
**BIG**

Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

1. Fachtagung ChloroNet
Sanierung von Altlasten mit chlorierten Lösungsmitteln
14. Mai 2008 Bern
Kriterien für die Wahl der optimalen Sanierungsvariante
Prof. Dipl.-Ing. Harald Burmeier
Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover
www.burmeier-ingenieure.de

Folie 1

Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**

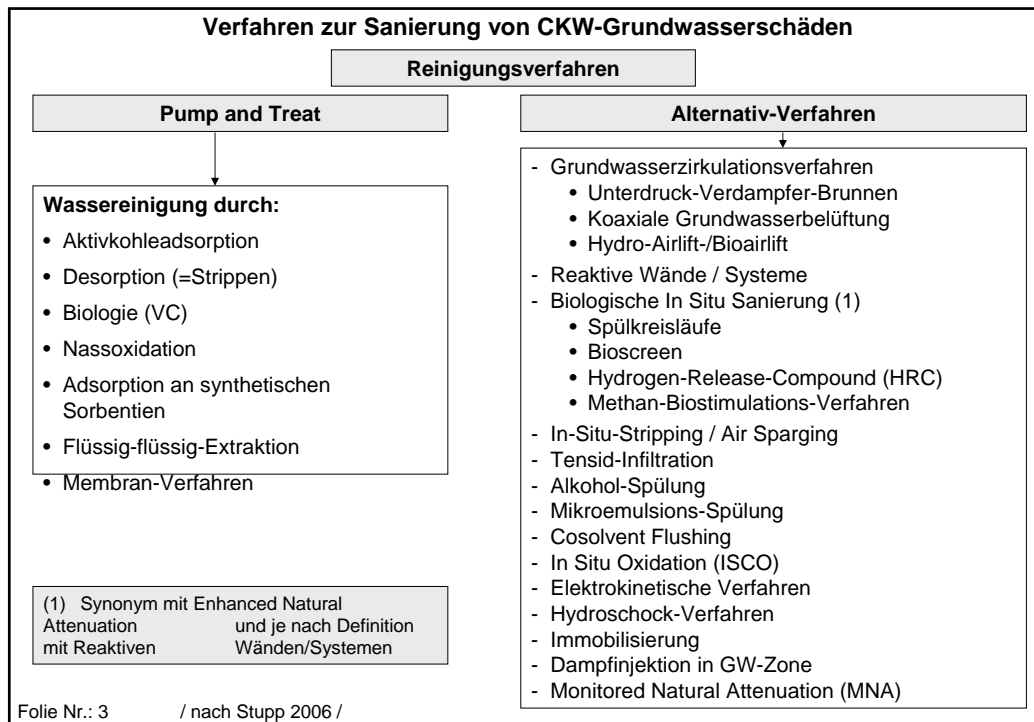
Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

Was ist eine optimale Sanierungsvariante für CKW?

Optimal wäre ein wirtschaftliches Sanierungsverfahren, welches die Sanierungsziele in einem überschaubaren Zeitraum erreicht und bei dem der Grundwasserkörper und die ungesättigte Zone auch langfristig kein mobiles Schadstoffpotential mehr aufweist bzw. freisetzt!

Folie 2

Prof. Dipl.-Ing. Harald



Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
 Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn


Übersicht über die Anzahl der genannten in Situ-Verfahren:

AK ASG Statistik 2005/2006

- 58 Fälle, davon 28 LHKW Schäden
- 62 % Quellsanierung
- 24 % Fahnnensanierung
- 14 % Quell- und Fahnnensanierung

In ca. 80 % aller Fälle begleitende Pump and Treat Maßnahmen, entweder zur hydraulischen Abstomsicherung oder unterstützenden Quellsanierung

Folie 4
Prof. Dipl.-Ing. Harald




Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
 Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

Untersuchungen von Stupp an 97 Projekten

Reinigungsverfahren bei Pump and Treat:

• Strippen	63
• A-Kohleadsorption	21
• UV-Oxidation	3
• Flüssig-flüssig-Extraktion (MPPE)	3
• Harzadsorption	2
• Biologie	1
• Enteisung	21

Folie 5
Prof. Dipl.-Ing. Harald




Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
 Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

Was beeinflusst die Verfahrensauswahl?

- Folgenutzung des Geländes
- Erreichbarkeit des Schadensherdes (Überbauung etc.)
- Quellstärke
- Mobilität
- Weitere Quellen im Umfeld
- Dauer der Sanierung
- Bereits eingesetzte Verfahren, z. B. Pump and Treat
- Genehmigungsfähigkeit
- Kosten mit dem Zeitpunkt ihrer Entstehung
- Bodenaufbau (Geologie, Hydrologie)

Folie 6
Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**

Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn


Planungsgrundlagen für die Verfahrensauswahl:

1. Hydrochemische Schadstoffdaten

- Laterale und vertikale Schadstoffverbreitung
- Phase / Lösung
- Mobilität / Sorption
- Schadstoffpotential
- Fracht / Austragsmenge
- Art und Zusammensetzung der Schadstoffe

Folie 7

Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**


Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

2. Allgemeine hydrochemische Daten

- Grundwasserbeschaffenheit (mit Eisen, Mangan, Karbonathärte etc.)
- Mikrobiologie (Redoxpotential, Nitrat, vorh. Mikroorganismen, Keimzahl etc.)

Folie 8

Prof. Dipl.-Ing. Harald



Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

3. Hydrogeologische Daten


- Hydrogeologisches Modell, Grundwasserneubildung...
- Fließverhältnisse
- Hydraulische Kenndaten (Kf, Porosität...)
- GW-Entnahmebereiche

4. Sonstige Vorgaben

- Sanierungsziele (Konzentrationswerte und/oder Fracht)
- Abbruch-/Optimierungsszenarien festlegen

Folie 9

Prof. Dipl.-Ing. Harald



Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn


Erforderliche Berechnungen:

- Modellierung der Schadstoffquelle (räumliche Lage; Menge)
- Hydraulikkonzept mit Brunnenansatzpunkten und Fördermengenberechnung
- Prognose Schadstoffentwicklung im Förderbrunnen sowie Rohwasser-Mischbelastung
- Prognose sanierungsrelevante Begleitstoffe (Rohwasser-Mischgehalte an Eisen, Mangan, DOC, Kalk....)
- Abschätzung möglicher Bioschlamm-Bildung
- Positionierung von Sanierungsbrunnen, Rohrtrassenverlauf, Anlagestandort und Reinwasserableitung / Reinfiltration
- Prognose der Schadstoffentwicklung bei passiven Sanierungsmaßnahmen

Folie 10

Kosten / Zeitlicher Ablauf

Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**


Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

Wann ist welches Verfahren anzuwenden?

Pump and Treat ist der „Klassiker“ seit ca. 30 Jahren, der allerdings nach anfänglich signifikanter Schadstoffreduzierung im weiteren Verlauf häufig deutlich oberhalb der Sanierungsziele stagniert.

Folie 11

Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**


Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

Optimierung von Pump and Treat Verfahren:

- Kombination mit Quellensanierung
- Regelmäßige Plausibilitätsprüfungen
- Optimierung der Anlagenkomponenten
- Reduzierung der Fördermenge GW
- Ggf. Reinfiltration gereinigten GW
- Reduzierung Monitoringaufwand
- Optimierung von Steuerungs- und Überwachungsaufwand

Folie 12

Prof. Dipl.-Ing. Harald




Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

Verfahren zur Optimierung von Pump and Treat:

- Einsatz des Stripverfahrens bzw. Ersatz durch Vakuumstripanlage (Reduzierung der Luftmenge)
- Einsatz von Harzadsorption oder Flüssig-Flüssig-Extraktion anstelle A-Kohle Adsorption für VC, (cis-, trans-) Dichlorethen 1.1 Dichlorethen, Dichlormethan, Trichlormethan bei Neuanlagen
- Ersatz einer Katalysator-Anlage durch Aktivkohlefilter zur Stripluftreinigung

Folie 13

Prof. Dipl.-Ing. Harald




Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

Verfahren zur Ergänzung von Pump and Treat:

- Erhalt von P+T zur Abstomsicherung
- Tensideinsatz zur Verkürzung der Sanierungsdauer erfolgreich bei:
 - gutem Erkundungsstand
 - Zugänglichkeit der „CKW-Herde“
 - kontrolliertem Tensideinsatz (kein Absinken!)
 - geringer Inhomogenitäten des Untergrundes
 - geringer Quellenausdehnung

Folie 14

Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**

Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn


In situ Striping (Air Sparging) erfolgreich bei:

- geringe Inhomogenitäten des Untergrundes
- guter Erkundungsstand
- Erreichbarkeit der CKW Kontaminationen durch Luftinjektionen (Achtung: Eintritt oxidativer Prozesse!)

In situ Oxidation (ISCO) erfolgreich bei:

- gutem Erkundungsstand
- Zugänglichkeit der „CKW-Herde“
- geringem Kohlenstoffgehalt im Untergrund
- geringen Inhomogenitäten des Untergrundes
- geringer Quellenausdehnung

Folie 15Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**


Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

In situ Oxidation (ISCO)

Oxidationsmittel sind:

- Wasserstoffperoxid und Salze (d. h. Peroxide, z. B. „Oxygen Release Compound“ (ORC) = MgO_2 , Ca-Peroxid)
- Fenton's Reagenz und Modifikationen (Wasserstoffperoxid plus Fe(II) bildet hochreaktives Hydroxyl-Radikal, ggf. weitere Kat./ Promotoren)
- Natrium-/Kaliumpermanganat, Ferrat (Fe(VI))
- Peroxodisulfat (Carotsche Säure)
- Ozon
- Sauerstoff (Luft)

Folie 16Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**

Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

In situ Oxidation (ISCO)


Vorteile:

- Schneller Sanierungserfolg
- Breites Anwendungsspektrum (Schadstoffgemische)
- Kosten für viele Reagenzien (noch) niedrig
- Geeignet für Quellen- und Fahnenanierung

Nachteile:

- Hoher Oxidationsmittel Verbrauch durch Nebenreaktionen mit sämtlichen oxidierbaren Stoffen im Untergrund
- Abbauprodukte und -mechanismen häufig noch ungeklärt
- Anwendung bei einigen Stoffen, z. B. LCKW, nur begrenzt effektiv
- Ausbreitungsverhalten im Untergrund teilweise unsicher
- Handhabungsrisiken (Ex-Gefahr bei Fentons Reagenz, Peroxide, Superoxide etc.)
- Rebound-Effekte (vor allem bei Quellensanierung)

Folie 17Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**

Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

Nano-Eisen


→ Abbau von chlorierten Verbindungen
(Dehalogenierung)

→ Reduktion, z. B: $\text{Cr(VI)} \rightarrow \text{Cr(III)}$

Vorteile:

- Schneller Umsatz von Schadstoffen
- Quellen- und Fahnenbehandlung möglich
- Definierte Abbauwege

Folie 18Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**

Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn


Nano-Eisen

Nachteile:

- Injektionsverhalten beim Einbringen in den und Ausbreitungsverhalten im Untergrund schwierig und schwer prognostizierbar
- Enges Anwendungsspektrum (LCKW, Cr(VI), As)
- Reduzierte Reaktivität bei LCKW möglich (PCE wird nicht zu Ethen umgewandelt, sondern nur zu cis-DCE etc.)
- Handhabungsrisiken (feinverteilte Metalle sind an der Luft entzündlich)

Folie 19

Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**


Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

Reaktive Wände (www.rubin-online.de)

- Weitgehend passives Verfahren zur Filtrierung von im Abstrom eines Schadensherdes gelösten und transportierten Schadstoffen (Sicherungsverfahren)
- Filtereffekt durch reaktive Materialien, die Schadstoffe physikalisch, chemisch und/oder biologisch zurückhalten oder chemisch oder biologisch abbauen

Folie 20

Prof. Dipl.-Ing. Harald



Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH


Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

Reaktive Wände (www.rubin-online.de)

- Bauformen:
 - Vollflächig durchströmt
 - EC-PRB
 - Funnel and Gate
 - Drain and Gate
- Materialien:
 - Elementares Eisen
 - Aktivkohle
 - Mikrobiologie

Folie 21

Prof. Dipl.-Ing. Harald



Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH

Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

Reaktive Wände (www.rubin-online.de)

Voraussetzungen:


- Gute Standorterkundung (Hydrogeologie, Hydraulik, GW-Chemismus, Art/Form der Schadstofffahne etc.)
- Vorversuche (Batch- und Säulenversuche)
- Platz für Wandbauwerk

Einsatzgrenzen:

- Mit Spezialtiefbauwerk verfügbarer GW-Stauer
- Komplexe Schadstoffgemische
- „Hartes“ Wasser
- Kluftgrundwasserleiter
- Schadstoffphase

Folie 22

Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**

Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn


Natural Attenuation:
= Natürlicher Schadstoffrückhalt und -abbau

- Ist eine Standorteigenschaft (Abbau, Sorption usw.)
- Detaillierte Aufklärung der Prozesse erforderlich!

Vorraussetzungen für Anwendung von NA

- Primärquelle ist saniert oder nicht sanierbar
- Fahne stagniert oder ist sogar rückläufig (keine weiteren Grundwasserbereiche gefährdet)
- Abbau dominiert
- Prognose der Entwicklung ist möglich

Folie 23Prof. Dipl.-Ing. Harald

**BIG**

Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

Anwendung von Natural Attenuation:
Gut geeignet z.B. für: MKW, BTEX
Bedingt geeignet für LCKW, PAK


Enhanced Natural Attenuation (ENA):

- Entspricht weitgehend mikrobiologischer in situ-Sanierung

Monitored Natural Attenuation (MNA):

- Monitoring der Fahnenentwicklung (Abbau, Stagnation)
- Überprüfung der Prognosemodelle
- Evtl. sehr lange Zeiträume erforderlich

Folie 24Prof. Dipl.-Ing. Harald




Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH

Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

Fazit / Ausblick

- P+T in Kombination mit Herdsanierung / Schadstoffmobilisierung
- Ständige Anpassung / Validierung der Verfahren
- Passive Systeme im Kommen
- Berücksichtigung von NA Prozessen
- Nachvollziehbare Feldanwendungen der „innovativen Verfahren“

Folie 25
Prof. Dipl.-Ing. Harald



Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH

Hannover • Chemnitz • Dresden • Erfurt • Heilbronn

Quellen:

- Stupp et al: „Sanierungsoptimierung von CKW-Grundwasserschäden - Möglichkeiten zur Reduzierung von Sanierungskosten -“; Altlasten spektrum Heft 6/2005
- ITVA Fachausschuss H1: Arbeitskreis für innovative in situ Sanierungsverfahren
- In situ Sanierungsprojekte der Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
- Burmeier et al: Handbuch zur Anwendung von Reinigungswänden zur Sanierung von Altlasten; Forschungsbericht zum F+E-Verbund RUBIN; 2006; download: www.rubin-online.de
- F+E-Verbund „Natural Attenuation“ KORA; download: www.natural-attenuation.de

Folie 26
Prof. Dipl.-Ing. Harald