

Sanierung mit reaktiven Wandsystemen bei CKW-Fällen

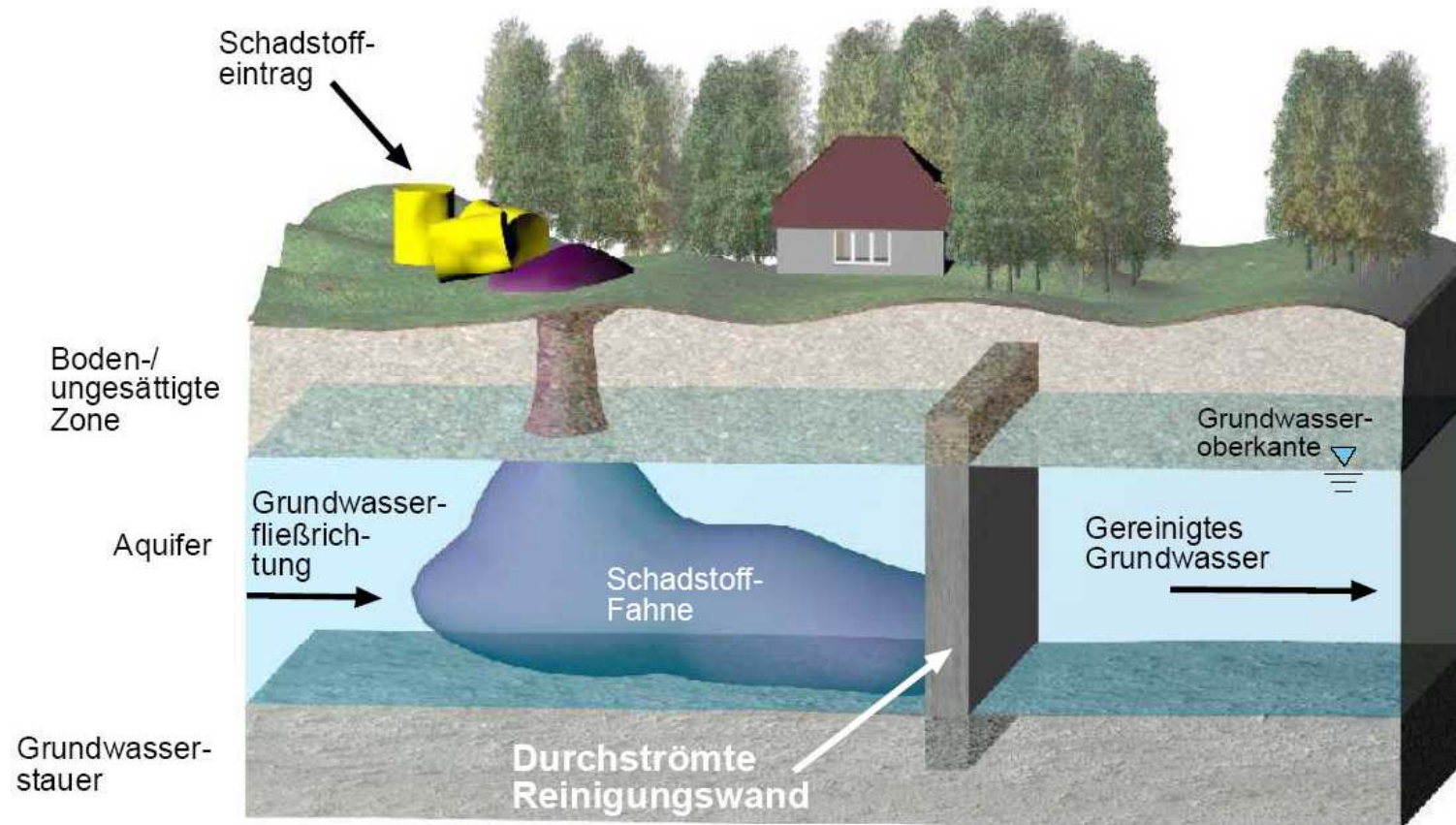
Methode, Einsatzmöglichkeiten, Beispiele

Rita Hermanns Stengele, Dr.sc.techn. ETH

Inhalt

- Funktionsweise und Varianten des Verfahrens
- Reaktive Materialien
- Feldanwendungen
- Warum reaktive Wandsysteme?
- Konstruktionsprinzipien
- Auswahl des Systems
- Bauverfahren
- Anforderungen an Reaktive Wände
- Beispiele
- Fazit und Ausblick

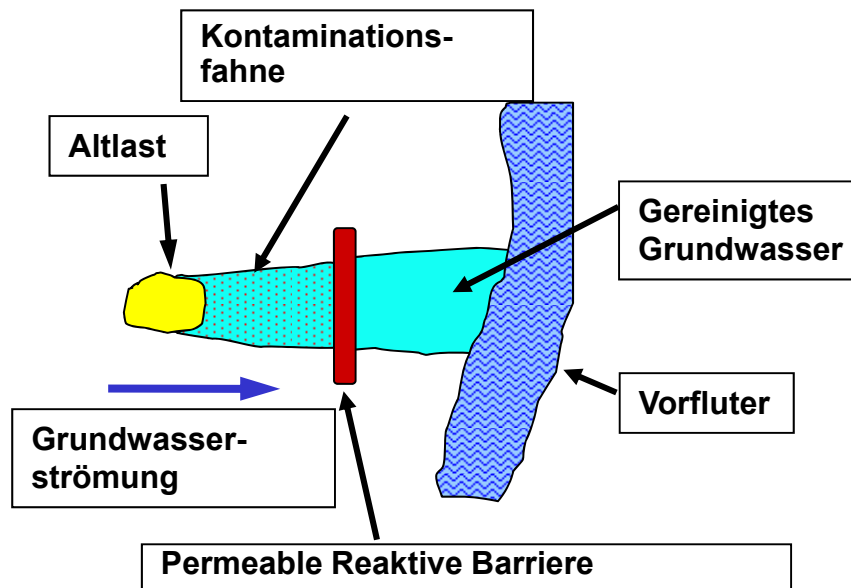
Generelle Funktionsweise



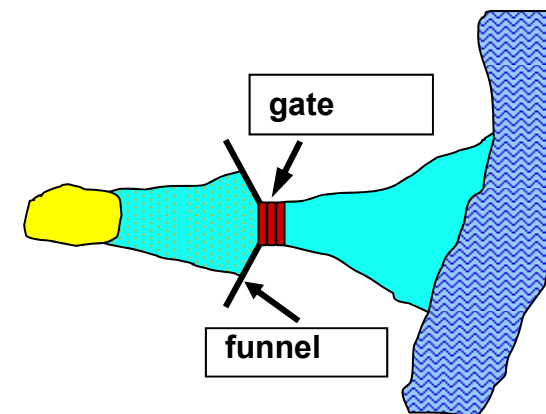
Quelle: www.rubin-online.de

Durchströmte Reinigungswände (1)

- Vollflächig durchströmte Wände (CRB) oder auch Permeable Reaktive Barriere (PRB)



- Reinigungswände mit gelenktem Grundwasserstrom:
z.B. Funnel-and-gate Systeme (F&G)

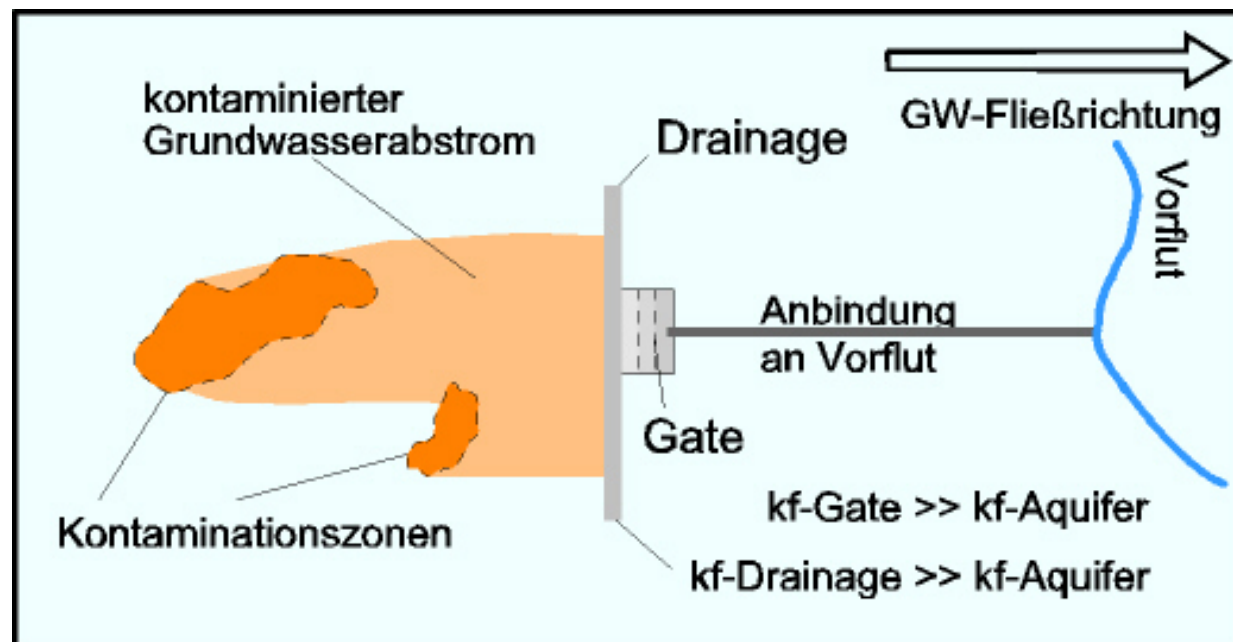


Nach: Starr & Cherry, 1994

Durchströmte Reinigungswände (2)

- **Reinigungswände mit gelenktem Grundwasserstrom:**

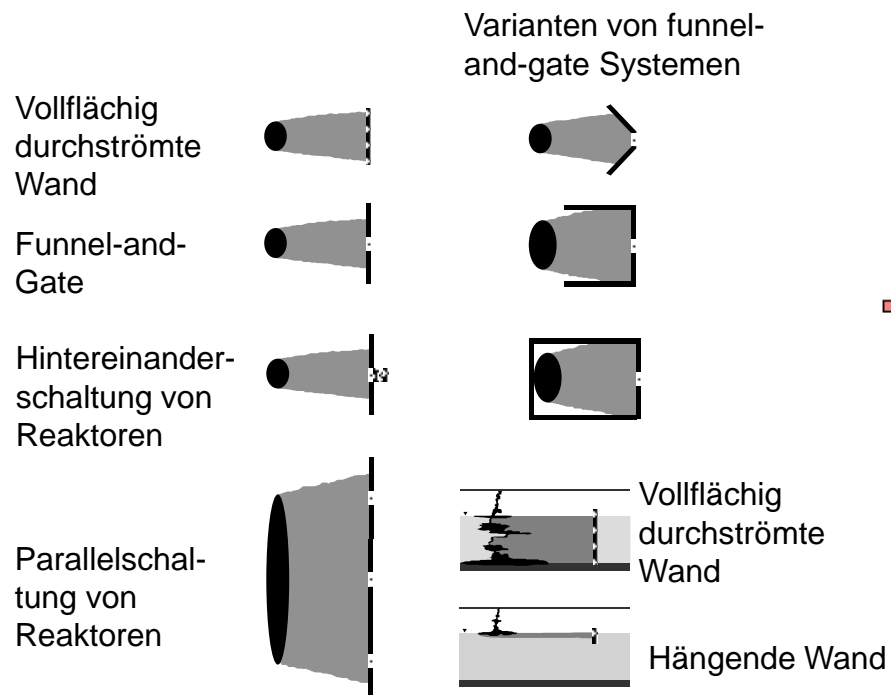
z.B. Drain-and-Gate Systeme (D&G)



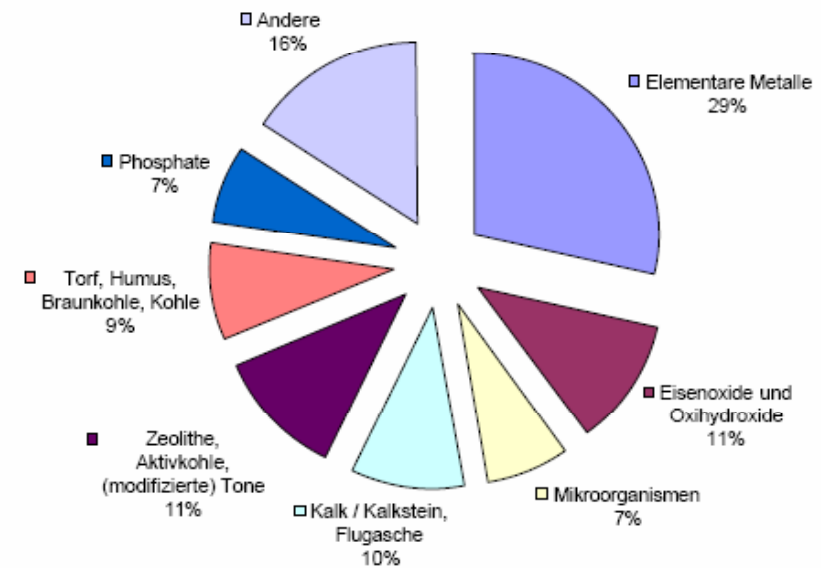
Quelle: www.rubin-online.de

Varianten

Varianten von Wandsystemen



Varianten von Füllmaterialien



Reaktive Materialien (1)

Füllmaterial	Schadstoffkategorie
Nullwertiges Eisen (Fe^0)	Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW); Schwermetalle (z.B. Cr^{VI} , As^{VI} , As^{III} , Se^{VI})
Eisenerz (Hämatit)	Chromat (Cr^{VI}) (evtl. weitere Schwermetalle)
Bauxit	Chromat (Cr^{VI}) (evtl. weitere Schwermetalle)
Aktivkohle	Organische Substanzen
Koks	PAK (evtl. weitere organische Substanzen)
Sepiolit (Tonmineral)	Herbizide

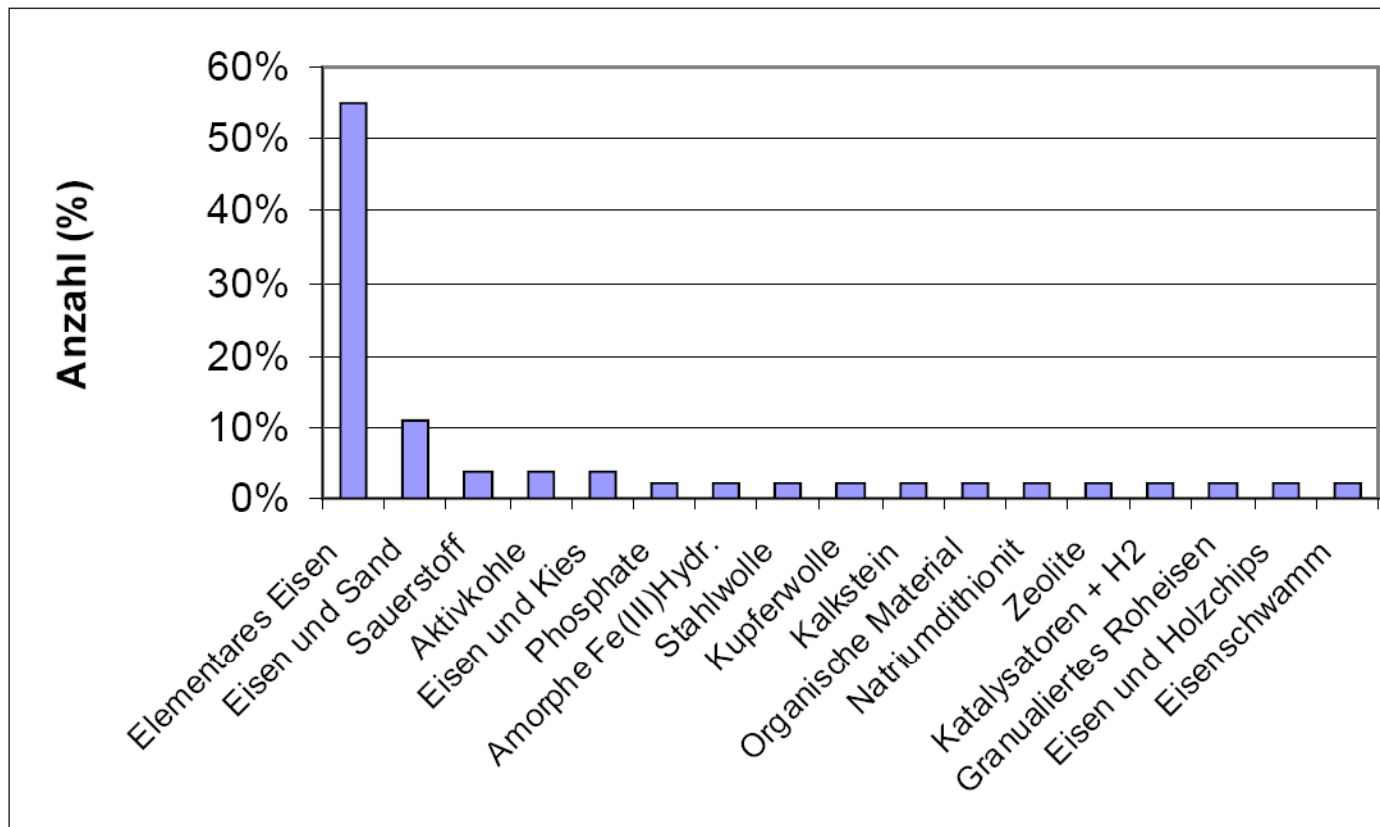
Sowie verschiedene Varianten, wie z.B.:
Eisen und Sand / Kies, Eisenschwamm, Zeolite

Reaktive Materialien (2)

- Redox-Reaktive Wände:
Überführung in nicht toxische oder in immobile Substanzen
(z.B. Eisenprodukte)
- Sorptionsreaktive Wände:
Schadstoff wird von reaktivem Material sorbiert (z.B. Aktivkohle)
- Fällungsreaktive Wände:
Fällung durch geochemische Milieuänderung
- Emissionswände / Biowände:
Freisetzung von Substraten etc. zur Umwandlung
- Kombinationswände:
Kombination verschiedener Materialien
- **Achtung: Keine Gefährdung des Grundwassers z.B. durch Desorption, Umwandlungs- oder andere Nebenprodukte**

Feldanwendungen (1)

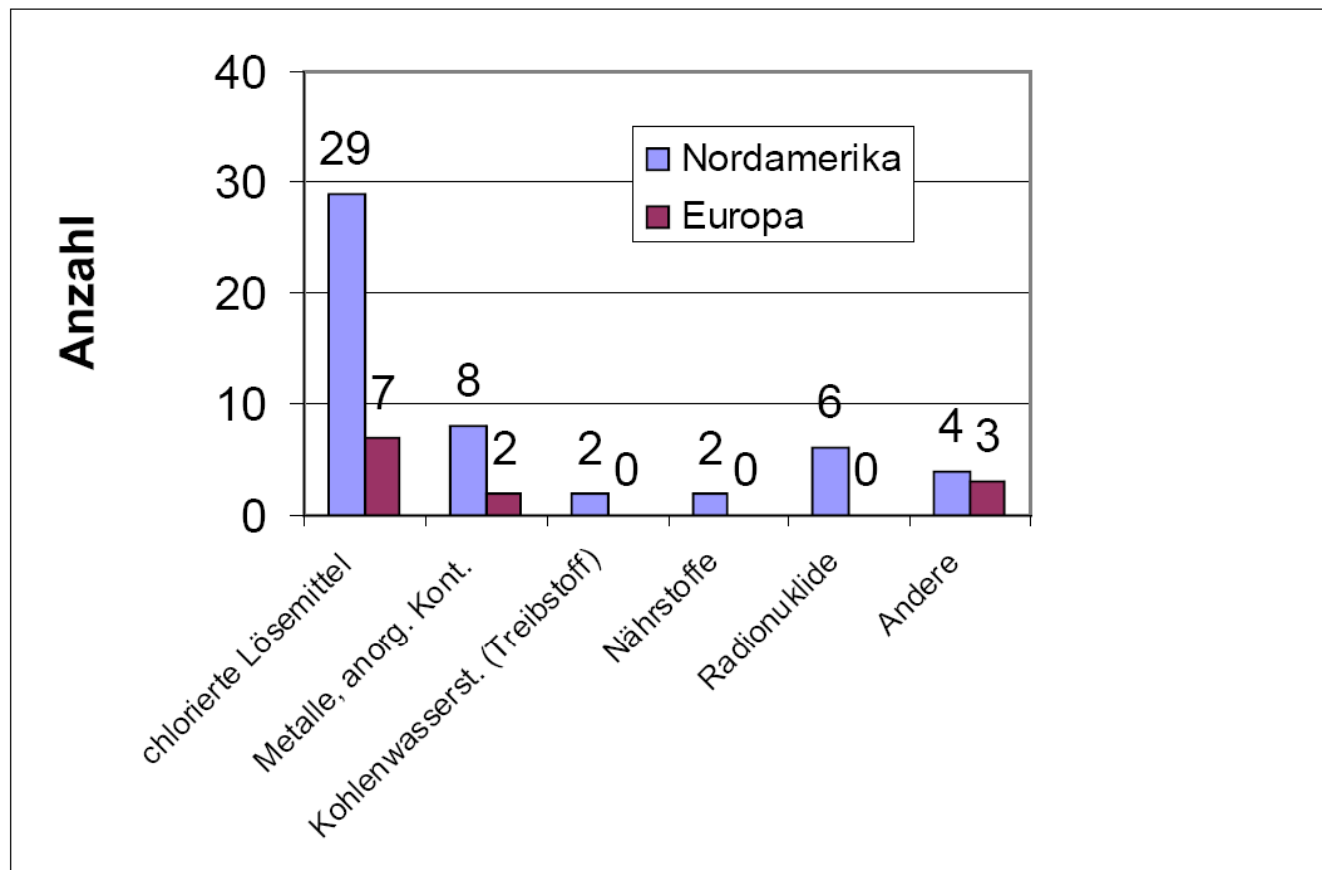
- in Reinigungswänden eingesetzte reaktive Materialien



Quelle: www.rubin-online.de

Feldanwendungen (2)

- mit Reinigungswänden behandelte Grundwasserkontaminationen, unterteilt in Nordamerika und Europa



Quelle: www.rubin-online.de

Warum Reaktive Wandsysteme?

PRO

- Passives Verfahren, keine Energiezufuhr nötig
- Bei unzugänglichen Standorten geeignet
- Keine oder geringe Einschränkung der Standortnutzung
- i.d.R. kostengünstigeres Verfahren als z.B. pump-and-treat
- Relativ geringe Eingriffe in das Grundwasserregime
- Keine Setzungen, da keine GW-Absenkung
- Geringe Betriebskosten
- Keine oberirdischen Anlagen
- Kein Kontakt mit Schadstoffen

Warum Reaktive Wandsysteme?

CONTRA

- Lange Sanierungszeiten
- Aufwändiges Monitoring
- Aufwändige Standortcharakterisierung
- Hohe Investitionskosten
- Nachbesserungsarbeiten begrenzt möglich
- Schadstoffherd verbleibt im Untergrund (Nachhaltigkeit?)
- Evtl. Entfernung reaktives Material nach Betriebsende oder bei Verbrauch
- Evtl. Einfluss auf Grundwasserregime

Konstruktionsprinzip (1)

Vollflächig durchströmte Wandsysteme

- Einfaches System, praktisch keine Veränderungen des GW-Regimes (GW-Fließrichtung, GW-Strömung)
- Grosser Durchflussquerschnitt, geringe Gefahr von mineralischem Clogging, evtl. Gasclogging oder Coating
- Möglichkeit von hängenden Wänden
- Praktisch kein Austausch von reaktivem Material möglich
- Evtl. stark überdimensioniert
- Zudosierung von Hilfsstoffen nicht möglich
- Relativ teuer durch grosses Volumen von reaktivem Material

Konstruktionsprinzip (2)

Wandsysteme mit gelenkter GW-Strömung

- Anpassung Gategrösse an Bedarf an reaktivem Material
- Austausch von reaktivem Material möglich
- Einfach zu kontrollieren, „Einzugsgebiet“ evtl. steuerbar
- Gefahr von Clogging (mineralisch, Gas) durch kleine Querschnitte oder Coating
- Komplexes hydraulisches System, mässig bis starke Veränderung des GW-Regimes (GW-Fliessrichtung, GW-Strömung), GW-Modellierung nötig
- Möglichkeit von hängenden Wänden begrenzt bis unmöglich
- Zudosierung von Hilfsstoffen nicht möglich

Einfluss auf die Auswahl

- Geologie (Locker-/Festgestein, Mächtigkeit, Heterogenität, GW-Stauer etc.)
- Hydrogeologie (Durchlässigkeit, GW-Gradient (horizontal, vertikal), Fliessrichtungsvariabilität, GW-Spiegel, Grundwasserbeschaffenheit etc.)

$k > 10^{-2}$ m/s	CRB
$10^{-4} - 10^{-2}$ m/s	CRB, F&G
$10^{-6} - 10^{-4}$ m/s	(CRB), F&G, D&G
$10^{-8} - 10^{-6}$ m/s	D&G

- Art der Schadstoffe (organisch/anorganisch), Konzentrationen
- Durchlässigkeit reaktives Material ($k_{PRB} > k_{Aquifer}$)
- Langzeiteffektivität (Coating, Clogging, Verbrauch etc.)
- Bauverfahren für die Herstellung (Tiefbautechnik)

Auswahl des Systems

- Eignung der reaktiven Materialien:
 - Umweltverträglichkeit
 - Vorversuche (Batch-Versuche, Säulenversuche etc.)
 - Pilot-/Feldversuche
- Eignung des Systems:
 - Verweildauer/Reinigungsleistung
 - Variantenvergleich
- Kosten
- Kosten-Nutzen-Untersuchung:
 - Kosten-Nutzen-Analyse
 - Kostenwirksamkeitsanalyse
- Gesamtbeurteilung
 - Kombination verschiedener Materialien

Bauverfahren

	CRB	F&G	D&G	Tiefe (m)
Überschnittene Bohrpfahlwand	X	X	X	15
Aufgelöste Bohrpfahlwand	X			20
Schmalwandverfahren	X			15
Stahlspundwand - Funnel		X		25
Schlitzwandverfahren (Bentonitgestützt) - Funnel		X		30
Schlitzwandverfahren (Biopolymer)	X		X	30
Brunnenbautechniken		X	X	20
Bodenfräse	X		X	8
Offener Graben (Verbau)	X		X	6
Injektionen, HF (Festgestein)	X			> 50

Quelle: Schad, 2007

Anforderungen (1)

An den Einsatz

- Säulenversuche
 - Schadstoffart- und -konzentration
 - Abbaubarkeit / Reduktion
 - Verweildauer
 - Erosion / Stabilität
- Machbarkeitsstudie
 - Geologische / hydro-geologische Verhältnisse
 - Konstruktion / Design
 - Herstellungsverfahren
- Grundwasserströmungsmodell
 - 2-Dimensional
 - 3-Dimensional
- Sanierungsplanung
 - Qualitätssicherungsplan
 - Monitoringkonzept

Anforderungen (2)

An die Konstruktion

- Grundriss, Wandtiefe
- Durchlässigkeit
 - $k_{\text{Wand}} > k_{\text{Aquifer}}$
- Standsicherheit
- Langzeitverhalten
 - Erosion
 - Stabilität
 - Umweltverträglichkeit
 - Lebensdauer
- Austauschbarkeit Füllmaterialien
- Zuverlässigkeit und Kontrollierbarkeit
- Herstellbarkeit
- Kosten

Beispiele (D)

Bau	Ort	Kontaminanten	Status	Typ	Masse	Medium
Jan. 98 - Feb. 01	Edenkoben	LCKW (cis-DCE, 111TCA, TCE, PCE)	PM-VM	F&G 6 Gates	Länge 440 m, Tiefe 15 m	Fe ⁰ , Eisenspäne
Jun. 98	Rheine	LCKW (PCE, TCE, cis-DCE)	PM	CRB, überschn. Bohrpfähle	Länge 22.5 m, Tiefe 6 m	Fe ⁰ und Fe ⁰ mit Kies vermischt
Okt. 98	Tübingen	LCKW (TCE, cis-DCE, VC)	VM	F&G 3 Gates	Länge 200 m, Tiefe 10 m	Fe ⁰ Grauguss-eisengranulat
Okt. 99	Bitterfeld	Chlorbenzole, LCKW, Phenole	PM	5 Schächte,	Tiefe 24 m, ver-tikaler Durchfluss	AK, Fe ⁰ , ORC, Nährstoffe etc.
Jan. 00	Reichenbach an der Fils	LCKW (PCE, TCE, cis-DCE)	VM	CRB, nicht über-schn. Bohrpfähle	Länge 20 m, Tiefe 7 m	AK
Jan. 01	Karlsruhe	PAK, VC	VM	F&G 8 Gates	Länge 240 m, Tiefe 17 m	AK
Aug. 01	Denkendorf	LCKW (PCE, TCE, cis-DCE, VC)	VM	D&G 1 Gate	Länge 90 m, Tiefe 6 m	AK
Sep. 01	Bernau	LCKW (TCE)	PM	F&G mit 18 Reaktoren	-	Fe ⁰ Graugusseisengra-nulat, Eisenschwamm
Jan. 02	Oberursel	LCKW	VM	F&G 1 Gate	Länge 175 m, Tiefe 4-17 m	Fe ⁰
Sep. 02	Denkendorf	LCKW, v.a. VC	PM	Säulenversuch	-	Palladium auf Zeolith, Wasserstoff
Dez. 04	München-Moosach	PAK, Phenole, BTEX	VM	F&G, 4 Kammern	Länge 1.4 km	AK

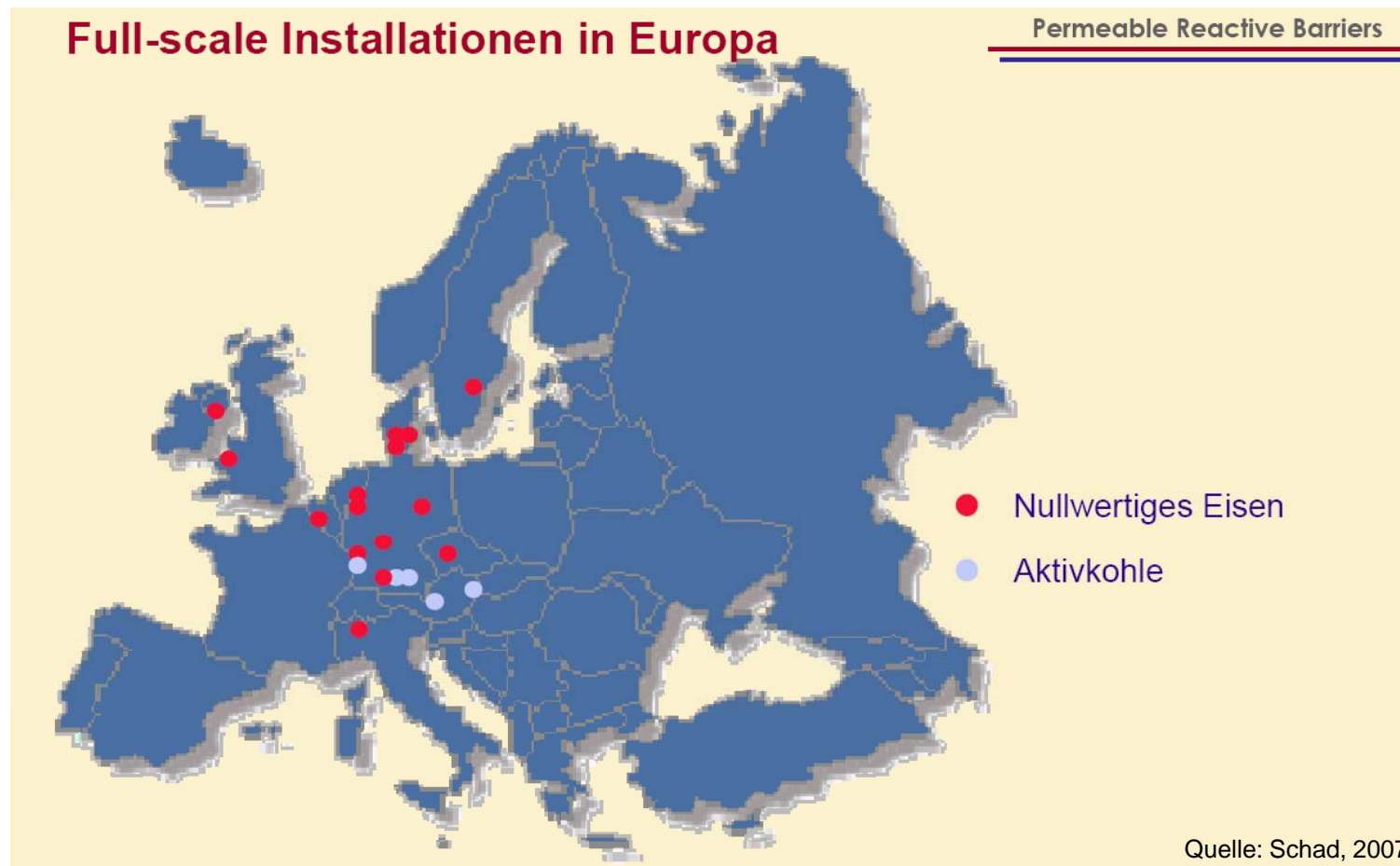
PM = Pilotmassstab

VM = Vollmassstab

AK = Aktivkohle

Stand 2007, www.rubin-online.de

Stand Europa

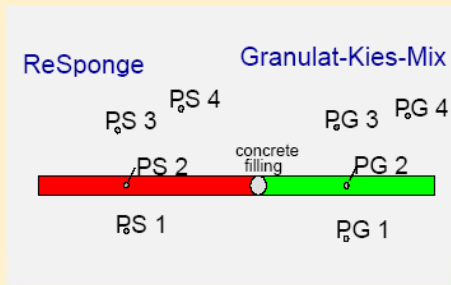


Beispiel Rheine (1)

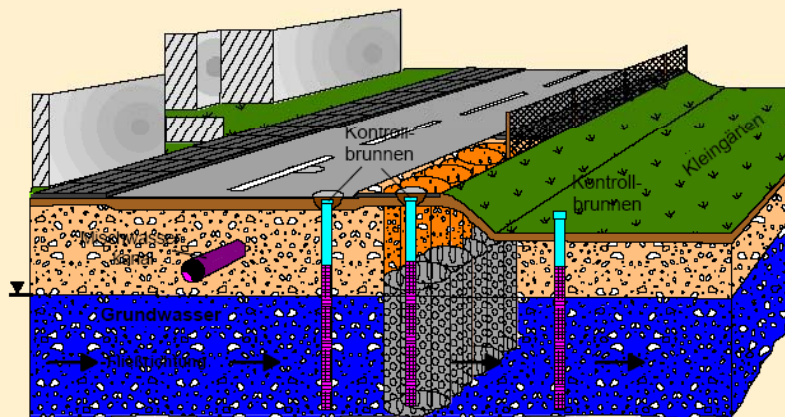
Rheine (06/1998)

Permeable Reactive Barriers

Aktueller Stand



ReSponge: 100% Eisenanteil
Granulat-Kies-Mix: 50 Gew.-% Eisenanteil



I.M.E.S. GmbH

Quelle: www.rubin-online.de

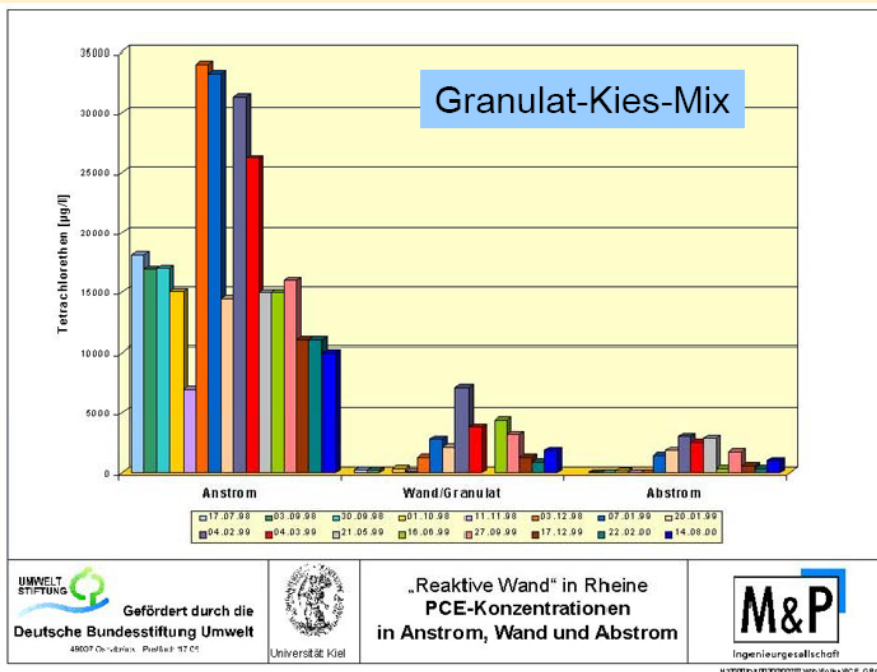
Aktueller Stand



23

Beispiel Rheine (3)

Rheine (06/1998)



Permeable Reactive Barriers

Aktueller Stand

Monitoringergebnisse:

- Zustrom 10 - 35 mg/l PCE
- Abbau
> 90% zu Beginn
mittlerweile ca. 85%



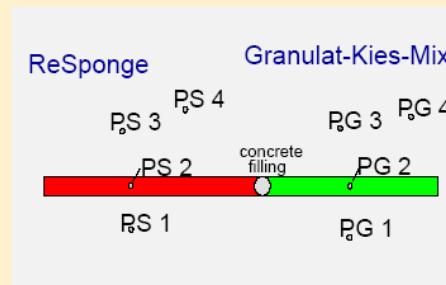
Graugussgranulat

I.M.E.S. GmbH

Quelle: www.rubin-online.de

Beispiel Rheine (4)

Rheine (06/1998)



Beurteilung:

ReSponge: zunehmende Abbauleistung, nahezu 100% Abbau

Granulat-Kies-Mix: zunächst etwas zurückgehende Abbauleistung, Stabilisierung bei ca. 80% Abbau, allerdings höhere Zulaufkonzentrationen und deutlich weniger Eisen

Bautechnik: geeignet

Gesamtfazit: Konsistente und überzeugende Abbaudaten über mehr als 5 a

I.M.E.S. GmbH

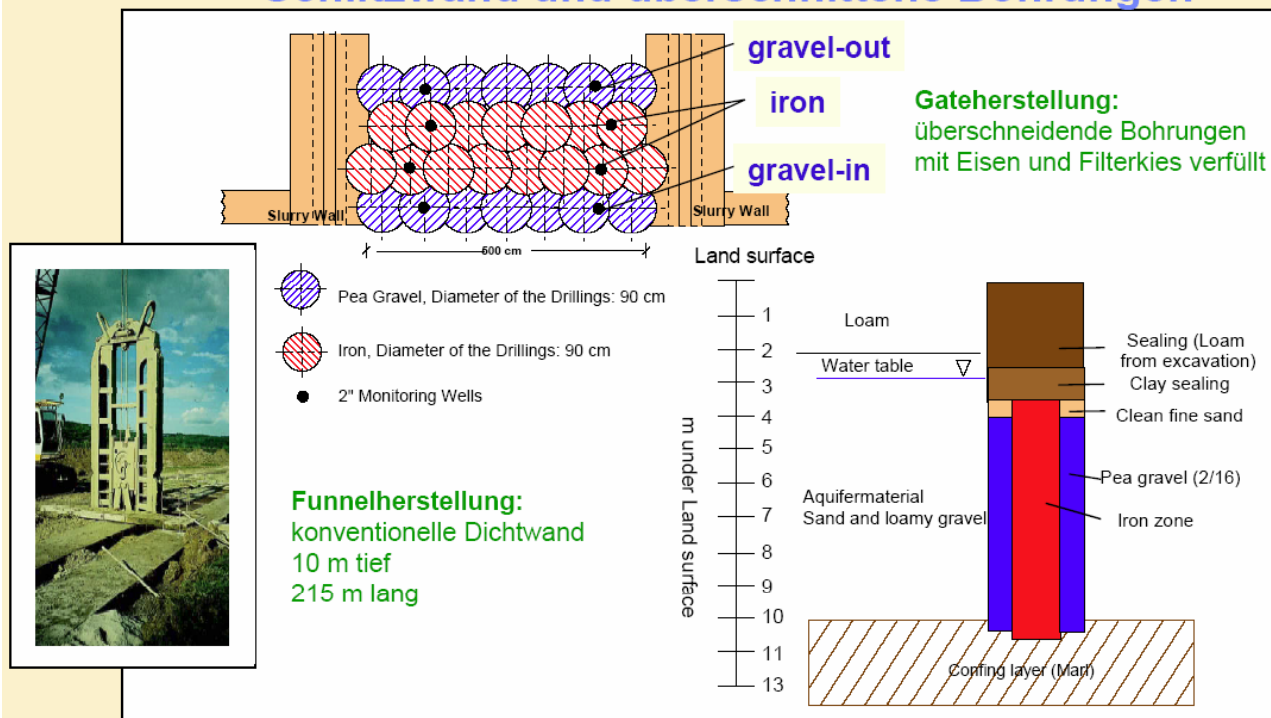
Quelle: www.rubin-online.de

Beispiel Tübingen (D)

Tübingen 11/1998

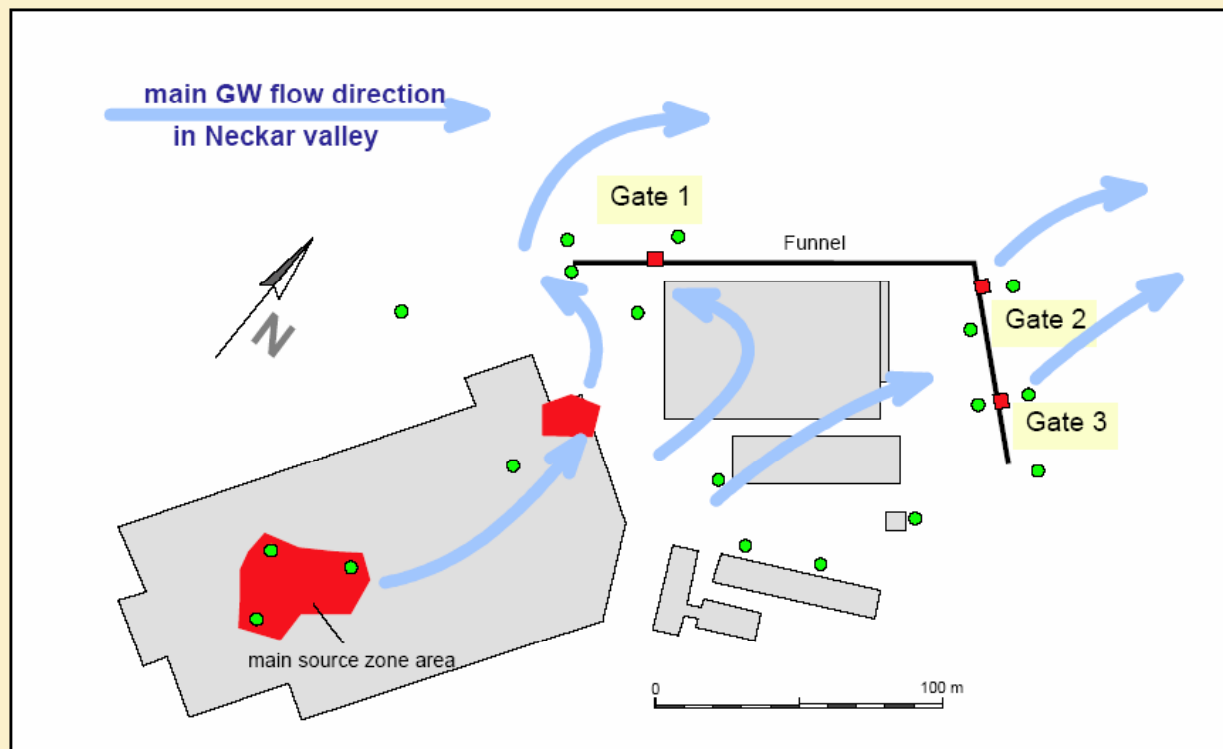
Permeable Reactive Barriers

Schlitzwand und überschnittene Bohrungen



Beispiel Tübingen (D)

Erfahrungen: Umströmung von Gate 1 und des langen Funnelschenkels



Fazit und Ausblick

- PRB's stellen ein passives Sanierungsverfahren bevorzugt für chlorierte Lösungsmittel dar
- in situ Grundwassersanierungen mit Permeablen Reaktiven Wänden können eine geeignete Alternative zu anderen Sanierungs- bzw. Sicherungs-verfahren darstellen
- Der Einsatz von PRB's ist gerade bei unzugänglichen oder nicht lokalisierbaren Schadensherden geeignet
- Gründliche Erkundung und Modellierung der geologischen und der hydrogeologischen Situation ist Voraussetzung
- Es gibt weiteren Forschungsbedarf vor allem in Hinblick auf das Langzeitverhalten sowie auf die Entfernung von Schadstoffgemischen
- Die Nachhaltigkeit des Verfahrens ist zu prüfen
- Alternative Filter könnten zur Reduzierung der Erstellungskosten beitragen