



Elektrokinetische Reinigung feinkörniger Bodenmatrixes

Anette Czediwoda, Heinz Stichnothe, Axel Schönbacher

1 Problemstellung

Die Schadstoffanreicherung erfolgt in der Feinkornfraktion (Korndurchmesser $d_k < 63 \mu\text{m}$), z.B. von Gewässer- oder Flusssedimenten oder von (zu deponierenden) Reststoffen aus der Bodenwäsche. Feinkörnige Bodenmatrixes bereiten für alle herkömmlichen Dekontaminationsverfahren große Schwierigkeiten insbes. infolge der sehr geringen Durchlässigkeit (mit Durchlässigkeitsbeiwerten $k_f \ll 10^{-5} \text{ m/s}$) und der hohen Adsorptionskapazität. Für solche Bodenmatrixes ist eine sog. elektrokinetische Behandlung geeignet.

2 Grundprinzip und spezifische Vorteile

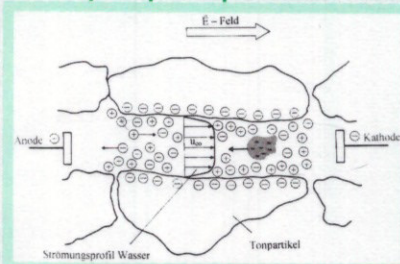


Abb. 1: Transport von Wasser (Elektroosmose), Transport von Ionen (Elektromigration) und Transport von geladenen Partikeln (Elektrophorese) in einem porösen, geladenen Partikel (z.B. einem Tonpartikel)

Spezifische Vorteile des elektrokinetischen Verfahrens:

- in-situ Anwendung
- gleichmäßige Dekontamination besonders in sehr gering durchlässigen Böden (z.B. Schluff mit $k_f \gg 10^{-7} \text{ m/s}$, Ton mit $k_f < 10^{-9} \text{ m/s}$)
- Schadstofftransport erfolgt in einer bevorzugten Richtung entlang den elektrischen Feldlinien des \vec{E} -Feldes
- Einleiten von Zusatzstoffen: z.B. mobilisierende Reagenzien, Komplexbildner, Tenside, Säuren, Basen, Nährstoffe und Bakterien, pH-Puffergemische
- simultane Entfernung von Schwermetallionen und organischen Kontaminanten

3 Modellierung

$$\frac{\partial(\theta R_d c_i)}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} (c_i u_{D,i}) - \frac{\partial}{\partial x} (c_i u_h + c_i u_{\text{mig}}) + \theta R_i^{\text{th}}$$

mit:

$R_i^{\text{th}} = 0$: Stoffmengenänderungsgeschwindigkeit infolge chemischer Reaktionen

$R_{d,i} = 1 + \frac{\partial b_i}{\partial c_i} K_{d,i}$: Retardationsfaktor (Adsorption)

$u_{D,i} = - \frac{D_i^*}{c_i} \frac{\partial c_i}{\partial x}$: Diffusionsgeschwindigkeit

$D_i^* = \frac{1}{\tau} \theta D_i$: effektiver Diffusionskoeffizient in den Bodenporen

$\langle u_{\text{os}} \rangle = - \frac{\epsilon_0 \epsilon \partial \Phi}{\eta_l}$: elektroosmotische Geschwindigkeit

$u_{\text{mig},i} = \frac{z_i F D_i^*}{RT} E$: Migrationsgeschwindigkeit

$u_h = k_f \frac{\Delta h}{\Delta x}$: hydraulische Strömungsgeschwindigkeit

4 Labor-Messzellen

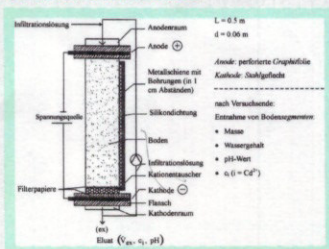


Abb. 2: Schematische Darstellung der Labor-Messzelle aus Plexiglas zur Entfernung von Cd^{2+} -Ionen

5 Folgerungen und Ausblick

- Elektrokinetische Bodenbehandlung ist insbes. für die in-situ Reinigung bindiger, stark schluff- und tonhaltiger Böden geeignet
- hohe Dekontaminationsgrade sowohl für Schwermetallionen als auch für organische Schadstoffe bei Einzel- und Mehrkomponenten-Kontaminationen
- weitere Laborversuche erforderlich, z.B. zur Entwicklung einer Test-Messzelle

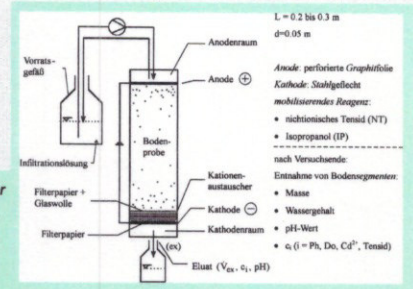


Abb. 3: Schematische Darstellung der Labor-Messzelle aus Glas zur Entfernung von Phenanthren (Ph) und Docosan (Do) sowie Phenanthren/ Cd^{2+} -Gemischen

5 Ergebnisse

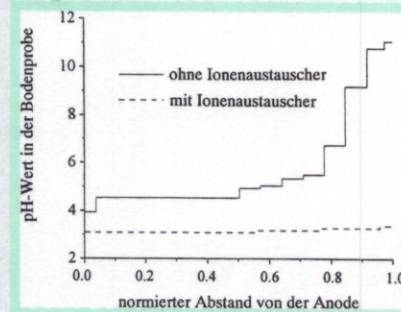


Abb. 4: Experimentell ermittelte pH-Profile ohne Kationenaustauscher (0% Huminsäure) und mit Kationenaustauscher (10% Huminsäure) in der Labormesszelle

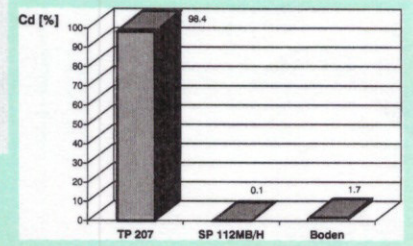


Abb. 5: Cd^{2+} -Verteilung zwischen Boden und den beiden Ionenaustauschern TP207 und SPI 12MB/H

Matrix	Kaolinton	Originalschlamm
c_p [%]	50	50
X_{Na} [mg/kg]	1200	600
X_{Ca} [mg/kg]	920	560
E [V/m]	1000	200
\dot{V}_{os} [ml/h]	1	0.3
DG_{Na} [%]	99.9	62
DG_{Ca} [%]	84	76
$K_{d, \text{Na}}$ [l/kg]	0.6	1.6
$R_{d, \text{Na}}$ [-]	1.3	3.4
W_{el} [kWh/h]	123	740
t_{el} [d]	44	63
t_{exp} [d]	48	70

wichtige Voraussetzung: $\text{pH} \leq 6$, z. B. durch zusätzliche Ansäuerung der Anodenflüssigkeit

Tab. 1: Dekontaminationsgrade DG_{Na} , DG_{Ca} , Sanierungsdauer $t_{\text{el, exp}}$ und elektrischer Energiebedarf W_{el} bei Anwesenheit von Isopropanol als mobilisierendes Reagenz

Literatur

- A. Czediwoda: Elektroosmotische Behandlung phenanthrenkontaminierter Tone und Schlämme, Fortschr.-Ber.VDI Reihe 15 Nr. 178, VDI Verlag, Düsseldorf (1997)
- H. Stichnothe: Elektrokinetische Dekontamination von Cd-haltigem Kaolinton und die Bestimmung wichtiger Transportparameter, Fortschr.-Ber.VDI Reihe 15 Nr. 191, VDI Verlag, Düsseldorf (1997)
- A. Czediwoda, H. Stichnothe, A. Schönbacher: Elektrokinetische Reinigung von feinkörnigen Schlämmen aus der Bodenwäsche, Chem.-Ing.-Tech. 69 (1997), S. 366/369
- Durchführung weiterer Feldversuche: großes Potential zur Reinigung großflächiger und mit relativ niedrigen Konzentrationen kontaminierten Standorten (z.B. Dioxine, radioaktive Nuklide)
- Kombination mit mechanischen Verfahren (z.B. Feinstklassierung) oder mit mikrobiologischen Verfahren (z.B. in-situ Biosanierung)