

Dipl.-Ing. Heinz Stichnothe, Hamburg

Elektrokinetische Dekontamination von CD-haltigem Kaolinton und die Bestimmung wichtiger Transportparameter

Reihe **15**: Umwelttechnik

Nr. **191**

INHALTSVERZEICHNIS

Symbolverzeichnis.....	IX
Zusammenfassung.....	XII
1 Einleitung und Aufgabenstellung.....	1
2 Allgemeiner Teil.....	4
2.1 Transport von Schadstoffen in Böden.....	4
2.1.1 Bodenzusammensetzung.....	4
2.1.1.1 Körnung.....	4
2.1.1.2 Tonminerale.....	5
2.1.1.2.1 Bedeutung der Tonminerale.....	6
2.1.1.3 Huminstoffe.....	6
2.1.1.4 Wassergehalt.....	8
2.1.2 Transportprozesse.....	9
2.1.2.1 Sorption.....	10
2.1.2.1.1 Adsorption.....	13
2.1.2.1.2 Einflußgrößen bei der Sorption.....	14
2.1.2.2 Konvektive Strömung.....	14
2.1.2.3 Diffusion.....	15
2.1.2.4 Elektroosmose.....	16
2.1.2.4.1 Elektrochemische Doppelschicht.....	16
2.1.2.5 Ionenmigration.....	21
2.2 Elektrokinetische Bodensanierung.....	22
2.2.1 Historische Entwicklung.....	22
2.2.2 Schwermetalle.....	23
2.2.3 weitere Anwendungsmöglichkeiten.....	26

2.3 Ionenaustauscher	27
2.3.1 Ionenaustausch.....	28
2.3.1.1 Ionenaustauschgleichgewichte.....	28
2.3.2 Durchbruchskurven.....	29
2.3.3 Anionenaustauscher.....	31
2.3.4 Kationenaustauscher.....	31
3 Experimenteller Teil	33
3.1 Charakterisierung des Bodenmaterials	33
3.1.1 Kaolinton.....	33
3.1.1.1 Bestimmung der Porenflüssigkeit.....	33
3.1.1.2 Porenvolumina.....	33
3.1.2 Humussäure.....	34
3.1.2.1 Vergleich käuflicher mit natürlichen Humussäuren.....	34
3.1.2.2 Bestimmung des organischen Kohlenstoff (TOC)-Gehaltes.....	34
3.2 Analytik	35
3.2.1 Flüssigproben.....	35
3.2.2 Feststoffproben.....	35
3.2.3 AAS.....	35
3.2.3.1 Bedingungen.....	35
3.3 Schüttelversuche	36
3.3.1 Versuchsdurchführung.....	36
3.3.2 Einfluß des pH-Wertes.....	36
3.4 Permeameter	36
3.4.1 Aufbau.....	37
3.4.2 Versuchsdurchführung.....	38

3.4.2.1 Auswertungsmethodik.....	39
3.4.2.2 Bestimmung der Adsorptionskapazität.....	39
3.4.2.3 Bestimmung des effektiven Diffusionskoeffizienten.....	39
3.4.2.4 Bestimmung der Restbeladung.....	39
3.5 Labormeßzelle.....	40
3.5.1 Versuchsaufbau.....	40
3.5.2 Einsatz von Ionenaustauschern.....	41
3.5.2.1 Art der Austauscher und Anordnung.....	42
3.5.3 Beprobieren der Säule.....	42
3.5.4 Konzentrationsmessung im wäßrigen Spülmedium.....	42
3.5.5 Regeneration der Kationenaustauscher.....	43
3.5.6 Konzentrationsprofile in der Säule.....	43
3.5.7 Massenbilanzierung.....	43
4 Ergebnisse und Diskussion.....	44
4.1 Adsorptionsgleichgewichte.....	44
4.1.1 Abhängigkeit der Cd-Beladung von der Ionenstärke bei verschiedenen Humussäuregehalten.....	44
4.1.2 Abhängigkeit der Cd-Restbeladung am Kaolinton vom pH-Wert bei verschiedenen Humussäuregehalten.....	47
4.2 Transportparameter im Boden.....	49
4.2.1 Gesamtbeladung.....	49
4.2.2 Effektive Diffusionskoeffizienten.....	50
4.2.3 Restbeladung.....	52
4.3 Technische Aspekte der Versuchsdurchführung.....	53
4.3.1 Reproduzierbarkeit.....	53
4.3.2 Reaktoraufbau und Reaktortypen.....	54

VIII

4.3.3 Feldstärke.....	55
4.4 Elektroosmotischer Volumenstrom.....	55
4.4.1 Abhängigkeit von der Anfangsfeucht.....	55
4.4.2 Abhängigkeit von der Ionenstärke.....	56
4.4.3 Dekontaminationsgrad.....	63
4.5 Dekontamination.....	64
4.5.1 Stromfluß und Entwässerung.....	64
4.5.2 Elektrodenmaterial.....	65
4.5.3 pH-Wert.....	66
4.5.4 Einfluß von Huminstoffen.....	69
4.5.5 Energieabhängige pH- und Cadmiumbelastungsprofile im Boden.....	70
4.6 Auswirkung der Ionenaustauscher auf die Dekontamination.....	74
4.6.1 Art der Austauscher.....	74
4.6.2 Kombination verschiedener Kationenaustauscher.....	76
4.6.2.1 Schwach saure - und stark saure Kationenaustauscher.....	77
4.6.2.2 Chelatbildende - und stark saure Kationenaustauscher.....	79
5 Ausblick.....	80
6 Anhang.....	82
7 Literatur.....	103