

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis		xiii
Verzeichnis der Anhänge		xvii
Tabellenverzeichnis		xviii
Abkürzungsverzeichnis		xx
1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Papier – Herstellung und Wassereinsatz	6
2.1	Herstellung von Papier und Pappe	6
2.2	Wasser in der Papierherstellung und Wasserkreisläufe	8
2.3	Zwischenfazit und offene Fragen	17
3	Verfahren zur Kohlenstoffelimination hochbelasteter Abwässer	18
3.1	Einführung	18
3.2	Aerobe biologische Behandlung	21
3.2.1	Mikrobiologie und Verfahrenstechnik in der aeroben Abwasserbehandlung	21
3.2.2	Belebungsverfahren als Durchlaufanlage	24
3.2.3	Belebungsverfahren als Sequencing Batch Reactor (SBR)	25
3.2.4	Einflussfaktoren auf die aeroben Abbauprozesse	27
3.2.5	Stand der Technik in der aeroben Behandlung von Papierfabrikabwässern	30
3.3	Kombinationen von biologischen Verfahren zur Behandlung von hochbelasteten Abwässern aus Papierfabriken	32
3.4	Oxidative Behandlung	34
3.4.1	Grundlagen	34
3.4.1.1	Ozonung	36
3.4.1.2	Fenton-Prozess	38
3.5	Kosten der Abwasserbehandlung	41
3.6	Zwischenfazit und offene Fragen	43

4	Membranbehandlung	46
4.1	Grundlagen der Membrantechnik	46
4.2	Behandlung von Konzentraten	51
4.3	Einsatz von Membranverfahren in der Papierindustrie	53
4.4	Zwischenfazit und offene Fragen	56
5	Material und Methoden	58
5.1	Einführung	58
5.2	Versuchskonzept des Forschungsvorhabens	60
5.3	Herkunft der verwendeten Papierabwässer	62
5.3.1	Rohabwässer aus der Stoffaufbereitung von Papierfabriken	62
5.3.2	Aufkonzentrierung durch eine 2-stufige Membrananlage	63
5.4	Aerobe Behandlung	65
5.4.1	Batchversuche nach dem SBR-Verfahren	65
5.4.2	Kontinuierliche Versuche	77
5.4.3	Überwachte Betriebsparameter und Analysen während der biologisch aeroben Behandlung	79
5.5	Oxidative Behandlung	81
5.5.1	Versuchskonzept	81
5.5.2	Ozon	84
5.5.3	Fenton-Oxidation	86
5.6	Bestimmungsmethoden	87
5.6.1	Laboranalytik	87
5.6.2	Atmungshemmtest nach DIN EN ISO 8192	88
6	Ergebnisse und Diskussion	93
6.1	Vorbehandlung der Teilströme	93
6.2	Zusammensetzung der Rohabwässer	95
6.3	Membranversuche	97
6.3.1	Einführung	97
6.3.2	Permeatqualität der Ultrafiltrationsmembran	98
6.3.3	Permeatqualität der Nanofiltrationsmembran	101
6.3.4	Zusammenfassung der Membranversuche	106
6.3.5	Analytische Beschreibung der erzeugten Membrankonzentrate	107

6.4	Eigenschaften und Parameter der anaerob vorbehandelten Abwasserkonzentrate	109
6.5	Aerobe Behandlung	111
6.5.1	Batchbetrieb	111
6.5.1.1	Einfluss der Belüftungszeit auf die Reinigungsleistung	111
6.5.1.2	Vorversuche mit den nichtmembranbehandelten Teilstromabwässern	115
6.5.1.3	TMP-Konzentrat	119
6.5.1.4	Deinking I-Konzentrat	127
6.5.1.5	Deinking II-Konzentrat	132
6.5.1.6	Zwischenfazit der Batchversuche	135
6.5.1.7	Fehlerdiskussion der Ergebnisse	138
6.5.2	Kontinuierliche Versuche	142
6.5.2.1	Vorversuche mit den Rohabwässern	142
6.5.2.2	TMP-Konzentrat	144
6.5.2.3	Deinking II-Konzentrat	146
6.5.3	Zwischenfazit der kontinuierlichen Versuche	151
6.5.4	Auswertung aller durchgeführten aeroben Versuche	153
6.6	Oxidative Behandlung	162
6.6.1	Ozonierung	162
6.6.2	Fenton-Prozess	168
6.6.3	Zwischenfazit der chemisch oxidativen Prozesse	173
6.7	Auswertung der Atmungshemmtests nach DIN EN ISO 8192	177
6.7.1	Einfluss der Rohabwässer und der einzelnen Konzentrate auf die Atmungsaktivität (Versuchsgruppe I)	177
6.7.2	Einfluss der biologischen und chemischen Behandlungskette auf die Atmungsaktivität (Versuchsgruppe 2)	180
6.8	Kostenbetrachtung	182
7	Zusammenfassung	194
8	Ausblick	204
9	Summary	206
10	Outlook	214
11	Literatur	217

12	Anhang	226
12.1	R+I- Fließschema der Nanofiltrationsmembran	226
12.2	Versuchsergebnisse der aeroben Behandlung	227
12.3	Versuchsergebnisse der oxidativen Behandlung	231
12.4	Lebenslauf Sebastian Tews	243