

Elektrosanierung: Neue Technik für in-situ- und on/off-site-Bodensanierung

REINOUT LAGEMAN

Beschrieben wird eine neu entwickelte Methode, um Schwermetalle und andere Kontaminanten aus Boden und Grundwasser zu entfernen. Die Methode basiert auf elektrokinetischen Phänomenen, die auftreten, wenn dem Boden ein elektronischer Strom mit Hilfe einer oder mehrerer Elektroden zugeführt wird. Diese Technik kann sowohl in-situ- als auch on/off-site angewendet werden.

Für weitergehende Informationen schreiben Sie bitte die Kennziffer 351 (Geokinetics).

Die Kontamination von Böden und Grundwasser ist ein Thema, mit dem wir uns noch einige Jahrzehnte beschäftigen werden müssen. Zahlreiche Verdachtsflächen sind schon als kontaminiert charakterisiert und viele sind mittlerweile auch untersucht und einer ersten Bewertung unterzogen worden. Die tatsächliche Sanierung dieser Altstandorte und Altablagerungen kommt jedoch nur langsam in Gang. Ursachen dafür sind entweder finanzielle und/oder technische Einschränkungen. Besonders Schwermetalle wie Kupfer, Zink, Chrom, Blei, Cadmium, Quecksilber, Arsen usw. sind schwer zu beseitigen, vor allem, wenn der Boden sich aus sandigem Ton oder tonigem Sand zusammensetzt. Die Durchlässigkeit dieser Böden variiert von sehr schlecht (Ton) bis mäßig (toniger Sand), wodurch Bodenwaschverfahren nur geringfügige Effekte aufweisen, da der Boden sich nicht oder schlecht mit wässrigen Lösungen durchspülen läßt.

In den letzten Jahren hat die niederländische Firma Geokinetics, Delft, Erfolge mit einer neuen Technologie, Elektrosanierung genannt, erzielt; eine Kombination von Geochemie, Geohydrologie, Elektrochemie und Elektrotechnik. Die Methode basiert auf elektrokinetischen Phänomenen, die auftreten, wenn dem Boden ein elektri-

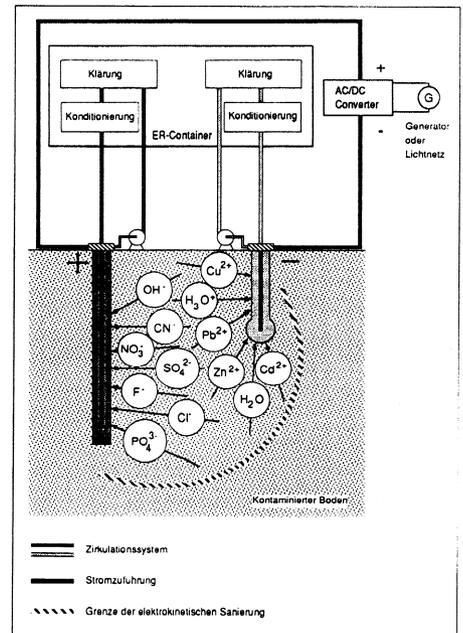
scher Strom mit Hilfe sich abwechselnder Anoden- und Kathodenreihen zugeführt wird.

Im Falle einer Kontamination bis zu 1,5 m werden die Elektroden horizontal installiert, sonst ist eine vertikale Installation der Elektroden notwendig. Die vom elektrischen Strom erzeugten elektrokinetischen Prozesse führen dazu, daß sich die Kontaminanten zu den Elektroden bewegen. Diese elektrokinetischen Prozesse wirken unabhängig von den hydraulischen Eigenschaften des Bodens; deshalb die guten Anwendungsmöglichkeiten der Methode in tonigen und schluffigen Böden.

Alle Kontaminationen, die eine Ladung aufweisen oder denen eine Ladung zugeführt werden kann, nehmen an den elektrokinetischen Prozessen teil. Die Methode ist daher nicht nur anwendbar für Schwermetalle, sondern auch für Zyanide, Phosphate, Nitrate, polare organische Substanzen und dergleichen. Rezente Laborversuche, wobei die elektrischen Parameter variiert wurden, wiesen vielversprechende Erfolge bezüglich der Entfernung von a-polaren PCAs und PCBs auf.

Elektrokinetische Anlage

Der Kern einer elektrokinetischen Anlage besteht aus den Elektroden und ihrer Ummantelung (Bild 1). Die Elektroden können im Prinzip in jeder gewünschten Tiefe eingesetzt werden, sowohl waagrecht als auch senkrecht. Anoden und Kathoden sind in speziellen Zirkulationssystemen integriert, in denen z. B. Wasser mit sämtlichen chemischen Additiven zirkuliert. Die wichtigste Funktion dieser Zirkulationssysteme besteht darin, daß das Reaktionsmi-



1: Schematische Wiedergabe einer elektrokinetischen Anlage und des elektrokinetischen Transportes im Boden

lieu um die Elektroden herum beherrscht wird. Nebenbei werden die Kontaminanten unterirdisch in der Flüssigkeit aufgefangen, oberirdisch abgeführt und in einer Abwasserreinigungsanlage eliminiert. Die dazu benötigten Flüssigkeitsbehälter, Pumpen, Meß- und Regelinstrumente etc. werden in einem mobilen Container untergebracht (Bild 2). Die Abwasserreinigungsanlage ist ebenfalls in einem Container eingebaut. Die Reststoffe aus dem Prozeß bestehen entweder aus einem Filtrat von sämtlichen Metallhydroxiden oder aus einer sehr

2: Anodenreihen mit Zirkulationssystemen und Elektrizitätszufuhr. Kathoden (nicht sichtbar) sind horizontal zwischen den Anodenreihen installiert. Im Hintergrund Container für Konditionierung und Behandlung der Elektrodenflüssigkeiten



stark konzentrierten Metalllösung. Die Menge der Reststoffe beträgt im allgemeinen weniger als 0,5% der gesamten Menge kontaminierten Bodenmaterials.

Die Beherrschung des Reaktionsmilieus ist eine der wichtigsten Bedingungen, um den Prozeß mit Erfolg ablaufen zu lassen. Unkontrollierte Elektrosanierung wird letztendlich in Versauerung des Bodens um die Anoden und Niederschlag von Metallhydroxiden um die Kathoden herum resultieren.

Wenn große Oberflächen saniert werden müssen, können mehrere dieser Container eingesetzt werden. Ein vorhergehender Laborversuch mit einer repräsentativen Bodenprobe gibt Auskunft über die Dauer und den Energieverbrauch. Je höher die Kontamination, um so länger dauert die Sanierung und um so höher wird folglich auch der Energieverbrauch sein.

Die Beweglichkeit der Kontaminanten wird hauptsächlich vom Spannungsabfall zwischen den Elektroden bestimmt. Nicht nur wegen des Sicherheitsrisikos, sondern auch wegen des Temperaturanstieges im Boden, ist die Energiezufuhr an ein Minimum gebunden.

Elektrosanierung in situ dauert ein bis mehrere Monate oder selbst Jahre. Stark kontaminierte Böden lassen sich am besten mit relativ geringfügiger Energiezufuhr während einer längeren Zeit sanieren. In **Tabelle 1** sind bisherige Feldversuche und Sanierungsprojekte aufgelistet.

Die Sanierungskosten sind mit konventionellen Methoden konkurrenzfähig, aber in den meisten Fällen gibt es keine andere Alternative als Auskoffnung und Lagerung auf einer kontrollierten Deponie. In diesem Fall aber bildet der Boden nur ein in die Zukunft verschobenes Umweltproblem. In situ und off site Sanierungen sind die ersten praktischen Anwendungen für die elektrokinetischen Prozesse. Weitere Entwicklungen sind on site Elektrosanierung ausgekoffelter Böden in speziell angefertigten Behältern (Kapazität 5-8 m³ pro Stunde) und Elektrosanierung von Baggergut sowie Industrie- und Klärschlamm in (semi) permanenten Anlagen (Kapazität bis zu 60 m³ pro Stunde). Weiterhin können versalzten agrarwirtschaftliche Nutzflächen entsalzen werden.

Die elektrokinetischen Phänomene können ebenfalls für unterirdische Abschirmung von kontaminierten Standorten und

Altablagerungen verwendet werden. Ein solcher elektrokinetischer Schirm sichert die Kontamination in einem bestimmten Gebiet ab und saniert das Grundwasser. Die Elektrodenaufstellung wird durch die geohydrologische Situation an Ort und Stelle bestimmt.

Kostenschätzung

Sanierungskosten werden hauptsächlich von dem Verunreinigungsgrad und der Kationenauswechslungskapazität des Bodens bestimmt. Stark verschmutzte Böden mit einer hohen Metallionenauswechslungskapazität weisen einen hohen Energieverbrauch auf. Es gibt jedoch eine Grenze für die Stromstärke, die man dem Boden zuführen kann. Ein weiterer wichtiger Kostenfaktor ist deshalb die Zeit (Miete der elektrokinetischen Installation). Für jeden spezifischen Fall wird ein Optimum zwischen Sanierungsdauer und Energieverbrauch berechnet.

Bis jetzt variierten die berechneten Sanierungskosten pro Tonne Bodenmaterial von NLG 120 bis mehr als NLG 400, mit Durchschnittswerten zwischen NLG 150 und NLG 250 (1 NLG = DM 0,88).

Die Kosten für elektrokinetische Abschirmung sind hauptsächlich eine Funktion der Geschwindigkeit der Grundwasserströmung und eine Funktion des Verunreinigungsgrades.

In Gebieten mit geringer Grundwasserströmung (Ton, tonhaltiger Sand usw.) sind die jährlichen Energiekosten für elektrokinetische Abschirmung sehr gering. Die Kosten nehmen jedoch stark zu, wenn die Strömungsgeschwindigkeit zunimmt (mittel- bis grobsandige Formationen). Gleiches gilt, wenn der Kontaminationsgrad zunimmt.

Für relativ hohe Strömungsgeschwindigkeiten müßte eine Kombination von hydrologischen Maßnahmen und elektrokinetischen Techniken die wirtschaftlichste Lösung darstellen.

Eine sehr interessante Entwicklung bahnt sich schließlich in der Kombination von mikrobiologischen Verfahren mit Elektrosanierung an. Es zeigt sich hier, daß die Randbedingungen für Biodegradation, wie Temperatur, Sauerstoff und Nährstoff, sich im günstigen Sinne von den elektrokinetischen Prozessen beeinflussen und optimieren lassen.

| | |
|-----------------------|---|
| Projekt 1 | : In Situ Feldversuch |
| Jahr | : 1987 |
| Ort der Sanierung | : Gelände einer ehemaligen Lackiererei in Groningen |
| Umfang | : Länge 70 m, Breite 3 m, Tiefe 1 m (210 m ³) |
| Art der Kontamination | : Kupfer, Blei in tonigem Moorboden |
| Anfangsbelastung | : Kupfer > 5000 mg/kg, Blei 500-1000 mg/kg |
| Ausgangsbelastung | : Kupfer 80% Reduzierung, Blei 70% Reduzierung |
| Dauer des Versuches | : 43 Tage zu 10 Stunden |
| Energieverbrauch | : 38 kWh/Tonne |
| Projekt 2 | : In Situ Feldversuch |
| Jahr | : 1988 |
| Ort der Sanierung | : Galvanisierungs-gelände in Delft |
| Umfang | : Länge 15 m, Breite 6 m, Tiefe 0,5 m (50 m ³) |
| Art der Kontamination | : Zink in Tonboden |
| Anfangsbelastung | : Zn > 7000 mg/kg, Durchschnittswert 2410 mg/kg |
| Ausgangsbelastung | : Durchschnittswert 1620 mg/kg, Reduzierung 33% |
| Dauer des Versuches | : 50 Tage zu 16 Stunden |
| Energieverbrauch | : 180 kWh/Tonne |
| Projekt 3 | : In Situ Sanierungsprojekt |
| Jahr | : 1989 |
| Ort der Sanierung | : Gelände einer ehemaligen Holzimprägnier-fabrik in Lop-persum |
| Umfang | : Länge 25 m, Breite 15 m, Tiefe 1-2 m (250 m ³) |
| Art der Kontamination | : Arsen in dichtem Ton |
| Anfangsbelastung | : max. 500 mg/kg, Durchschnittswert 115 mg/kg |
| Ausgangsbelastung | : max. 29 mg/kg, Durchschnittswert 10 mg/kg |
| Dauer der Sanierung | : 80 Tage zu 18 Stunden |
| Energieverbrauch | : 150 kWh/Tonne |
| Wiederverwendung | : Gelände ist mit Wohnhaus bebaut worden |
| Projekt 4 | : Off Site Sanierungsprojekt |
| Jahr | : 1990 |
| Ort der Sanierung | : Zwischenzeitliches Lager in Stadskanaal |
| Umfang | : Länge 70 m, Breite 40 m, Tiefe 2,6 m (7200 m ³). In erster Phase wird 1500 m ³ saniert. Der Rest wird in 3 bis 4 weiteren Phasen saniert |
| Art der Kontamination | : Cadmium in tonhaltigem feinem Sand |
| Anfangsbelastung | : Cd > 2000 mg/kg, Durchschnittswert 250 mg/kg |
| Ausgangsbelastung | : Sanierungsgrenze ist ≤ 2 mg/kg |
| Dauer der Sanierung | : einige Jahre |
| Energieverbrauch | : Gesamt 200 kWh/Tonne |

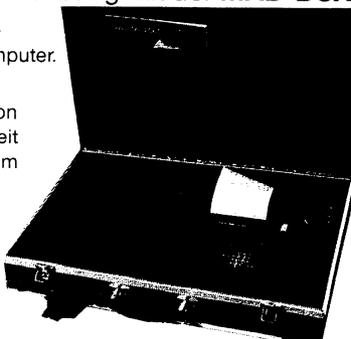
Tab. 1: Aufzählung der abgeschlossenen Feldversuche und laufende Sanierungsprojekte.

Mobile-Analog-Datenerfassung mit der MAD-BOX.

7/15-Kanal Datenlogger mit programmierbarem Hand-Held-Computer.

Leistungsmerkmale:

- Software-Linearisierungsfunktion
- Variable Eingangsempfindlichkeit
- Robustes Aluminiumkoffersystem
- Schutzklasse IP 55.
- Integrierte Meßwandlermodule
- Online Protokollierung
- Netzunabhängiger Betrieb bis zu mehreren Wochen



TIS Technische Informations Systeme Josef Dietzfeld

Barloer Weg 190 W-4290 Bocholt

Tel: 02871 / 37862 Fax: 02871 / 37862



GERTEC
Beratende Ingenieure

Viehofer Straße 11 · 4300 Essen 1
Tel. 0201/245 64-0 · Fax 0201/245 64-20
Niederlassungen Berlin, Bitterfeld.

| | | |
|---|---|--|
| ALTLASTEN Ersterfassung Gefährdungsabschätzung Gefahrenabwehr Sanierungsuntersuchung Sicherung/Sanierung Renaturierung | ABFALL Beratung Logistik Vermeidung Behandlung Restablagerung Realisierung | ANLAGEN Kompostierung Sortierung Deponierung Standortsuche UVP Planung + Bauleitung |
|---|---|--|

ANALYSE, BEWERTUNG, KONZEPTION, DURCHFÜHRUNG