

Dipl.-Chem. Anette Czediwoda, Essen

Elektroosmotische Behandlung phenanthren- kontaminierter Tone und Schlämme

Reihe **15**: Umwelttechnik

Nr. **178**

INHALTSVERZEICHNIS

Symbolverzeichnis	VIII
Zusammenfassung.....	X
1 Einleitung und Aufgabenstellung	1
2 Allgemeiner Teil.....	4
2.1 Bodenzusammensetzung.....	4
2.1.1 Körnung.....	4
2.1.2 Tonmineralien	4
2.1.3 Huminstoffe	6
2.1.4 Wassergehalt.....	8
2.2 Transportprozesse.....	9
2.2.1 Sorption.....	9
2.2.1.1 Adsorption.....	9
2.2.1.2 Absorption.....	10
2.2.1.3 Durchbruchkurven.....	11
2.2.1.4 Modellierung der Sorption.....	11
2.2.1.5 Einflußgrößen der Sorption	12
2.2.1.6 Desorption	13
2.2.1.7 Sorption nichtionischer Tenside an Boden.....	14
2.2.1.8 Sorptionsmechanismen für PAK.....	14
2.2.2 Diffusion	15
2.2.3 Konvektive Strömung	16
2.2.4 Elektroosmose	16
2.2.4.1 Elektrochemische Doppelschicht.....	16
2.2.4.2 Theorien zur Berechnung des elektroosmotischen Wasservolumenstroms.....	18
2.2.4.3 Einflußgrößen des elektroosmotischen Wasservolumenstroms	21
2.2.5 Ionenmigration.....	23
2.2.6 Chemische Prozesse	24
2.3 Elektrokinetische Bodensanierung.....	24
2.3.1 Historisches.....	24
2.3.2 Organische Verbindungen.....	25
2.3.3 Weitere Anwendungsmöglichkeiten.....	27
2.4 Mobilisierung von schwerlöslichen Schadstoffen.....	28
2.4.1 Solubilisierung durch Huminstoffe.....	28
2.4.2 Solubilisierung durch Tenside	28
2.4.3 Solubilisierung durch Alkohole.....	31

3 Durchführung der Versuche und Meßergebnisse	32
3.1 Charakterisierung der Materialien	32
3.1.1 Leitungswasser	32
3.1.2 Kaolinton und Huminsäure.....	32
3.1.3 Originalschlamm	33
3.1.3.1 Allgemeines.....	33
3.1.3.2 Kontamination.....	33
3.1.3.3 Organischer Kohlenstoffgehalt (TOC).....	33
3.1.3.4 Schüttdichte und Sättigungswassergehalt	34
3.1.4 Kontaminanten.....	34
3.1.5 Tenside	35
3.1.5.1 Untersuchte Produkte	35
3.1.5.2 Kritische Micellbildungskonzentration (cmc).....	36
3.2 Analytik	36
3.2.1 Probenvorbereitung.....	36
3.2.1.1 Flüssigproben.....	36
3.2.1.2 Feststoffproben	37
3.2.2 Gaschromatographie	37
3.2.2.1 Allgemeine Bedingungen.....	37
3.2.2.2 Phenanthren und Docosan.....	37
3.2.2.3 Mineralöl in Realproben	38
3.2.2.4 Tenside	39
3.3 Adsorptionsgleichgewichte	40
3.3.1 Versuchsdurchführung	40
3.3.2 Tensid/ Wasser - Boden	40
3.3.2.1 Reiner Kaolinton	40
3.3.2.2 Abhängigkeit vom Huminsäuregehalt.....	41
3.3.3 Schadstoff/ Tensid/ Wasser - Boden.....	42
3.3.3.1 Abhängigkeit vom Tensid	42
3.3.3.2 Phenanthren	43
3.3.3.3 Docosan	46
3.3.4 Schadstoff/ Alkohol/ Wasser - Boden.....	46
3.3.4.1 Mobilisierungsversuche	46
3.3.4.2 Verteilungskoeffizienten	47
3.3.4.3 Originalschlamm	49
3.4 Labormeißzelle	49
3.4.1 Versuchsaufbau.....	49
3.4.2 Probenansatz.....	50
3.4.3 Versuchsdurchführung	51
3.4.4 Nichtionisches Tensid als Lösungsvermittler.....	51
3.4.4.1 Versuche mit reinem Kaolinton	51
3.4.4.2 Versuche mit Huminsäure.....	58
3.4.4.3 Versuche mit Originalschlamm	59

3.4.5 Isopropanol als Lösungsvermittler	61
3.4.5.1 35% Isopropanol.....	61
3.4.5.2 50% Isopropanol.....	61
3.4.5.3 Originalschlamm mit 50% Isopropanol	62
3.4.6 Versuche ohne Lösungsvermittler.....	64
4 Auswertung und Diskussion	65
4.1 Auswertemethodik	65
4.1.1 Allgemeines.....	65
4.1.2 Durchbruchskurven	65
4.1.3 Beladungsprofile im Boden.....	67
4.1.4 Massenbilanz.....	68
4.2 Elektroosmotischer Wasservolumenstrom	68
4.2.1 Allgemeines.....	68
4.2.1.1 Reproduzierbarkeit.....	68
4.2.1.2 Theoretischer Wert.....	69
4.2.2 Einfluß der Ionenstärke	70
4.2.3 Einfluß des Alkoholgehalts	71
4.3 Elektroosmotische Behandlung mit nichtionischem Tensid.....	74
4.3.1 Tensiddurchbruch.....	74
4.3.1.1 Durchbruchskurven.....	74
4.3.1.2 Vergleich mit Schüttelversuchen	75
4.3.2 Phenanthren-Austrag	76
4.3.2.1 Vergleich mit Tensidaustrag	76
4.3.2.2 Vergleich mit Berechnungen	78
4.3.2.3 Vorhersage der Sanierungsdauer.....	79
4.4 Elektroosmotische Behandlung mit Isopropanol.....	81
4.4.1 Beladungsprofile im Boden.....	81
4.4.2 Durchbruchskurven	82
4.4.3 Entfernung von Cadmium-Ionen.....	83
4.5 Stabilität des Phenanthrens im elektrischen Feld.....	83
4.6 Energiebedarf.....	84
4.7 Anwendbarkeit des Verfahrens und Ausblick	85
5 Anhang	86
5.1 Meßergebnisse aus den Säulenversuchen mit nichtionischem Tensid (NT).....	86
5.2 Meßergebnisse aus den Säulenversuchen mit Isopropanol (IP) und ohne Lösungsvermittler (B).....	88
6 Literatur.....	90