

**Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG)**

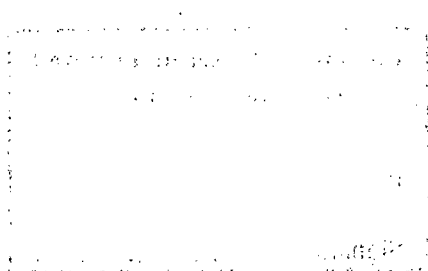
**Bereich Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütewirtschaft**

**Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**

---

Tobias Morck

## **Stickstoffelimination aus Schlammwasser mittels Ionenaustausch und Elektrodialyse**



---

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Verlag Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe

Schriftenreihe SWW - Band 140 - Karlsruhe 2011

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>xvii</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>xxi</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>xxiii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problematik . . . . .	1
1.2 Zielstellung der Arbeit . . . . .	3
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	5
<b>2 Grundlagen und Stand des Wissens</b>	<b>7</b>
2.1 Rückläufe aus der Schlammbehandlung . . . . .	7
2.1.1 Schlammwasseranfall . . . . .	7
2.1.2 Beschaffenheit der Schlammwässer . . . . .	8
2.1.3 Verfahren zur separaten Schlammwasserbehandlung . . . . .	10
2.2 Natürliche Zeolithe als Sorptionsmaterialien . . . . .	13
2.2.1 Allgemeines . . . . .	13
2.2.2 Zusammensetzung und Struktur natürlicher Zeolithe . . . . .	14
2.2.3 Sorptionseigenschaften natürlicher Zeolithe . . . . .	15
2.2.4 Natürliche Zeolithe in der Abwassertechnik . . . . .	17
2.3 Beschreibung von Sorptionsphänomenen . . . . .	20
2.3.1 Sorptionsgleichgewicht . . . . .	20
2.3.2 Sorptionskinetik . . . . .	24
2.3.3 Durchbruchverhalten in Sorptionsfiltern . . . . .	27
2.4 Elektrodialytische Verfahren zur Ionentrennung . . . . .	30
2.4.1 Prinzip der Elektrodialyse . . . . .	30
2.4.2 Ionenaustauschermembranen . . . . .	31
2.4.3 Grenzstromdichte . . . . .	32
2.4.4 Elektrodialyseverfahren mit Ionenaustauschern . . . . .	35
<b>3 Material und Methoden</b>	<b>37</b>
3.1 Charakterisierung des Schlammwassers . . . . .	37
3.2 Charakterisierung des Sorbens . . . . .	38
3.2.1 Mineralogische Untersuchungen . . . . .	38
3.2.2 Bodenphysikalische und bodenchemische Untersuchungen . . . . .	38
3.2.3 PC-Zeolith . . . . .	39

3.3	Durchführung der Batchversuche . . . . .	43
3.4	Durchführung der Filterversuche . . . . .	47
3.5	Durchführung der Versuche zur elektrodialytischen Regeneration . . .	50
3.5.1	Versuchsanlagen . . . . .	50
3.5.2	Bestimmung der Grenzstromdichte . . . . .	53
3.5.3	Versuche zur diskontinuierlichen elektrodialytischen Regene- ration . . . . .	54
3.6	Analytik . . . . .	55
<b>4</b>	<b>Ergebnisse und deren Interpretation</b>	<b>59</b>
4.1	Sorptionsverhalten von Ammonium an PC-ZEOLITH . . . . .	59
4.1.1	Sorptionsgleichgewichte . . . . .	59
4.1.1.1	Einfluss der Sorptivausgangskonzentration . . . . .	59
4.1.1.2	Einfluss konkurrierender Kationen . . . . .	61
4.1.1.3	Einfluss des pH-Wertes . . . . .	62
4.1.1.4	Einfluss der Abwasserzusammensetzung . . . . .	64
4.1.1.5	Einfluss der Sorbenskorngroße . . . . .	65
4.1.1.6	Einfluss der Kontaktzeit . . . . .	67
4.1.2	Sorption im Festbett . . . . .	67
4.1.2.1	Einfluss der Sorbenskorngroße . . . . .	67
4.1.2.2	Einfluss des Volumenstroms . . . . .	69
4.1.2.3	Einfluss der Abwasserzusammensetzung . . . . .	71
4.2	Regenerationsverhalten ammoniumbeladener PC-ZEOLITHE . . . . .	75
4.2.1	Regeneration im Batchexperiment . . . . .	75
4.2.2	Regeneration im Filterbetrieb . . . . .	78
4.3	Wiederbeladung regenerierter Austauscher im Batchexperiment . . .	80
4.4	Elektrodialytische Regeneration . . . . .	81
4.4.1	Grenzstromdichte . . . . .	81
4.4.2	Einfluss der Stromdichte . . . . .	83
4.4.3	Einfluss der Sorbenskorngroße . . . . .	86
4.4.4	Einfluss der Abwasserzusammensetzung . . . . .	89
4.4.5	Wiederbeladung elektrodialytisch regenerierter Austauscher . .	93
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>95</b>
5.1	Sorptionsverhalten von Ammonium an PC-Zeolith . . . . .	95
5.2	Elektrodialytische Regeneration . . . . .	98
5.3	Verfahrenstechnische Optimierungsmöglichkeiten . . . . .	102

---

<b>6 Zusammenfassung</b>	<b>105</b>
<b>A Anhang</b>	<b>107</b>
<b>Literatur</b>	<b>117</b>
<b>Schriftenreihe SWW - Karlsruhe</b>	<b>133</b>