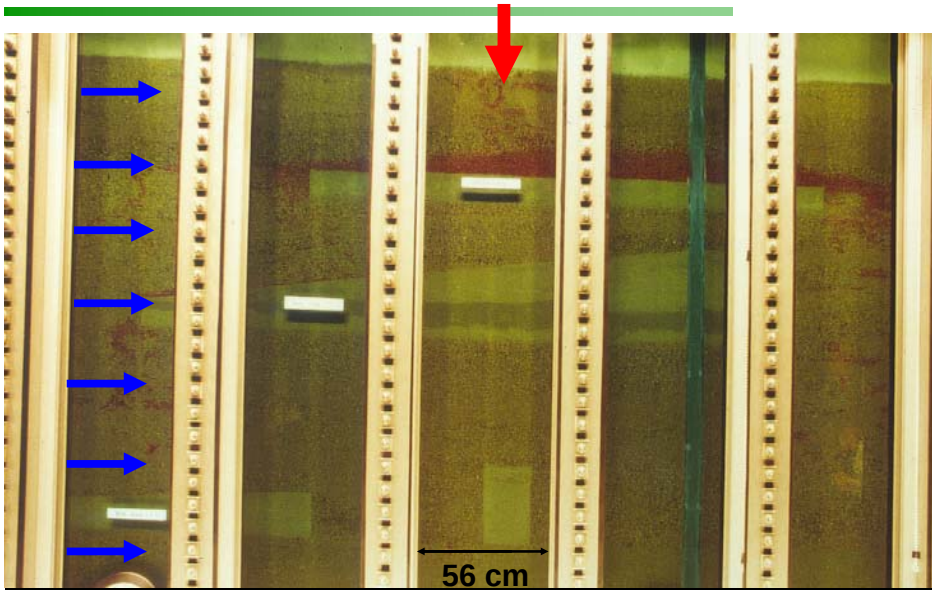
Entstehung von Schadensherden: LNAPL – DNAPL

Sanierungstechnologien erforderlich

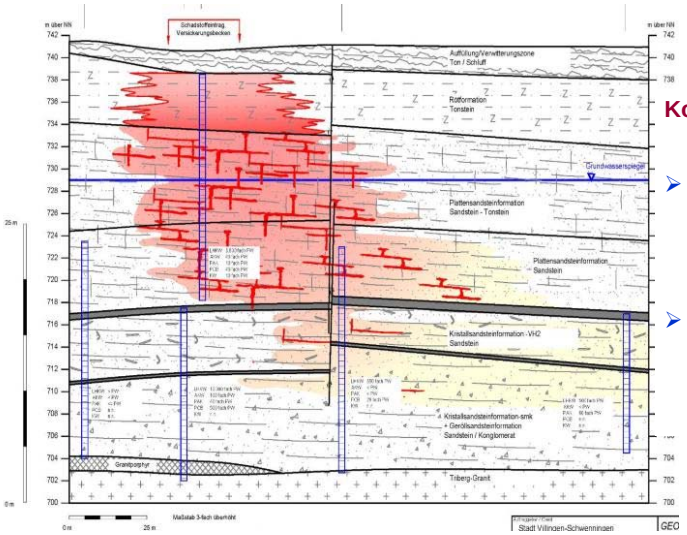


NAPL = Non-aqueous phase liquid (nicht mit Wasser mischbar)

CKW – Versickerung in einem inhomogen Aquifer



Geologie und Schadensbild in einem Kluftaquifer

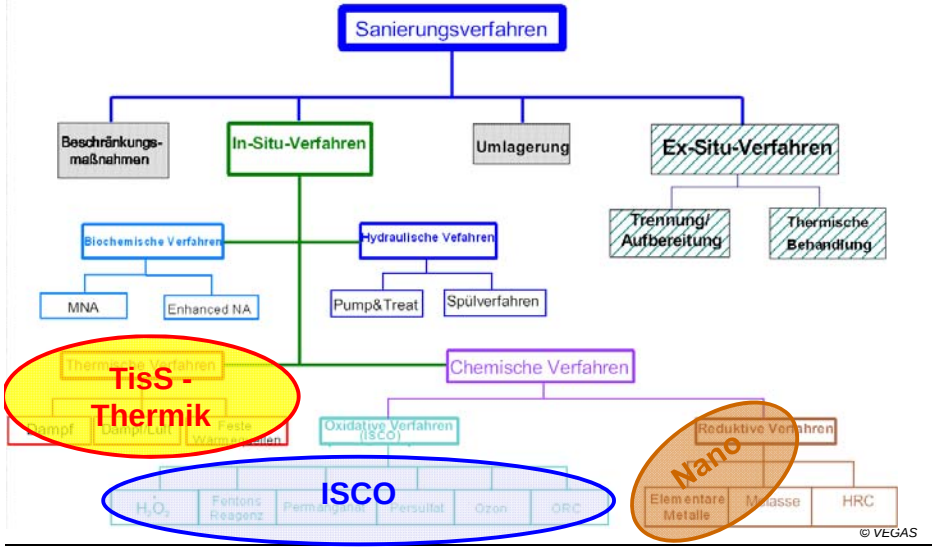


Komplexer, geklüfteter Festgesteinsaquifer

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

© VEGAS

Klassifizierung der Sanierungsverfahren



© VEGAS

Fluideigenschaften - Temperaturabhängigkeit

T_1 = 20°C

T_2 = 70°C

© VEGAS

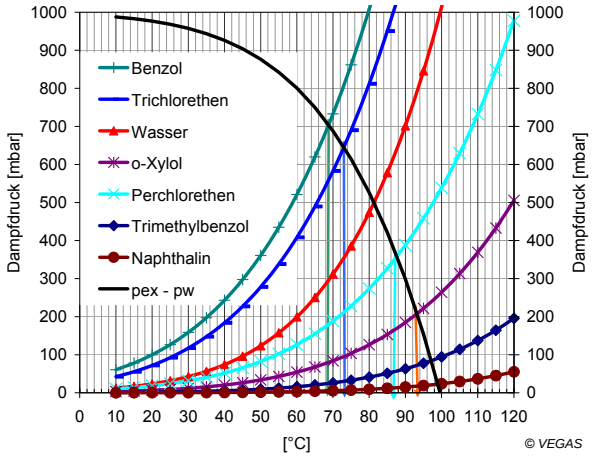
Grundlagen Thermische Sanierungsverfahren

exponentielle Erhöhung des Dampfdrucks organischer Kontaminanten mit der Temperatur

Siedetemperaturer-niedrigung (Azetrop) durch Wasserdampf-destillation:

Benzol 80 → 69°C
TCE 87 → 74°C
PCE 121 → 87°C
m-Xylol 144 → 93°C

Gemischsiedetemperatur (Siedetemperatur binäres Gemisch) „Wasserdampfdestillation“ (McCabe-Thiele)



© VEGAS

TisS - Thermische In-situ-Sanierungsverfahren

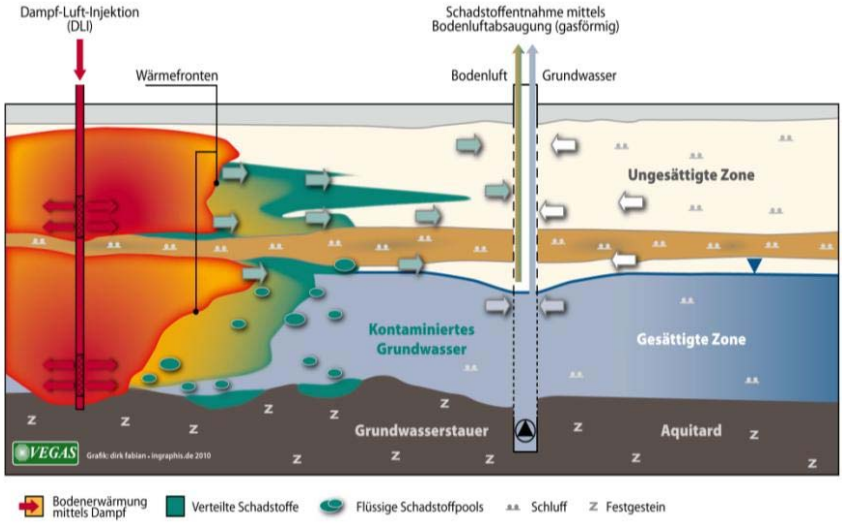
Konvektion → Konduktion Ohm dielektrisch

Sattdampf- / Dampf-Luft-Injektion	Feste Wärme-quellen (elektrisch oder Heissluft)	Elektrisches Wider-stands-heizen	HF-/Radio-frequenz-Bodener-wärmung

- 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

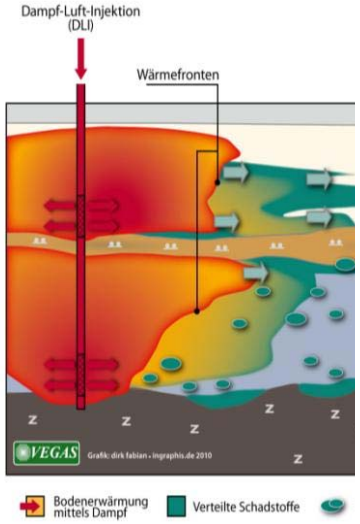
© VEGAS

TisS - Dampf-Luft-Injektion



© VEGAS

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: 5 x 10^{-5} bis 1 x 10^{-3} m/s**

Thermische Reichweite GZ

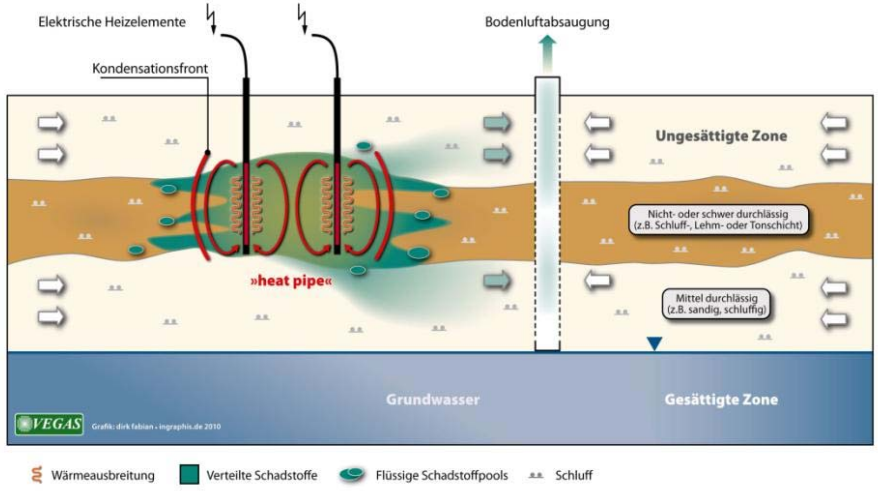
- **Durchlässigkeiten: 0,5 – 5 x 10^{-4} m/s**
- **Dampfausbreitung: 3 - 5 m Radius mit 150 kg/h Sattdampf**
- **anisotrope Schichtung vorteilhaft**

Besonderheiten

- **Simultane Sanierung Grundwasserleiter und ungesättigte Bodenzone**
- **Mögliche Gefügeveränderungen bei stark organhaltige Böden (Torflagen) → Setzungen ?**

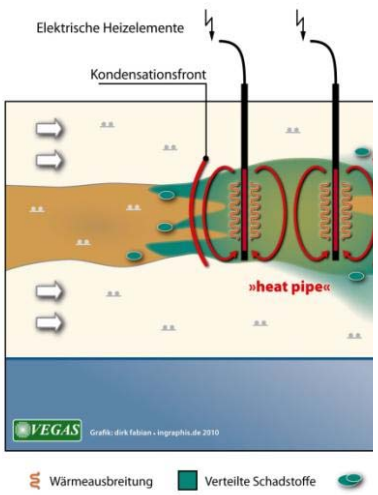
© VEGAS

TisS - THERIS: Feste Wärmequellen Verfahrensprinzip



© VEGAS

Einsatzbereiche TisS - THERIS



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 UZ

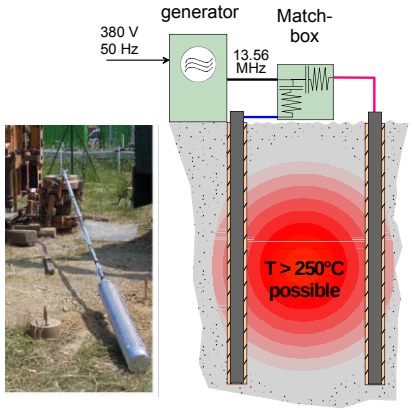
Abstand der Heizelemente im m-Bereich (Standort- und Projektabhängig)

Besonderheiten

- **Nach Austrocknung des Bodens kann sich die Durchlässigkeit für BLA deutlich erhöhen**
- **Mögliche Setzungen (Tonlagen) beachten**
- **Geringer Betriebs- und Wartungsaufwand**

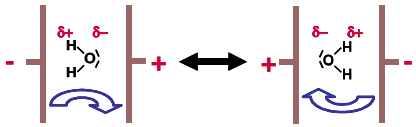
© VEGAS

HF- / Radiowellen-Verfahren



Arbeitsprinzip der Erwärmung

- **Vergleichbar zum Mikrowellenofen**
- **Erwärmung durch innere Reibung Dipole (z.B. Wasser) oder andere polare Strukturen werden durch ein externes el. Feld zu Schwingungen angeregt**



- Direct heat generation in the soil volume
- High flexibility (temperature programmes)
- Can be applied for dry and humid, sandy and tenaceous materials, e.g. soils

Dr. Ulf Roland | HELMHOLTZ ZENTRUM FÜR UMWELTFORSCHUNG UFZ

Dampf-Luft-Injektion: von der Forschung zur Anwendung

Technologie-Transfer durch Pilot Anwendungen Seit 1998

1998 **Plauen ehemalige Benzol-Verladestation** (UZ, vadose)
BTEX, sandiger Schluff (UZ, -2,5 bis -4,5 m) über kiesig/sandigem GWL)

1998 - 2000 **Mühlacker Sondermülldeponie** (UZ)
CKW, verwitterte Ton-/Mergelsteine (Gipskeuper) getrennt durch Schichtwasserhorizont (-15m u. GOK, DRM-Aquifer bei -30 m)

2004 **Albstadt ehemalige metallverarbeitender Betrieb** (UZ / GZ)
CKW, schluffig/tonig (-3,8 m), durchlässiger Kalkstein (-5,6 m) über Mergelgestein

2005 **Durlach ehemalige chemische Reinigung** (GZ, vadose, UZ)
CKW (PER) in schluffig, sandigem Kies mit Schlufflagen (bis -9 m)
➔ 2010/2011 Gesamtsanierung erfolgreich abgeschlossen

2008 **Zeitz, ehemaliges Hydrierwerk & Verladestation** (GZ, vadose, UZ)
Benzol, kiesig/sandig, Schlufflage, sandig/kiesig (-12 m) über Kohlekomplex

2009 / 2011 **Biswurm ehemalige Verbrennungsanlage** (GZ, vadose, UZ)
CKW, geklüfteter Sandsteinaquifer, (Tonsteinbasis -21 m)
➔ Sanierungsbetrieb seit 06.08.2012 mit DLI (geplant DLI bis Ende 2014)

© VEGAS

TisS aktuelle Anwendungen

Laufender Technologie-Transfer

2010 **Oberursel, Altstadt unter einem Gebäude**,
CKW, schlecht durchlässiger Untergrund, Tonsschichten (UZ, vadose)
➔ Feasibility, Pilotierung (bis Sept. 2013, Sanierung bis Ende 2014)

2011 / 2013 **Sindelfingen** Feasibility / Pilotierung unter einem Parkhaus
➔ Abgeschlossen 30.09.2013, Gesamtsanierung geplant (2014?)

2012 / 2013 EU-Projekt CityChlor: **„Stuttgarter Str. 10“, LHS, Pilotversuch**
Feste Wärmequellen , CKW, (UZ, GZ), Wissenschaftliche Begleitung
➔ Erfolgreich abgeschlossen 31.07.2013, Sanierung ab Dez. 2013

2012 / 2013 **Schwarzwald Nagoldtal:** Feasibility / Sanierungsvorschlag, alternative zur Großbohrlochverfahren, CKW, GZ, (DLI Tool)
➔ Entscheidung 2014

2013 **Frankfurt Höchst, Industriegelände: Pilotierung,** CKW
➔ Diplomarbeit Auslegung mit DLI Tool, August 2013 - Feb. 2014

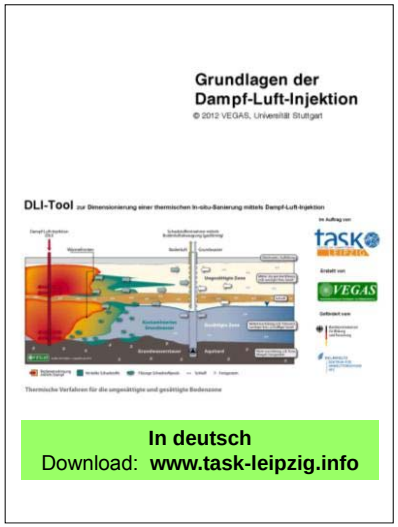
2013 / 2014 **Planungen:** Rhein-Main Gebiet, CKW unter Fabrikhalle, Ostwürttemberg
CKW, ehemalige Kaserne, …einige Anfragen NRW, Schweiz, Hamburg

© VEGAS

Informationen zu den Verfahren

© VEGAS

TisS – Leitfaden und Dimensionierungstool



© VEGAS

Pilot-Standort *Karlsruhe Durlach*

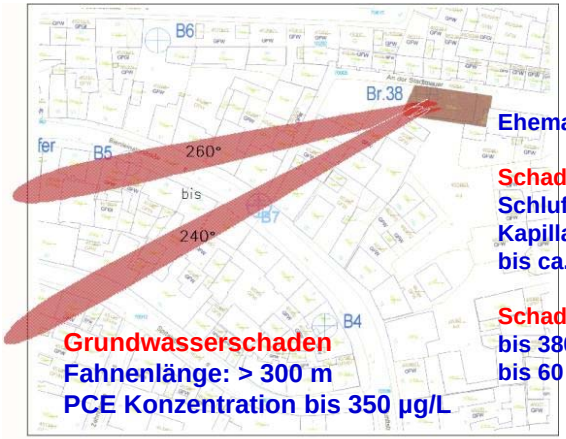
Heutige Nutzung
Galerie und
Rahmenladen

© VEGAS

Standortsituation

Altstadt Karlsruhe-Durlach

historisches Gebäude, eng bebautes Wohngebiet



Ehemalige chem. Reinigung

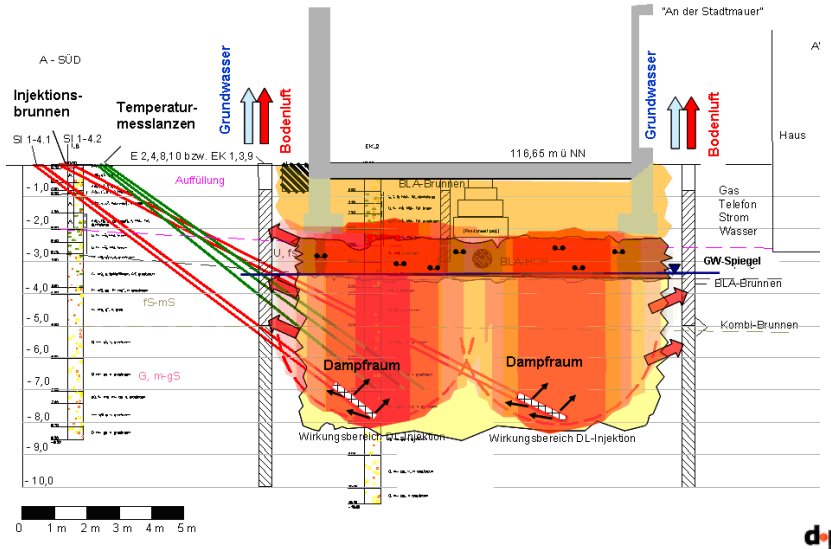
Schadstoffquelle PCE
Schluffschicht in ungesättigter Zone, Kapillarsaum und gesättigte Zone bis ca. 5 m u. GOK

Schadstoffgehalte
bis 3800 mg/kg (in Schluff), bis 60 mg/l im GW

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

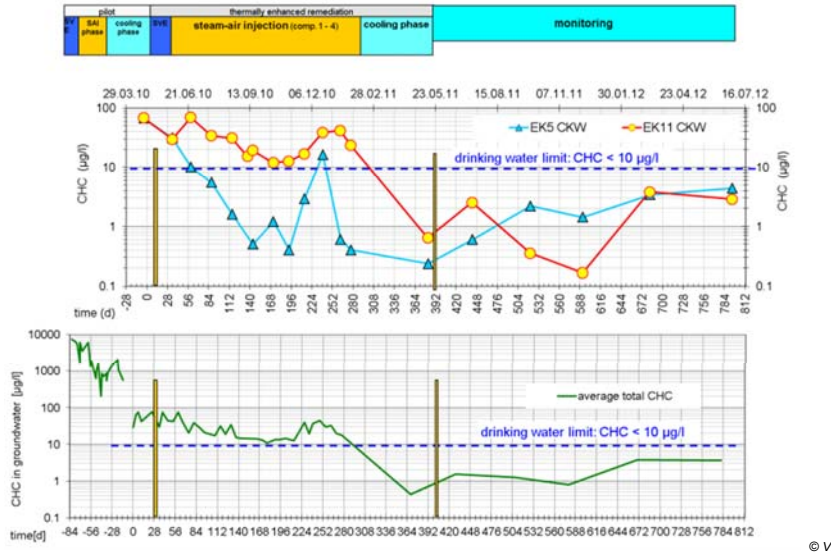
© VEGAS

Realisierung DLI unter dem Gebäude



Sanierungsbetrieb

Entwicklung der CKW - Konzentrationen im Grundwasser



© VEGAS

Beispiel: zusammenfassende Projektdarstellung

ÖVA-Sanierungsreport SR 001

CKW-Boden- und Grundwassersanierung unter einem historischen, bewohnten Gebäude mittels Dampf-Luft-Injektion ins Grundwasser

© VEGAS

Zusammenfassung & Ausblick

- Dimensionierung Dampf-Luft-Injektion entsprechend Stand der Technik - Sanierungsplanung möglich (Sicherheitsfaktoren)
  ➔ standortspezifische Pilotierung (Machbarkeitsstudie)
- Dimensionierungstool zur Auslegung einer Sanierung wurde erarbeitet und steht „public“ zur Verfügung
- Vollständige und nachhaltige Sanierung von Schadensherden innerhalb definierten und bestimmbaren Zeiträumen möglich
- „intensive“ Sanierungsbegleitung und -steuerung (Online-Datenerfassung, Anlagensteuerung) erforderlich
- Kosten stark abhängig von Standortbedingungen, Feldgröße und Schadstoffverteilung

© VEGAS

Zusammenfassung & Ausblick

- Einsatzbereiche und Anwendungsgrenzen werden stetig erweitert (z.B. Durchlässigkeitsbereich der Aquifere, Schadstoffspektren)
- Bestimmung der Einsatzgrenzen über Pilotanwendungen Kluftaquifere, dampfunterstützte konduktive Sanierung gering durchlässiger Sedimente (Schluffe, Tone), Tiefen über 20 m, große Aquifermächtigkeiten .....
- Zahlreiche Referenzprojekte liegen vor

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

© VEGAS

Was können Sie erwarten

Entstehung von Schadensherden

TisS - Thermische In-Situ-Sanierungsverfahren

- Grundlagen
- Operating Windows
- Stand der Entwicklungen, Projektbeispiele

ISCO - In-Situ-Chemische-Oxidation

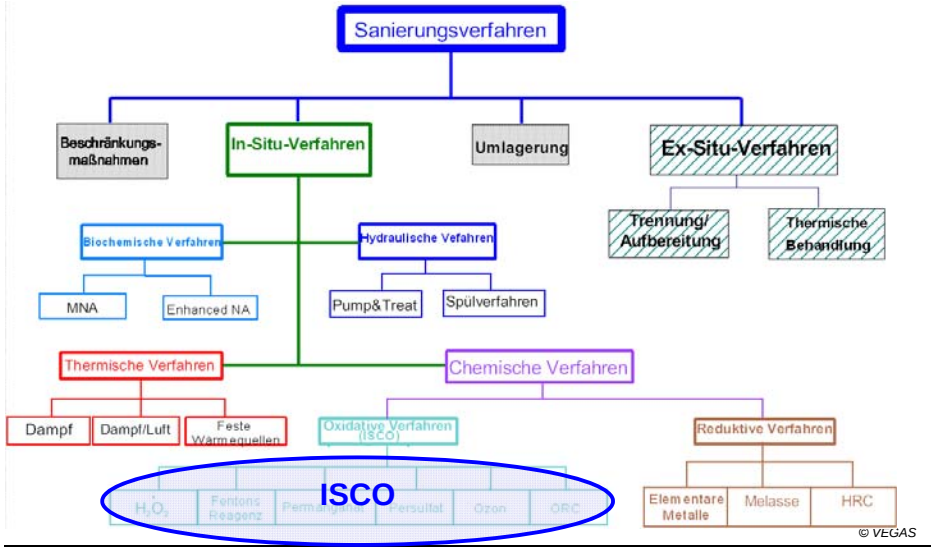
- **Überblick, Anwendungsmöglichkeiten, Besonderheiten**

NanoRem – Nano-Partikeln zur Boden- und Grundwassersanierung

- Weshalb „nano“ --> Erwartungen
- Entwicklungstand, offene Fragen --> To-Do

© VEGAS

Klassifizierung der Sanierungsverfahren



© VEGAS

Chemische Verfahren

- **Schadstoffe werden durch Zugabe eines chemischen Oxidationsmittels durch „kalten Verbrennung“ abiotisch zerstört**
- **Ziel ist die vollständige Umsetzung zu umweltneutralen Stoffen**
- **Oxidations-Reaktion erfolgt im Grundwasserleiter sehr schnell, sobald/sofern wirksamer Kontakt Oxidationsmittel und organischer Schadstoff hergestellt**

o **In-situ-chemische-Oxidation – ISCO**
technische Machbarkeit und Realisierbarkeit unterscheidet sich je nach Oxidationsmittel: Kalium-/Natriumpermanganat, Fentons Reagenz, Persulfat und Ozon

o **In-situ-chemische-Reduktion - ISCR**
Metallisches Eisen als wirksames Reduktionsmittel, In-situ-Einsatz über Nano- und Mikroeisen-Injektion, ISCR von Chrom VI

© VEGAS

Oxidierbare oder reduzierbare Kontaminanten

Oxidierbare Kontaminanten

- **Kohlenwasserstoffe**
- **PAK**
- **BTXE**
- **CKW**
- **(Ammonium → Nitrat)**

→ **Endprodukte CO_2, Wasser**

Reduzierbare Kontaminanten

- **CKW**
- **(Nitrat → N_2)**
- **(Chrom (VI) → Chrom (III))**

→ **Endprodukte Kohlenwasserstoffe, Chloride**

© VEGAS

ISCO - Anwendungsmöglichkeiten

Tabelle 9.1: Schadstofftypen und Boden-/Prozessparameter für die Anwendung verschiedener ISCO-Verfahren, geändert nach Keijzer et al. (2004)

ISCO-Verfahren	Schadstoff		Boden-/Prozessparameter	
	geeignet	ungeeignet	Günstig	ungünstig
Fentons Reagenz	CKW BTEX niedermolekulare PAK Kurzkettige Aliphaten Freie Cyanide	höher molekulare PAK Langkettige Aliphaten Cyanid-Komplexe PCB	2 < pH < 6 Org. Subst. gering Permeabilität hoch Heterogenität gering	pH > 6 Org. Subst. hoch Permeabilität Gering Heterogenität hoch
Ozon	CKW (Halogen-Alkene) BTEX niedermolekulare PAK	Halogen-Alkane höher molekulare PAK MKW PCB	pH niedrig Bodenfeuchtigkeit gering Permeabilität Hoch Heterogenität Gering	pH hoch Bodenfeuchtigkeit hoch Permeabilität Gering Heterogenität hoch
Kalium-/ Natrium-permanganat	CKW (Halogen-Alkene) Toluol, Xylol Ethylbenzol	Halogen-Alkane Benzol MKW PAK PCB Cyanide	Permeabilität hoch Heterogenität Gering	Permeabilität gering Heterogenität hoch
Persulfat (nicht aktiviert)	CKW (Halogenalkene) Toluol, Xylol Ethylbenzol, kurzkettige MKW	Halogen-Alkane Benzol langkettige MKW PCB	Permeabilität Hoch Heterogenität Gering	Permeabilität Gering Heterogenität hoch
Persulfat (aktiviert)	CKW (Halogenalkane u. -alkene) BTEX kurzkettige MKW niedermolekulare PAK	langkettige MKW höher molekulare PAK PCB	Permeabilität Hoch Heterogenität Gering	Permeabilität gering Heterogenität hoch

© VEGAS

ISCO - Eingesetzte Reagenzien

- **Kalium/Natrium-Permanganat ($Na/KMnO_4$)**
  infiltrierbar, oxidiert CKW, PAK, Braunsteinausfällung, „kostengünstig“
- **Persulfat ($Na_2S_2O_8$)**
  Versauerung Aquifer, pH < 4, oxidiert BTEX, CKW, PAK, langsame Reaktion, Aktivator (Fe(II)) erforderlich, Fe(III)-Bildung, hohe Einsatzmenge (insbesondere bei kalkreichen Böden), „kostspielig“
- **Fentons Reagenz – OH-Radikale (H_2O_2 & $FeSO_4$ & H_2SO_4)**
  Druckinjektion, pH < 4, oxidiert BTEX, CKW, PAK, Fe(III)-Bildung, hohe Einsatzmenge (insbesondere bei kalkreichen Böden), mittleres Preisniveau
- **Ozon**
  gasförmige Injektion, bevorzugt UZ, reaktivstes Oxidationsmittel, Explosionsgefahr, brandfördernd, Atemwegsgift, krebserregend, Erzeugung kostspielig

© VEGAS

Einsatz von ISCO

„State-of-the-art“ – Technologie in USA

ITRC-Handbuch (www.itrcweb.org/isco-2.pdf) als Anwendungshilfe:

- Laboruntersuchungen zur Dimensionierung über Schütteltests
- Praktische Hinweise zur Planung, Kostenermittlung und Durchführung
- Dokumentation von Problemen und Erfolgen bei Feldanwendung:

Probleme / Fragen bei der Anwendung

- Effektive Erschließung des Sanierungsfelds durch Reagenz
- Ermittlung Bedarf an Reagenz
- Vermischungsprobleme zwischen Reagenz und Schadstoff
- Veränderung der hydraulischen Durchlässigkeit durch Clogging

© VEGAS

$KMnO_4$ - Reaktionen

- **Perchlorethen (OZ_C= + 2)** **Säurenäquivalent (H^+/C): + 1,33**

  $3\ Cl_2C{=}CCl_2 + 4\ KMnO_4 + 4\ H_2O \rightarrow 4\ MnO_2 + 12\ Cl^- + 4\ K^+ + 8\ H^+ + 6\ CO_2$

  Massenverhältnis $KMnO_4$ / PCE = 1,27

- **Trichlorethen (OZ_C= + 1)** **Säurenäquivalent: + 0,5**

  $Cl_2C{=}CHCl + 2\ KMnO_4 \rightarrow 2\ MnO_2 + 3\ Cl^- + 2\ K^+ + H^+ + 2\ CO_2$

  Massenverhältnis $KMnO_4$ / TCE = 2,4

- **Dichlorethen (OZ_C= +/- 0)** **Säurenäquivalent: -0,33**

  $3\ HClC{=}CHCl + 8\ KMnO_4 \rightarrow 8\ MnO_2 + 6\ Cl^- + 8\ K^+ + 2\ OH^- + 2\ H_2O + 6\ CO_2$

  Massenverhältnis $KMnO_4$ / DCE = 4,3

© VEGAS

$KMnO_4$ Bedarf

- **und die organische Masse C_{org}:**

  Glukose (OZ_C= +/- 0) **Säurenäquivalent: -1,33**

  $C_6H_{12}O_6 + 8\ KMnO_4 \rightarrow 8\ MnO_2 + 8\ K^+ + 8\ OH^- + 6\ CO_2 + 2\ H_2O$

  Massenverhältnis $KMnO_4$ / C = 17,6

➔ **1 g TOC verbraucht soviel Permanganat wie 14 g PCE**
Wird gesamtes C_{org} von Permanganat oxidiert ?
Oxidationsmittelbedarf für CKW vs. C_{org} ?

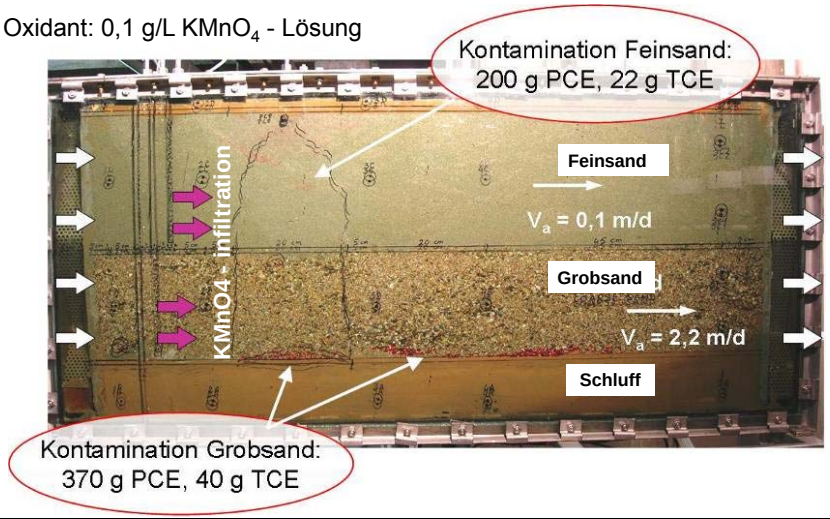
➔ **Alle Reaktion führen zur Braunsteinbildung**
Tendenzielle Abnahme der hydraulischen Leitfähigkeit:
Ausmaß unklar

© VEGAS

ISCO - 2D Experiment

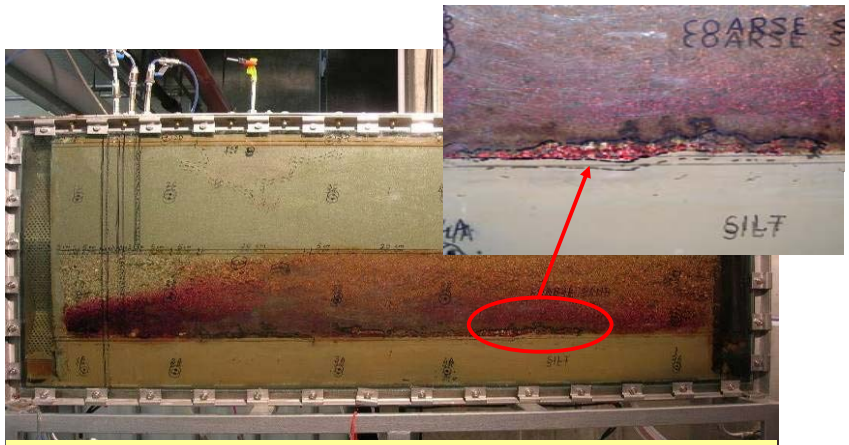
Schichtaquifer: 130 x 65 x 8 cm

Oxidant: 0,1 g/L $KMnO_4$ - Lösung



© VEGAS

Braunsteinbildung 2D Experiment

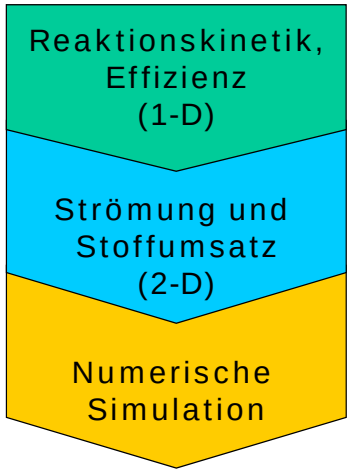


➔ **Starke Braunstein (MnO_2) - Bildung behindert die Oxidation der CKW durch Einkapselung**

© VEGAS

Methodik der Dimensionierung

➔ **Schütteltests: keine Aussage zu hydraulischen Aspekten**



- Einfluss auf Stoffumsatz und Effizienz: C_{org}, Schadstoffverteilung, Bodenart
- Rücklösung von Braunstein
- heterogene Schichtenstruktur mit Mischkontamination
- Einfluss von Braunsteinbildung auf Stoffumsatz und Strömungsverhalten
- MODFLOW-Strömungs- & Transportmodell
- UTCHEM-Mehrkomponentenmodell: hydraulische Aspekte der Verockerung
- PHREEQ-C: Simulation geochemischer Gleichgewichtsprozesse

© VEGAS

ISCO Kurzcharakterisierung

- Reagenz und Schadstoffe müssen in Kontakt gebracht werden
  ➔ Lage und Verteilung der Schadstoffe muss bekannt sein
- Wirksamkeit der Oxidation von CKW in Batchtests nachgewiesen (> 99,7%)
- Der mit Permanganat oxidierbare Kohlenstoff muss standortspezifisch in Säulenversuchen bestimmt werden
- TOC-Gehalt des Bodens zur Bestimmung des Bedarfs an Oxidationsmittel ungeeignet
- Batch-Tests zur Bestimmung des Bedarfs an Oxidationsmittel als Screening-Methode geeignet
- Bedarf an KMnO4 zur Oxidation von C_{org} ist sehr hoch, ISCO für Fahnensanierung unwirtschaftlich
- Reaktionsprodukte (z.B. Braunstein) blockieren den Kontakt
- Nebenreaktionen bzw. zu heftige Reaktionen führen zu unerwünschten Produkten oder zu starker Wärmeentwicklung
- pH-Verschiebungen ist im Feld häufig kritisch

© VEGAS

Was können Sie erwarten

Entstehung von Schadensherden

TisS - Thermische In-Situ-Sanierungsverfahren

- Grundlagen
- Operating Windows
- Stand der Entwicklungen, Projektbeispiele

ISCO - In-Situ-Chemische-Oxidation

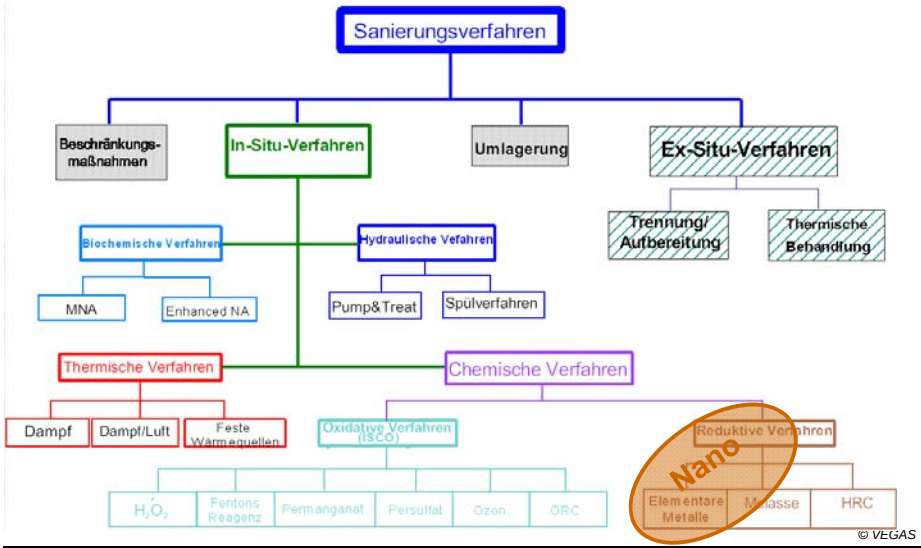
- Überblick, Anwendungsmöglichkeiten, Besonderheiten

NanoRem – Nano-Partikeln zur Boden- und Grundwassersanierung

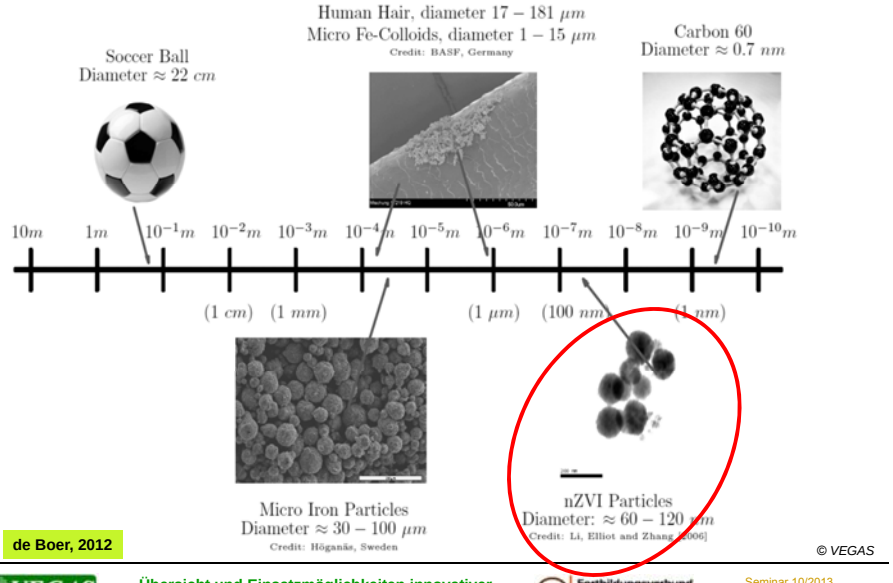
- **Weshalb „nano“ --> Erwartungen**
- **Entwicklungstand, offene Fragen --> To-Do**

© VEGAS

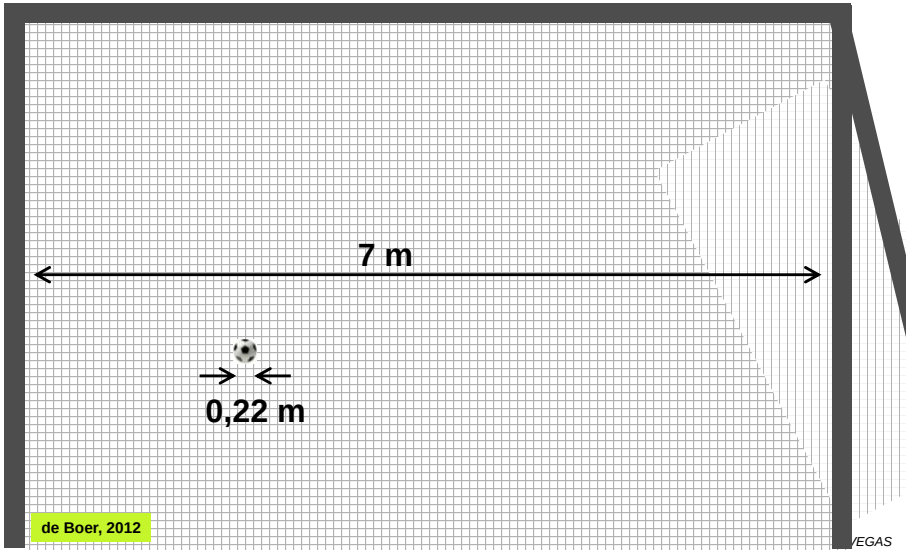
Klassifizierung der Sanierungsverfahren



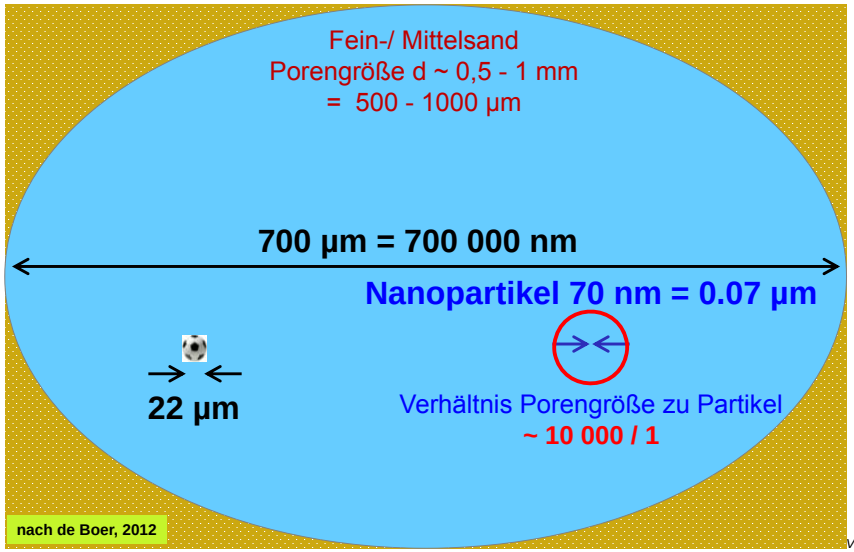
Wie klein ist nano ?



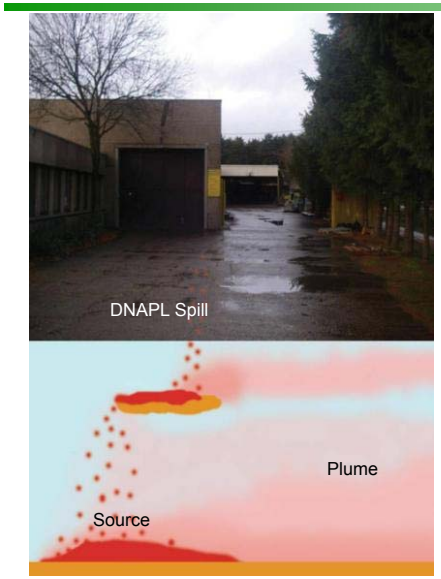
Größenvergleich



nano im „Boden“



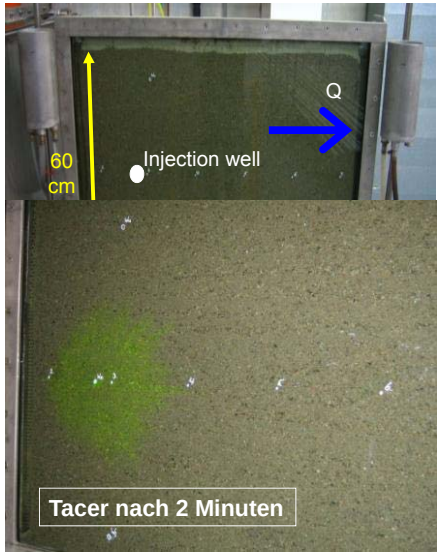
Nanopartikel für die In-situ-Sanierung



- „Fokus Reinigung von Schadensquellen
- Unter Bauwerken möglich
- Prinzipiell in „beliebige“ Tiefen möglich
- „Semi-Passives“ Verfahren
- Z.B. Nano-Eisen (Fe(0))
- Innovatives Verfahren

© VEGAS

Rückblick – wie es begann

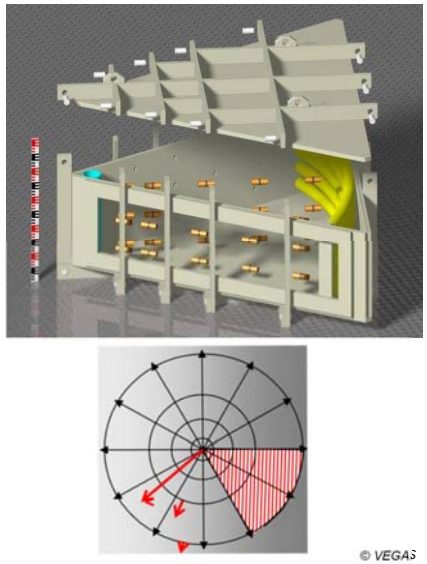


- Große Unterschiede zwischen Nano-Eisen-Suspension und Tracer
- Eisen zeigt deutliche Retardierung

➔ **Maximale Ausbreitung ist begrenzt**

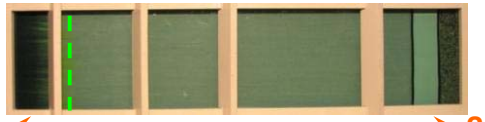
Großskaliger Versuch

Kunststoffbehälter für zerstörungsfreie Messung mittels neuer Messtechnik



© VEGAS

Ergebnisse

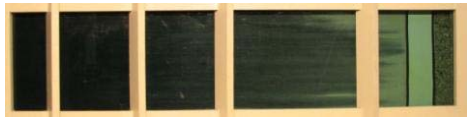


➔ **Ausbreitung bis 2 m nachgewiesen**

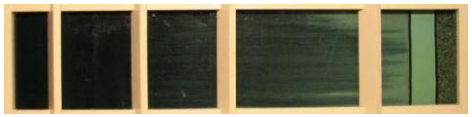
2 m

t = 200 s, Uranin-Front knapp vor Eisenfront

t = 700 s, Uranin-Front (grün) nahe Auslauf, Eisenfront retardiert



t = 3600 s, Eisenfront nahe Auslauf



t = 6300 s, Eisenfront quasi stationär

© VEGAS

Offene Fragen / Klärungsbedarf ➔ Nano-Forschung

- **Transport**
  Erzielbare Transportweiten in der Natur
  ➔ Abstand der Injektionsbrunnen
  Einflussfaktoren / Kontrollmechanismen / erzielbare Partikelkonzentrationen ?
  ➔ Vorkonditionierung, Injektionsraten, Injektionsdauer, Injektionszyklen

- **Reaktivität**
  Langzeitstabilität / Langzeitreaktivität (Wirkungsdauer)
  ➔ Wieviele Partikel sind erforderlich, wie oft ?

- **Monitoring / Überwachung**
  Kurzeitig: Nachweis der Partikel / Injektionsdauer-/menge, Konzentrationen
  Langzeit: Verbleib in der Umwelt (geringe Konzentrationen, Spuren?)

© VEGAS

Status quo – Kenntnisstand

- Nanotechnologien zur **In-situ-Sanierung von Grundwasserleiter geeignet**

- Für die **ungesättigten Zone (Böden) nicht geeignet**, die meisten NP werden in Gegenwart von Luft (-sauerstoff) rasch inaktiviert

- **Zwei Entwicklungsschienen**
  (1) Nullwertige Eisen Nanopartikel – „Nano Zero Valent Iron, nZVI“

  (2) Nicht-Eisen- und Composite-Nanopartikel „Non-ZVI-and Composite-nP“ (z.B. Carbo-Iron)

© VEGAS

Bisherige Anwendungen „Nanosanierung“ in Europa

- Bisher wenige großtechnische Anwendungen von NP bei In-situ-Sanierungen

- 58 Anwendungen weltweit von nullwertigem Nano-Eisen (nZVI) auf der Feldskala (Bardos et al. 2011, 2013)

- **17 Anwendungen in Europa** (Tschechien und Deutschland)

- Bisherigen In-situ-Anwendungen weitestgehend auf chlorierte Lösungsmittel beschränkt

© VEGAS

Quo vadis – das EU-Projekt NanoRem

NanoRem

SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME

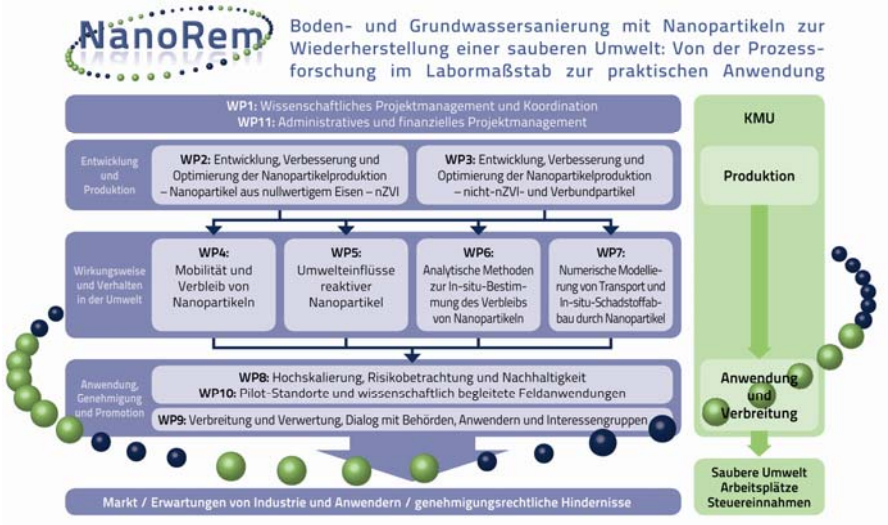
*Taking **Nano**technological **Rem**ediation Processes from Lab Scale to End User Applications for the Restoration of a Clean Environment)*

- ganzheitlichen Ansatz für die Entwicklung und die **Anwendung von Nano-Partikel bei der In-situ-Sanierung**
- Entwicklung und Optimierung **verschiedener Nano-Partikel für verschiedene Schadstoffe**

- 27 Partner aus 12 Ländern, Consultants, Industry, Regulators
- Laufzeit 4 Jahre, Start 01. Februar 2013

© VEGAS

NanoRem Struktur - Arbeitspakete



© VEGAS

NanoRem Ansatz

Der Ansatz von NanoRem erstreckt sich über drei Ebenen

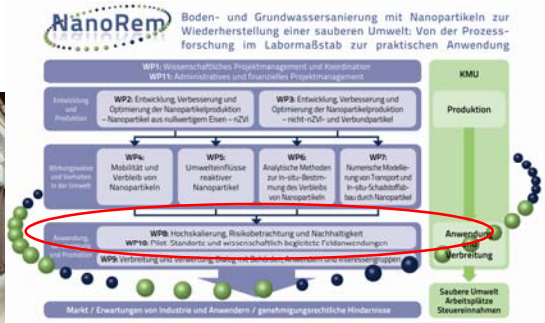
I Partikel-Produktion: WP2 und WP3

II Umsetzung, Nachweis und Unterstützung der Feldanwendungen: WP4 bis WP7

III Großversuche, Anwendung auf Pilotstandorten WP8 und WP10 Verbreitung, Kommunikation und Verwertung WP9

© VEGAS

Up-Scaling ➔ Feldanwendungen



- Untersuchung neuer, erfolgversprechender NP in kontrollierten Großversuchen
- Rückmeldung an Hersteller von NP und von Überwachungs- und Nachweismethoden ➔ Verbesserung von NP und Methoden
- Untersuchung der Bildung von Abbauprodukten unter realitätsnahen Bedingungen
- Entwicklung und Test geeigneter Injektionstechniken

© VEGAS

Feldanwendungen / Demoprojekte

Photo Field trial in CZ (courtesy AQUATEST)

- Einsatz und Test erfolgversprechender NP auf Pilotstandorten
- Test von Injektionstechniken, Überwachungs- und Nachweismethoden
- Untersuchung der Wirksamkeit / Effektivität der Sanierungsmethode (Bereitstellung relevanter Informationen zum Transport, Reichweite, Reaktivität der Partikel)
- Bereitstellung von Leistungsdaten der Sanierungstechnologie für potentielle Anwendern und Behörden
- Nachweis der Einsatzfähigkeit

© VEGAS

Erwartungen

- EU hat hohe Erwartungen an NanoRem
- Mittel- und langfristig wird der Erfolg des Vorhabens daran gemessen werden, ob die Ergebnisse erfolgreich vermarktet werden.
- Durch Projektkonstellation wird erwartet, dass auf dem Gebiet der In-situ-Sanierung unter Einsatz von Nanopartikeln ein erheblicher Fortschritt erzielt und der „Altlastensanierungsbranche“ ein zusätzliches In-situ-Sanierungsverfahren zur Verfügung gestellt wird zur Lösung zahlreicher Problemfälle.

© VEGAS