

Entfernung organischer Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser mittels oxidativer und adsorptiver Verfahren im dynamischen Rezirkulationsbetrieb

Von der Fakultät für Bauingenieurwesen der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Christopher Keyzers

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Rosenwinkel
Prof. Dr.-Ing. Thomas Grünebaum
Tag der mündlichen Prüfung: 10. Juni 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Zielsetzung	1
2	Stand des Wissens	6
2.1	Organische Mikroverunreinigungen	6
2.1.1	Physiko-chemische Eigenschaften	7
2.1.2	Klassen org Aufgrund der Unsicherheiten der Kostenabschätzung kann anhand der vorliegenden Zahlen keine allgemeine und eindeutige Vorteilhaftigkeit eines Verfahrens ermittelt werden. Die Vorteilhaftigkeit eines Verfahrens wird stark von den örtlichen Randbedingungen abhängig sein.	10
2.1.3	Ökotoxizität organischer Mikroverunreinigungen	16
2.1.4	Eintragspfade organischer Mikroverunreinigungen.....	28
2.1.5	Indikatorsubstanzen zur Beurteilung organischer Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser	33
2.2	Verhalten organischer Mikroverunreinigungen in mechanisch-biologischen Kläranlagen	36
2.2.1	Transfer- und Transformationsprozesse organischer Mikroverunreinigungen in mechanisch-biologischen Kläranlagen.....	36
2.2.2	Eliminationsprozesse organischer Mikroverunreinigungen in mechanisch-biologischen Kläranlagen	42
2.3	Weitergehende Verfahren zur Entfernung von organischen Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser	48
2.3.1	Ozonung	49
2.3.2	Pulveraktivkohleadsorption	66
2.3.3	Bewertung der Ozonung und Pulveraktivkohleadsorption	78
2.3.4	Verfahren der dynamischen Rezirkulation	80
3	Methodische Grundlagen	83
3.1	Großtechnische Untersuchungen	83
3.1.1	Verfahrensbeschreibung der Kläranlage	83
3.1.2	Verfahrensbeschreibung der Versuchsanlage	84
3.1.3	Stoffauswahl	86
3.1.4	Analyseverfahren	91
3.1.5	Methodik der Datenauswertung	92
3.2	Labor- und halbtechnische Untersuchungen	94
4	Ergebnisse	97
4.1	Reinigungsleistung der konventionellen biologischen Reinigungsstufe	97
4.2	Spurenstoffelimination des dynamischen Rezirkulationsbetriebs.....	99
4.2.1	Pulveraktivkohlezugabe	99
4.2.2	Ozonung	108

4.2.3	Ozonung und Pulveraktivkohlezugabe	113
4.3	Auswirkungen der dynamischen Rezirkulation auf die biologische Reinigungsstufe	120
4.3.1	Betriebliche Auswirkungen	121
4.3.2	Pulveraktivkohlezugabe	126
4.3.3	Ozonung	135
4.3.4	Ozonung und Pulveraktivkohlezugabe	139
4.4	Energieverbrauch des dynamischen Rezirkulationsbetriebs	143
5	Bewertung der untersuchten Verfahren der dynamischen Rezirkulation	147
5.1	Spurenstoffelimination des dynamischen Rezirkulationsbetriebs	147
5.1.1	Pulveraktivkohlezugabe	147
5.1.2	Ozonung	159
5.1.3	Ozonung und Pulveraktivkohlezugabe	160
5.2	Ökotoxikologische Bewertung	162
6	Bemessungshinweise	168
6.1	Behandlungswassermenge	168
6.2	Eintrags- und Reaktionsbedingungen	170
6.2.1	AFSF-Verfahren	170
6.2.2	Ablaufozonung	173
6.2.3	Dynamische Rezirkulation	183
7	Verfahrensvergleich	186
7.1	Verfahrenstechnische Dimensionierung	187
7.2	Abschätzung der Investitionen	188
7.3	Abschätzung des Betriebsmittel- und Energiebedarfs	190
7.4	Ergebnisse des Verfahrensvergleichs	193
8	Zusammenfassung	196

Literaturverzeichnis

Anhang