

# **Einflüsse auf die nachgeschaltete Denitrifikation in Membranbelungsanlagen**

vorgelegt von  
Diplom-Ingenieurin Ute Bracklow  
aus Freiberg

von der Fakultät III - Prozesswissenschaften  
der Technischen Universität Berlin  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktorin der Ingenieurwissenschaften  
- Dr.-Ing. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:  
Vorsitzender:  
Berichter:

Prof. Dr.-Ing. Martin Jekel

Prof. Dr.-Ing. Mathias Kraume

Prof. Dr.-Ing. Mathias Bayenbruch

Prof. Dr. rer. nat. habil. Isolde Röske

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 26.08.2011

# Inhaltsverzeichnis

1	1	Einführung und Zielstellung.....	1
2	2	Grundlagen .....	3
	2.1	Abwasserreinigung in Membranbelüftungsanlagen.....	3
	2.2	Kommunales Abwasser.....	5
	2.2.1	Organische Kohlenstoffverbindungen.....	5
	2.2.2	Stickstoffverbindungen.....	7
	2.2.3	Phosphorverbindungen.....	7
	2.2.4	Summenparameter.....	7
	2.2.5	CSB, BSB – Einteilung nach Abbaubarkeit.....	8
	2.2.6	Einfluss von Kanalisation und Vorbehandlung.....	10
	2.3	Reaktionen und Umsätze der organischen Substrate im Belebtschlamm.....	12
	2.3.1	Abbau von Substraten.....	12
	2.3.2	Stoffwechselprozesse.....	14
	2.3.3	Biosorption von Substraten .....	16
	2.3.4	Kohlenstoffspeicher in Bakterien.....	22
	2.3.5	Hydrolyse.....	30
	2.3.6	Substratimmittierung - Schlammstabilisierung.....	39
2.4	2.4	Stickstoffelimination.....	45
	2.4.1	Stickstoffassimilation und Entfernung in der Vorklärung.....	45
	2.4.2	Nitrifikation.....	46
	2.4.3	Denitrifikation.....	50
2.5	2.5	Phosphorelimination.....	58
	2.5.1	Elimination durch Wachstum und Vorklärung.....	58
	2.5.2	Vermehrte biologische Phosphorelimination.....	59
2.6	2.6	Mikroorganismen in der Abwasserreinigung.....	68
	2.6.1	Überblick.....	68
	2.6.2	Bakterien in Belebtschlammssystemen.....	70
	2.6.3	Bakterien mit speziellen Funktionen.....	72
	2.6.4	Diversität und Ähnlichkeit von Belebtschlämmen.....	76
3	3	Material und Methoden .....	79
	3.1	Aufbau und Funktion der Laboranlage.....	79

81	3.1.1	Konfiguration mit vorgeschalteter Denitrifikation
82	3.1.2	Konfigurationen mit nachgeschalteter Denitrifikation
84	3.1.3	Probenahme
85	3.2	Synthetisches Abwasser
88	3	Batchversuche
88	3.3.1	Ziele und Versuchsaufbau
90	3.3.2	Eingesetzter Phosphatpuffer
90	3.3.3	Ablauf eines Batchversuchs mit OUR-Messung
91	3.3.4	Ablauf eines Batchversuchs mit CO <sub>2</sub> -Messung
91	3.3.5	Biosorptionstests
92	3.3.6	Versuche zur Ermittlung von Umsatzen
92	3.4	Analysen
92	3.4.1	CSB, BSB, DOC und Stärke
94	3.4.2	Stickstoff- und Phosphor-Parameter
94	3.4.3	TS und OTS
94	3.5	Mikrobiologische Untersuchungen
96	3.6	Berechnungen
98	4	<b>Validierung der Laborbedingungen</b>
98	4.1	Synthetisches und reales Abwasser
98	4.1.1	Inhaltsstoffe
100	4.1.2	Summenparameter und Konzentrationen der Abwässer im Vergleich
102	4.2	Anlagenbetrieb mit vorgeschalteter Denitrifikation
104	4.3	Kinetische Parameter des Belebtschlamm
105	4.4	Diversität und mikrobiologische Zusammensetzung des Belebtschlamm
107	4.5	Zusammenfassung der Ergebnisse der Vergleiche
109	5	<b>Nachgeschaltete Denitrifikation – Ergebnisse und Diskussion</b>
109	5.1	Ergebnisse der Laboranlage
109	5.1.1	Ausgewertete Zeiträume
111	5.1.2	Die Eliminationen von CSB, Stickstoff und Phosphor bei unterschiedlicher Konfiguration der Rezkulaturen
120	5.1.3	Anlagenbetrieb mit verschiedenen Substraten und Belastungen
128	5.1.4	Überprüfung verschiedener Einflüsse auf die Denitrifikation
137	5.2	Elimination von N und P mit Stärke und Acetat im Batchversuch
137	5.2.1	Überblick über die Elimination von Stickstoff und Phosphor

5.2.2	Ergebnisse der Stickstoffelimination im Batchversuch.....	139
5.2.3	Ergebnisse der Phosphorelimination im Batchversuch.....	141
5.2.4	Zusammenfassung der Ergebnisse der N- und P-Elimination im Batchversuch....	142
5.3	Vergleich von Anlagendaten mit Batchversuchen.....	143
5.4	Acetat- und Stärkesorption unter anaeroben Bedingungen - Batchversuche.....	145
5.4.1	Verlauf der Biosorption von Stärke und Acetat im Vergleich.....	145
5.4.2	Einfluss der Schlammbelastung auf die Biosorption von Stärke.....	148
5.4.3	Einfluss von Temperatur und pH-Wert auf die Biosorption von Stärke.....	148
5.4.4	Einfluss einer Zehrungszeit auf die Biosorption von Stärke.....	149
5.4.5	Anpassung verschiedener Adsorptionsisothermen.....	150
5.4.6	Zusammenfassung der Ergebnisse der Adsorptionsversuche im Batch.....	151
5.5	Substratverwertung – Untersuchungen zur CO <sub>2</sub> -Bildung im Batchversuch.....	152
5.5.1	Acetat- und Stärkabbau unter aeroben und anoxischen Bedingungen.....	153
5.5.2	Einfluss der Substratmenge beim Einsatz von Stärke.....	155
5.5.3	Einfluss einer vorgeschalteten anaeroben Phase und der Temperatur.....	156
5.5.4	Zusammenfassung der Ergebnisse zum Abbau organischer Substrate.....	159
5.6	Mikrobiologische Untersuchungen.....	161
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>167</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>170</b>
<b>8</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>188</b>