

Assainissement au moyen de parois réactives dans les cas de pollution par des HCC

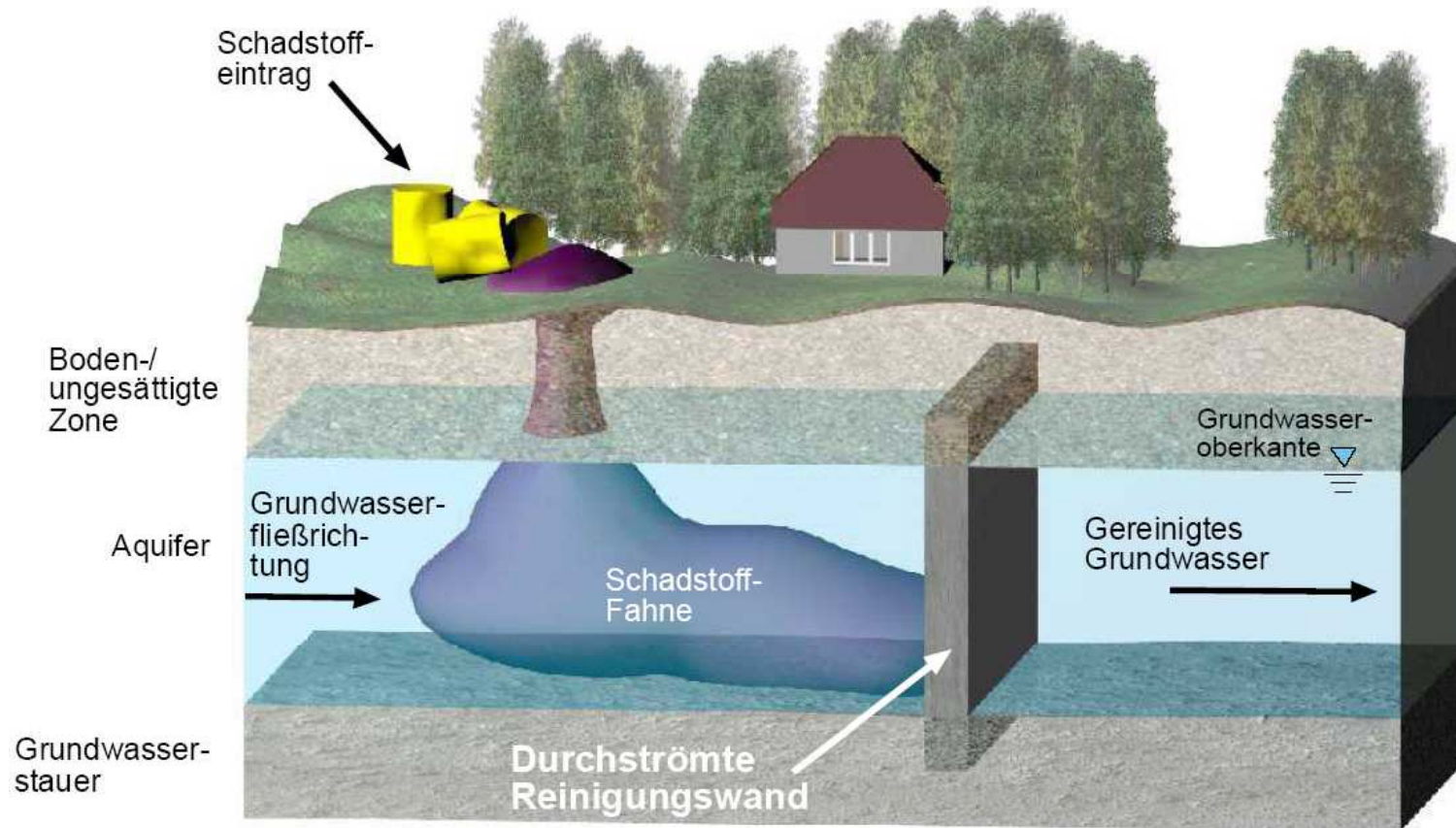
Méthode, champs d'application, exemples

Rita Hermanns Stengele, Dr.sc.techn. ETH

Sommaire

- Mode de fonctionnement et variantes du procédé
- Matériaux réactifs
- Applications sur le terrain
- Pourquoi des parois réactives?
- Principes de construction
- Choix du système
- Procédé de construction
- Exigences posées aux parois réactives
- Exemples
- Conclusions et perspectives

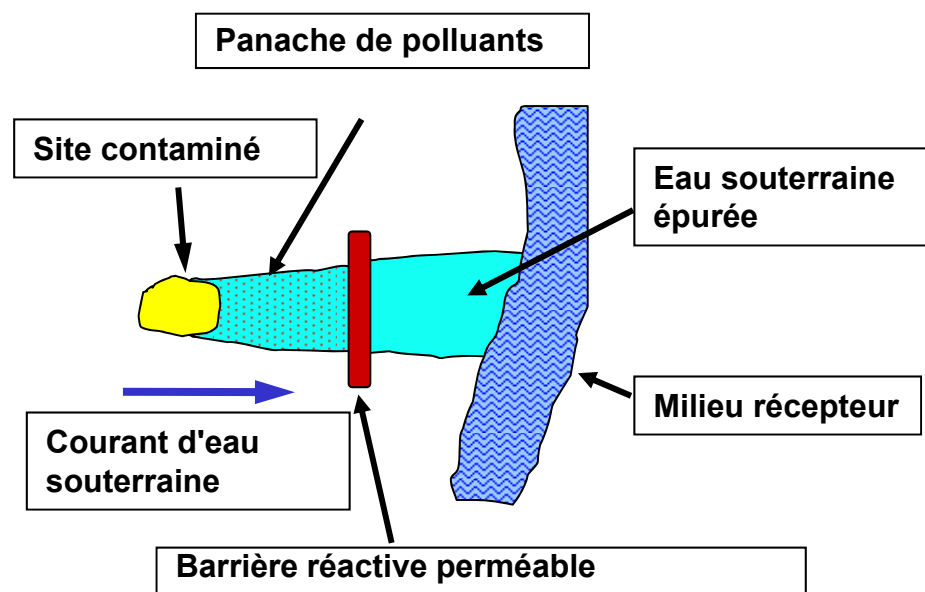
Mode de fonctionnement général



Source: www.rubin-online.de

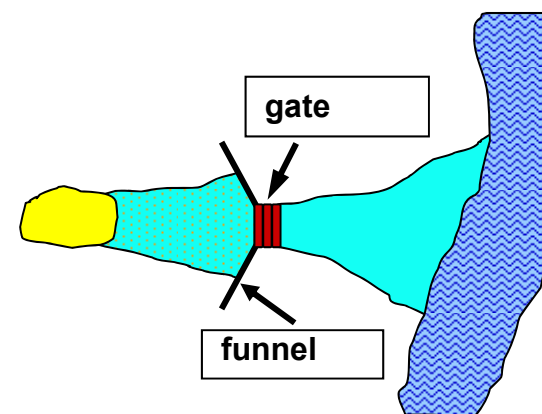
Parois filtrantes traversées (1)

- Parois traversées sur toute leur surface (CRB) ou barrières réactives perméables (PRB)



- Parois filtrantes avec guidage de l'écoulement d'eau souterraine :

p. ex. systèmes « Funnel-and-gate » (F&G)

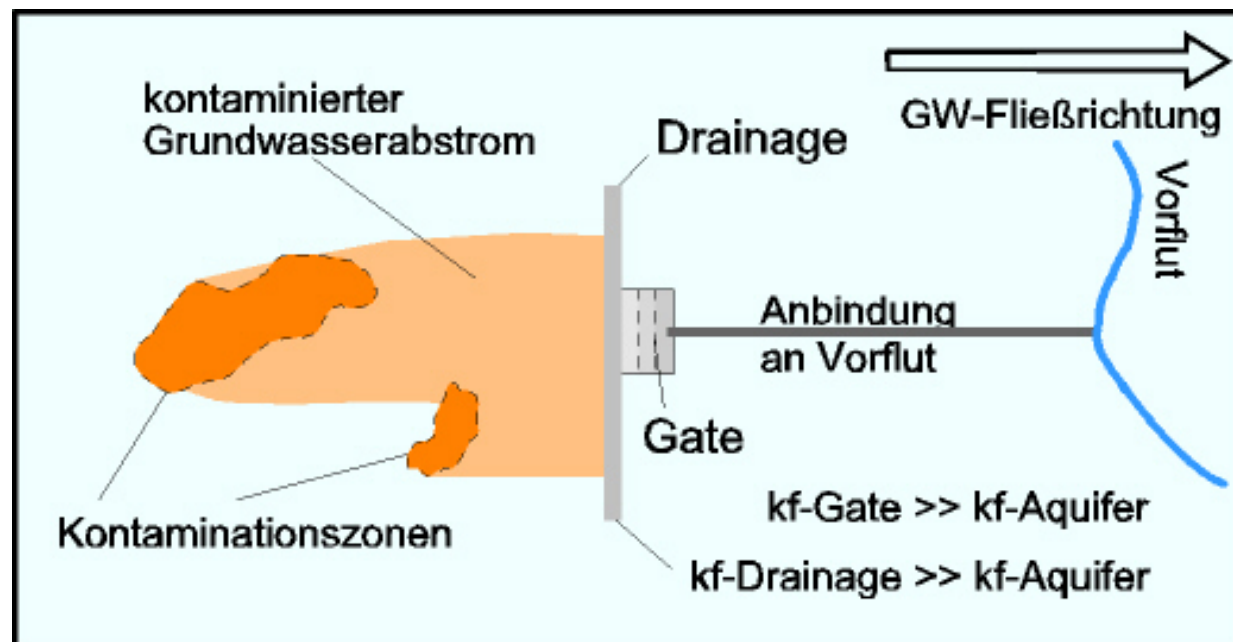


Selon: Starr & Cherry, 1994

Parois filtrantes traversées (2)

- Parois filtrantes avec guidage de l'écoulement d'eau souterraine :

p. ex. systèmes Drain-and-Gate (D&G)



Source: www.rubin-online.de

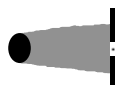
Variantes

Types de parois

Paroi traversée
sur toute sa
surface



Funnel-and-
gate



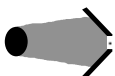
Réacteurs
montés en
série



Réacteurs
montés en
parallèle



Types de systèmes funnel-and-gate



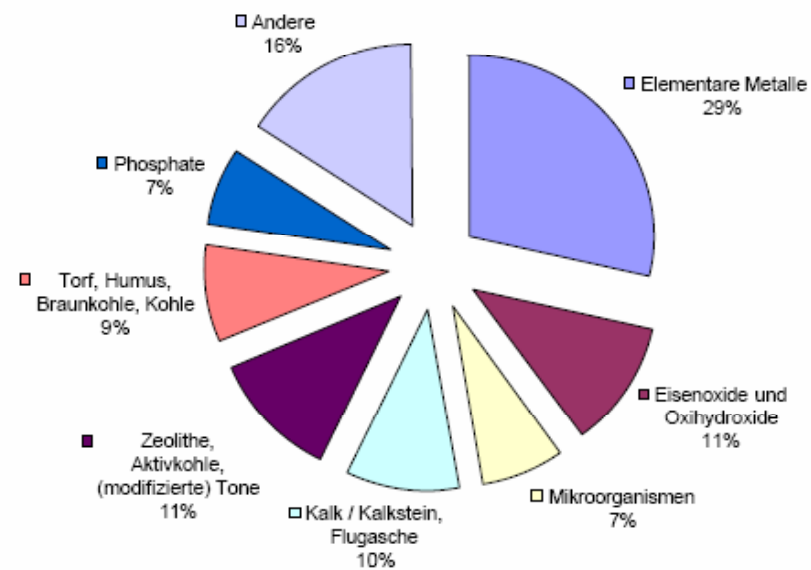
Paroi traversée
sur toute sa
surface



Paroi flottante



Types de matériaux réactifs



Matériaux réactifs (1)

Matériau réactif	Type de polluant
Fer élémentaire (Fe^0)	Hydrocarbures halogénés volatils (HCCV); métaux lourds (p. ex. Cr^{VI} , As^{VI} , As^{III} , Se^{VI})
Minerai de fer (hématite)	Chromate (Cr^{VI}) (éventuellement autres métaux lourds)
Bauxite	Chromate (Cr^{VI}) (éventuellement autres métaux lourds)
Charbon actif	Substances organiques
Coke	HAP (éventuellement autres substances organiques)
Sépiolite (minéral argileux)	Herbicides

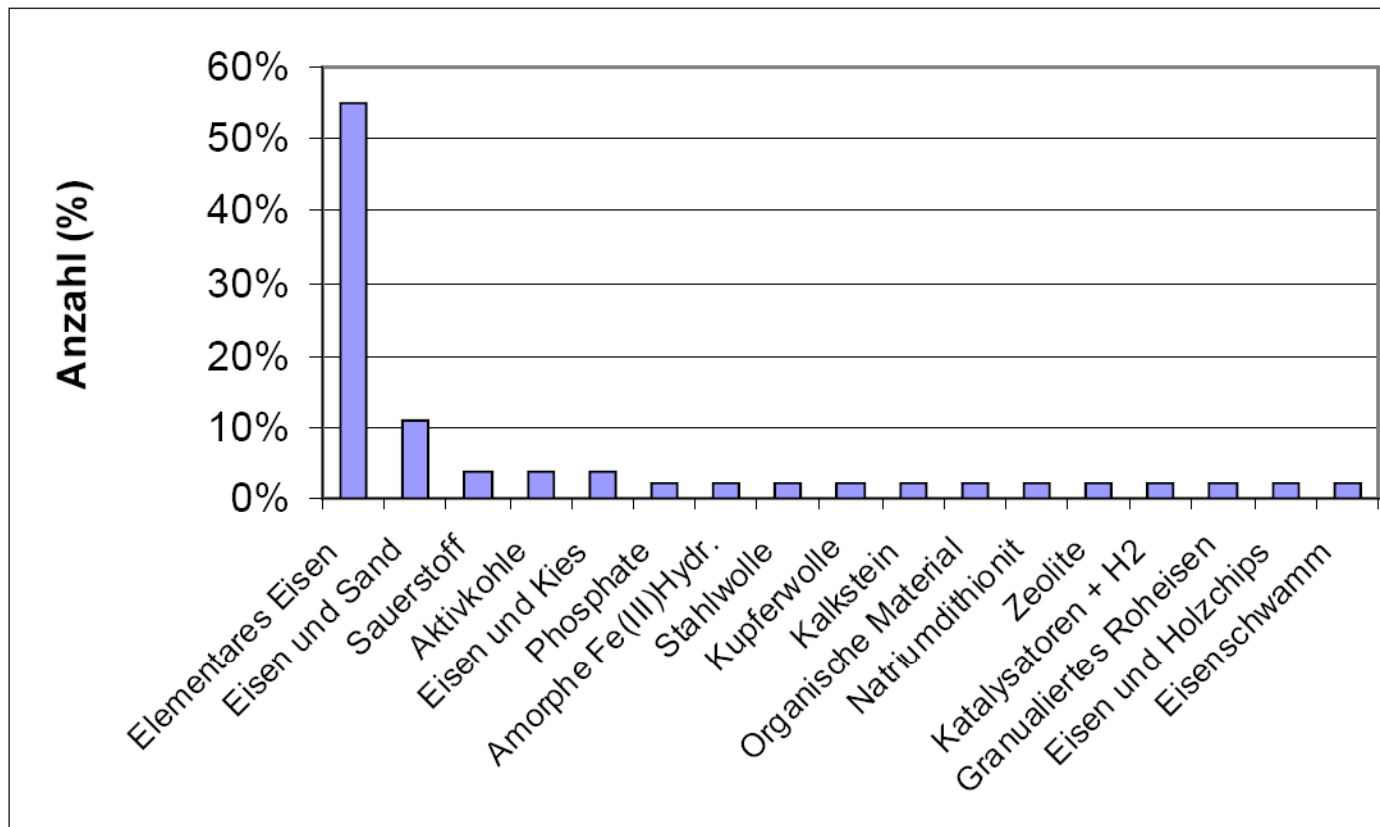
Ainsi que diverses variantes, p. ex.:
fer et sable / gravier, éponge de fer, zéolithes

Matériaux réactifs (2)

- Parois réactives à effet rédox:
transformation en substances non toxiques ou fixées
(p. ex. composés de fer)
- Parois réactives à effet de sorption :
le polluant est absorbé/adsorbé par le matériau réactif (p. ex. charbon actif)
- Parois réactives à effet de précipitation:
précipitation par modification géochimique du milieu
- Parois émettrices / Parois bio:
libération de substrat, etc. pour la transformation
- Parois combinées:
divers matériaux en combinaison
- NB: pas de risque pour la nappe phréatique p. ex. par
désorption ou du fait de produits secondaires

Applications pratiques (1)

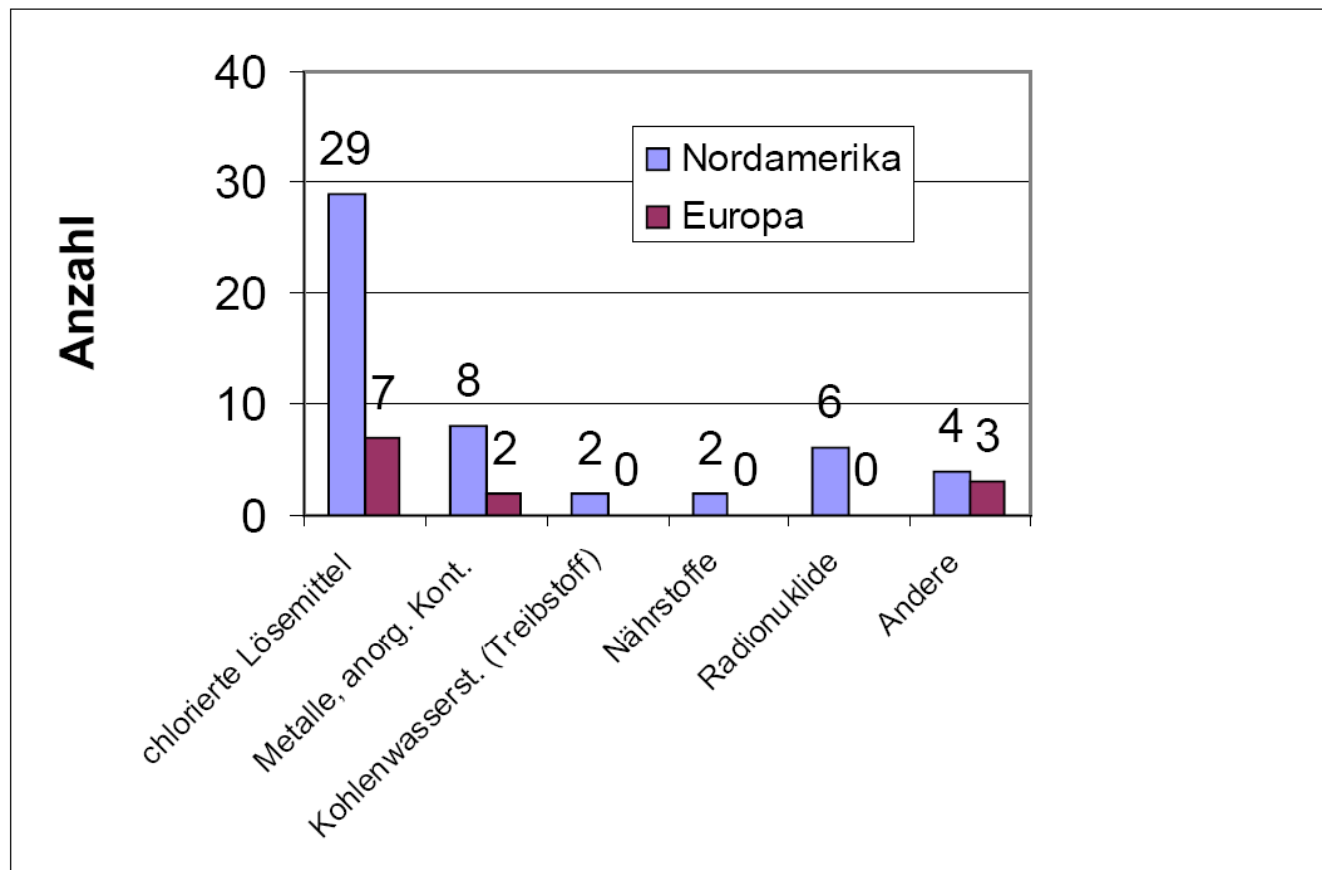
- **Matériaux réactifs utilisés sur les parois filtrantes**



Source: www.rubin-online.de

Applications pratiques (2)

- Eaux souterraines polluées traitées au moyen de parois filtrantes: nombre de cas en Amérique du Nord et en Europe



Source: www.rubin-online.de

Pourquoi des parois réactives?

LE POUR

- Procédé passif, sans apport d'énergie
- Approprié à des sites inaccessibles
- Pas ou peu de perturbations de l'exploitation du site
- Généralement meilleur marché que p. ex. pump-and-treat
- Relativement peu d'incidence sur le régime des eaux souterraines
- Pas d'affaissements, car pas d'abaissement du niveau phréatique
- Coûts d'exploitation minimales
- Pas d'installations sur le terrain
- Pas de contact avec les polluants

Pourquoi des parois réactives?

LE CONTRE

- L'assainissement demande beaucoup de temps.
- Monitoring onéreux
- Caractérisation du site onéreuse
- Frais d'investissement élevés
- Travaux de suivi guère possibles
- Foyer de pollution reste dans le sous-sol (durabilité?)
- Eventuellement élimination du matériau réactif après usage ou s'il est devenu inactif
- Eventuellement incidence sur le régime des eaux souterraines

Principe de construction (1)

Parois traversées sur toute leur surface

- Système simple, pratiquement pas d'incidence sur le régime de la NP (direction découlement, courant)
- Grande section d'écoulement, faible risque de clogging (colmatage) minéral, éventuellement gasclogging ou coating
- Possibilité d'installer des parois flottantes
- Pratiquement impossible de remplacer le matériau réactif
- Eventuellement fortement surdimensionné
- Addition dosée de substances auxiliaires impossible
- Relativement onéreux du fait d'un grand volume de matériau réactif

Principe de construction (2)

Parois avec guidage de l'écoulement de la NP

- Adaptation de la taille de la barrière au besoin en matériau réactif
- Il est possible de remplacer le matériau réactif.
- Facile à contrôler, possibilité éventuelle de choisir la zone concernée
- Risque de clogging (minéral, gaz) en raison de faibles sections ou de coating
- Système hydraulique complexe, modification moyenne à forte du régime d'écoulement de la NP (direction d'écoulement, courant), modélisation NP nécessaire
- Parois flottantes difficiles voire impossibles à installer
- Addition dosée de substances auxiliaires impossible

Facteurs du choix

- Géologie (roche meuble ou non, épaisseur, hétérogénéité, aquiclude, etc.)
- Hydrogéologie (perméabilité, gradient NP [horizontal, vertical], variabilité de la direction du flux, niveau phréatique, qualité des eaux souterraines, 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

- Types de polluants (organique/inorganique), concentrations
- Perméabilité du matériau réactif ($k_{PRB} > k_{\text{aquifère}}$)
- Efficacité à long terme (coating, clogging, consommation, etc.)
- Procédé de construction (technique de génie civil)

Choix du système

- Caractère approprié des matériaux réactifs:
 - Impact sur l'environnement
 - Essais préliminaires (essais batch et en colonne, etc.)
 - Essais pilote / in situ
- Caractère approprié du système:
 - Temps de résidence/Taux d'épuration
 - Comparaison des variantes
- Coûts
- Rapport coûts/bénéfices:
 - Analyse du rapport coûts/bénéfices
 - Analyse d'efficacité des coûts
- Evaluation globale
 - Combinaison de divers matériaux

Procédé de construction

	CRB	F&G	D&G	Tiefe (m)
Paroi de pieux sécants	X	X	X	15
Paroi de pieux disjoints	X			20
Ecrans minces	X			15
Rideau de palplanches-funnel		X		25
Paroi moulée (étayée à la bentonite) – funnel		X		30
Paroi moulée (biopolymère)	X		X	30
Tech. de const. des puits		X	X	20
Creusage du sol à la fraise	X		X	8
Tranchée ouverte (coffrage)	X		X	6
Injections, HF (roche)	X			> 50

Source: Schad, 2007

Exigences... (1)

...posées à la mise en œuvre

- Essais en colonne
 - Type de polluant et sa concentration
 - Dégradabilité / Réduction
 - Temps de résidence
 - Erosion / Stabilité
- Etude de faisabilité
 - Conditions géologiques / hydro-géologiques
 - Construction / Conception
 - Procédé de fabrication
- Modélisation des courants d'eau souterraine
 - 2D
 - 3D
- Planification de l'assainissement
 - Plan d'assurance de la qualité
 - Projet de monitoring

Exigences... (2)

... posées à la construction

- Plan, longueur de la paroi
- Perméabilité
 - $k_{\text{paroi}} > k_{\text{aquifère}}$
- Stabilité statique
- Comportement à long terme
 - Erosion
 - Stabilité
 - Impact sur l'environnement
 - Durée de vie
- Interchangeabilité
- Matériaux de remplissage
- Fiabilité et possibilités de contrôle
- Possibilité de fabrication
- Coûts

Exemples (D)

Mise en pl.	Lieu	Polluants	Statut	Type	Dimensions	Produit réactif
Jan. 98 - fév. 01	Edenkoben	HCCV (cis-DCE, 111TCA, TCE, PCE)	EP-ER	F&G 6 barrières	Long. 440 m, prof. 15 m	Fe ⁰ , copeaux de fer
Juin 98	Rheine	HCCV (PCE, TCE, cis-DCE)	EP	CRB, pieux sécants	Long. 22.5 m, prof. 6 m	Fe ⁰ et Fe ⁰ mélangé à du gravier
Oct. 98	Tübingen	HCCV (TCE, cis-DCE, CV)	ER	F&G 3 barrières	Long. 200 m, prof. 10 m	Fe ⁰ granulats de fonte grise
Oct. 99	Bitterfeld	Chlorobenzènes, HCCV, phénols	EP	5 puits	prof. 24 m, écoulement vertical	CA, Fe ⁰ , ORC, nutriments, etc.
Jan. 00	Reichenbach an der Fils	HCCV (PCE, TCE, cis-DCE)	ER	CRB, pieux disjoints	Long. 20 m, prof. 7 m	CA
Jan. 01	Karlsruhe	HAP, CV	ER	F&G 8 barrières	Long. 240 m, prof. 17 m	CA
Août 01	Denkendorf	HCCV (PCE, TCE, cis-DCE, VC)	ER	D&G 1 barrière	Long. 90 m, prof. 6 m	CA
Sep. 01	Bernau	HCCV (TCE)	EP	F&G (18 réacteurs)	-	Fe ⁰ granulats de fonte grise, éponge de fer
Jan. 02	Oberursel	HCCV	ER	F&G 1 barrière	Long. 175 m, prof. 4-17 m	Fe ⁰
Sep. 02	Denkendorf	HCCV, surtout CV	EP	Essai en colonne	-	Palladium sur zéolithe, hydrogène
Déc. 04	München- Moosach	HAP, phénols, BTEX	ER	F&G, 4 compartiments	Long. 1.4 km	CA

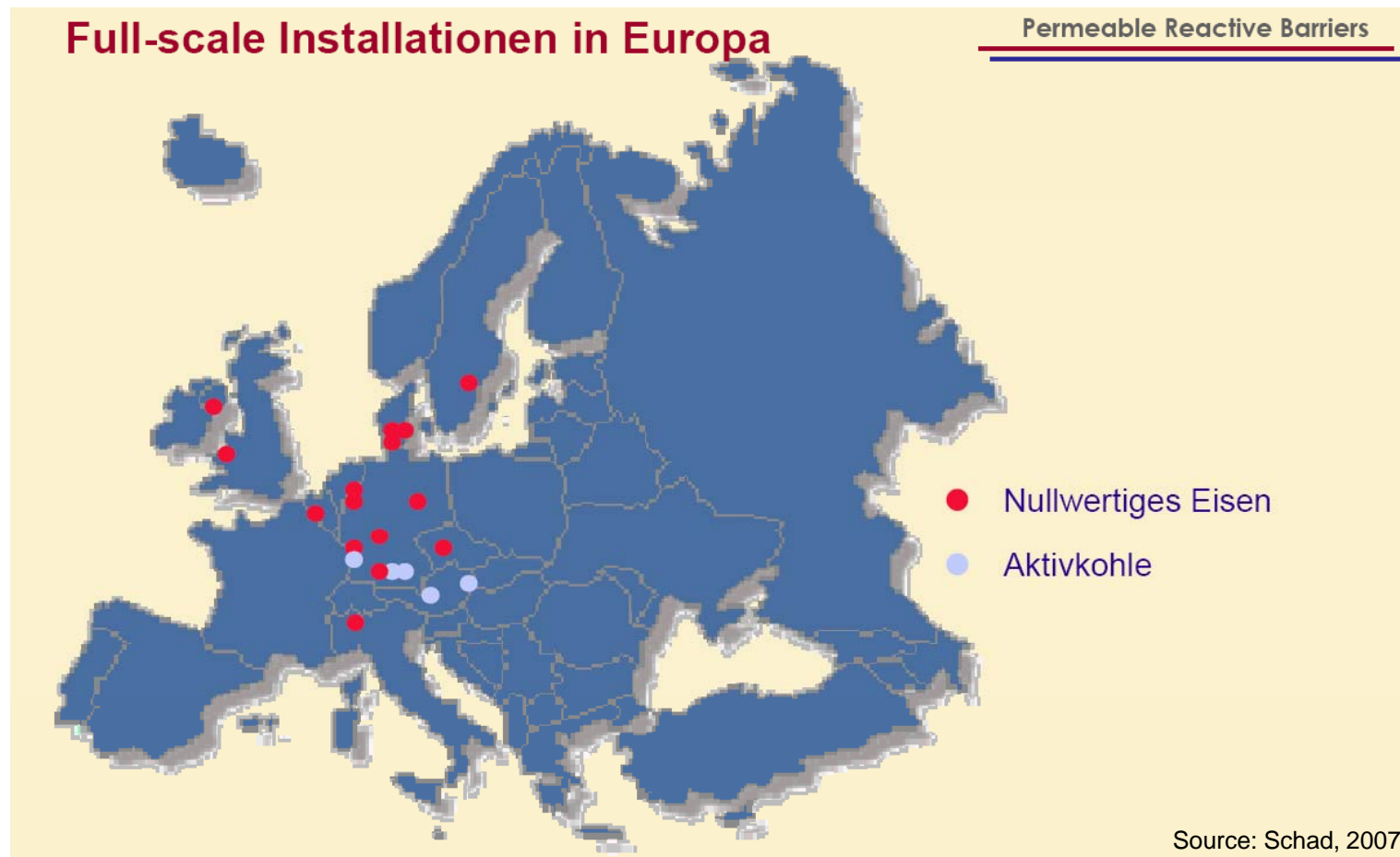
EP = échelle pilote

ER = échelle réelle

CA = Charbon actif

Etat 2007, www.rubin-online.de

Etat Europe

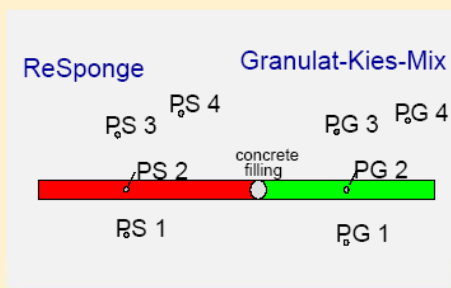


Exemple Rheine (1)

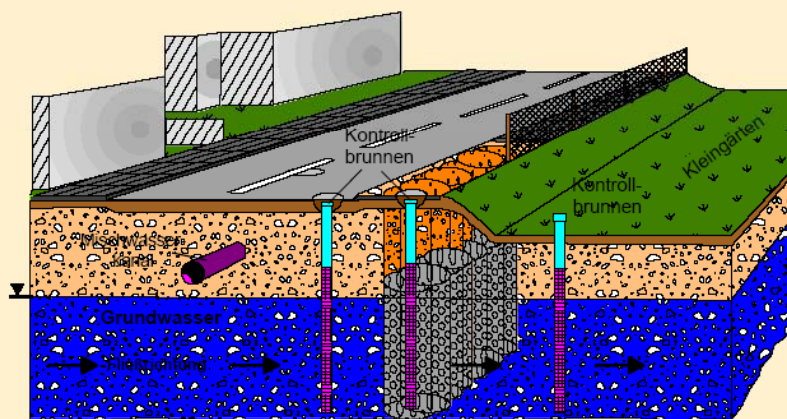
Rheine (06/1998)

Permeable Reactive Barriers

Aktueller Stand



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

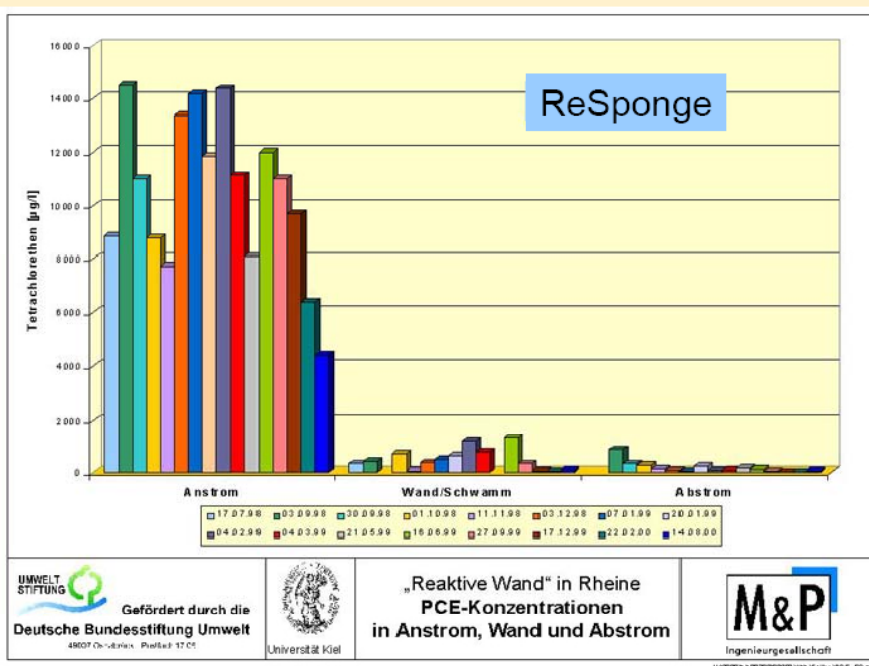


I.M.E.S. GmbH

Source: www.rubin-online.de

Exemple Rheine (2)

Rheine (06/1998)



Permeable Reactive Barriers

Aktueller Stand

Monitoringergebnisse:

- Zustrom 5 - 15 mg/l PCE
- Abbau
ca. 80% zu Beginn
mittlerweile > 99%



I.M.E.S. GmbH

Source: www.rubin-online.de

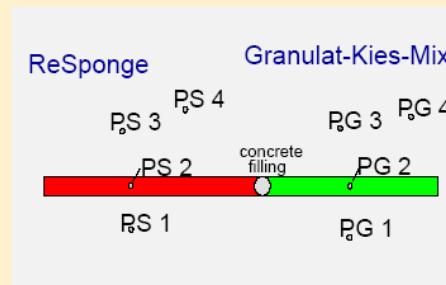
Aktueller Stand



24

Exemple Rheine (4)

Rheine (06/1998)



Evaluation :

ReSponge : augmentation du taux de dégradation, presque 100 %

Granulat de graviers : tout d'abord léger recul du taux de dégradation, puis stabilisation vers 80 % de dégradation ; toutefois concentration de polluants plus élevée et nettement moins de fer

Technique de construction : adaptée

Conclusion globale : résultats de dégradation cohérents et convaincants sur plus de 5 ans.

I.M.E.S. GmbH

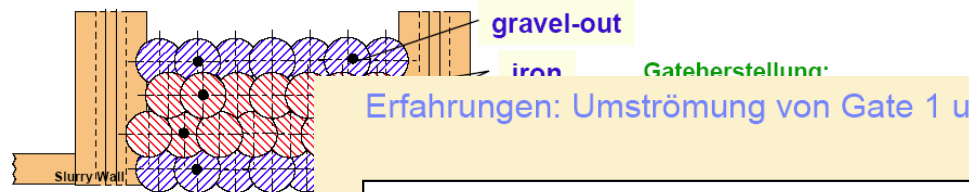
Source: www.rubin-online.de

Exemple Tübingen (D)

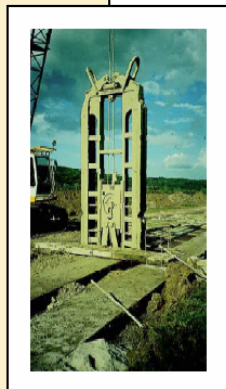
Tübingen 11/1998

Permeable Reactive Barriers

Schlitzwand und überschnittene Bohrungen

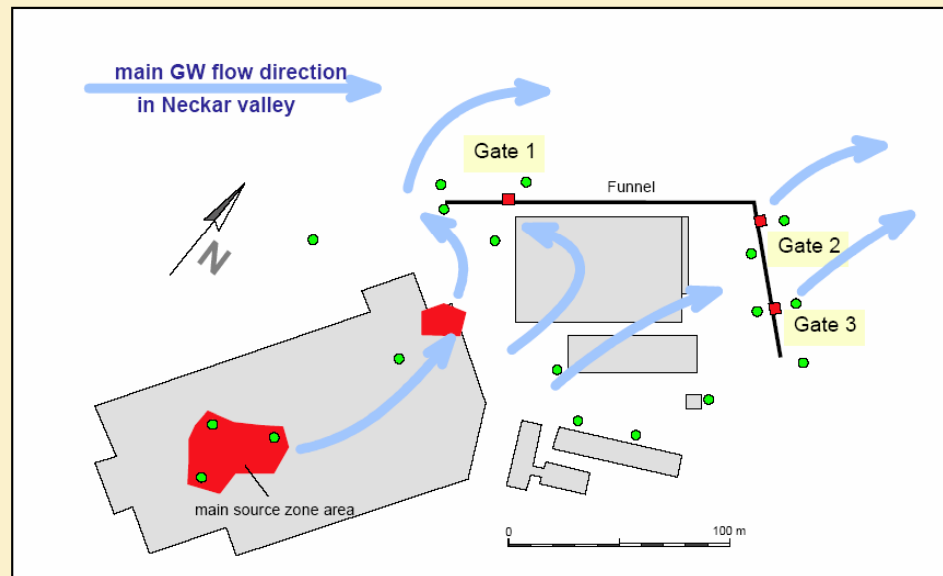


Erfahrungen: Umströmung von Gate 1 und des langen Funnelschenkels



- Pea Gravel, Diameter of the
- Iron, Diameter of the Drillings
- 2" Monitoring Wells

Funnelherstellung:
konventionelle Dichtwand
10 m tief
215 m lang

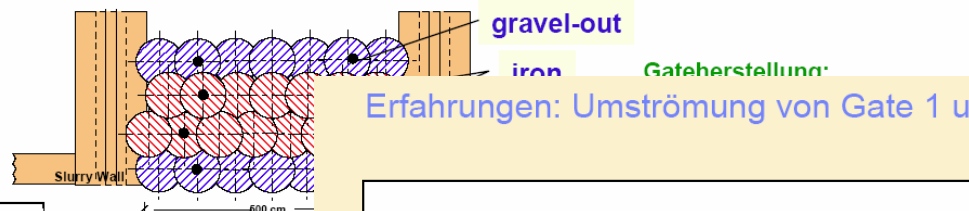


Exemple Tübingen (D)

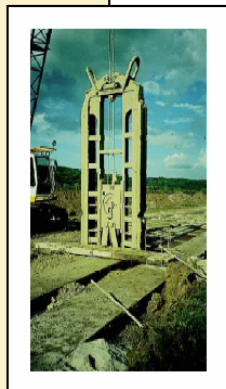
Tübingen 11/1998

Permeable Reactive Barriers

Schlitzwand und überschnittene Bohrungen

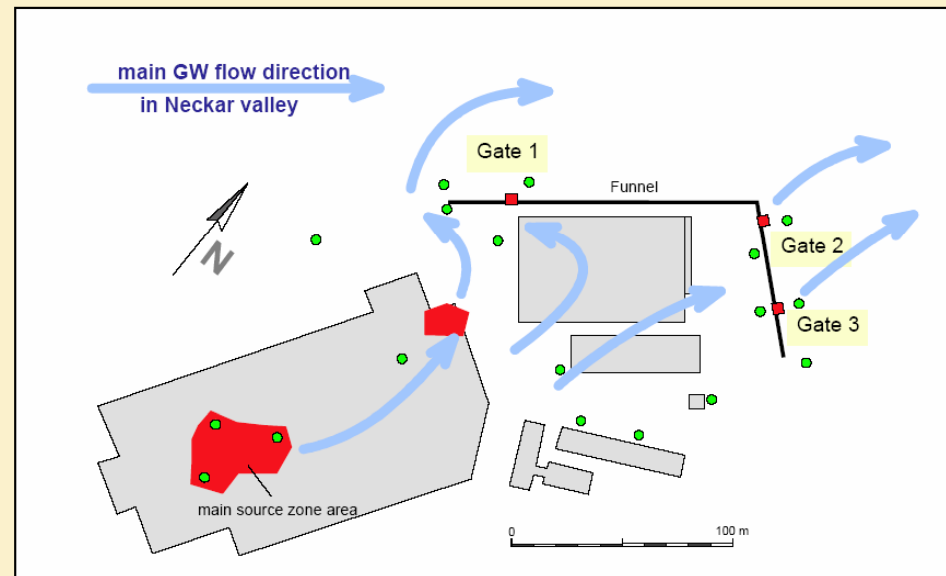


Erfahrungen: Umströmung von Gate 1 und des langen Funnelschenkels



- Pea Gravel, Diameter of the
- Iron, Diameter of the Drillings
- 2" Monitoring Wells

Funnelherstellung:
konventionelle Dichtwand
10 m tief
215 m lang



Conclusions et perspectives

- Les parois filtrantes (PRB) constituent un procédé d'assainissement passif particulièrement adapté pour les solvants chlorés.
- Les assainissements d'eau souterraine in situ au moyen de parois réactives perméables peuvent constituer une alternative à d'autres procédés d'assainissement resp. de sécurisation.
- L'utilisation de PRB est particulièrement appropriée lorsque les foyers de pollution sont inaccessibles ou impossibles à localiser.
- Une connaissance approfondie et la modélisation des situations géologique et hydrogéologique sont des conditions préalables.
- Il est nécessaire de poursuivre la recherche surtout en ce qui concerne le comportement à long terme et l'élimination de mélanges de polluants.
- Il convient de tester la durabilité du procédé.
- La nature des filtres pourrait contribuer à la réduction des coûts d'installation.