

Inhalt

Danksagung	XI
Zusammenfassung	XIII
Abstract	XV
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	5
2.1 Aktivkohle	5
2.2 Adsorption	7
2.2.1 Begriffsdefinition	7
2.2.2 Kinetik des Adsorptionsvorgangs	8
2.2.3 Das Gleichgewicht der Adsorption	9
2.2.4 Einflussfaktoren auf die Adsorption	11
2.3 Organische Verschmutzung von kommunalem Abwasser	12
2.3.1 Parameter zur Erfassung der organischen Verschmutzung und deren Aussage	12
2.3.2 Fraktionen der organischen Restverschmutzung	13
2.3.3 Anforderungen an kommunale Kläranlagen in Bezug auf die Reinigungsleistung	14
2.3.4 Reinigungsleistung kommunaler Kläranlagen	14
2.3.5 Kontrolle von Adsorptionsanlagen	16
2.4 Spurenstoffe	17
2.4.1 Definition und Vorkommen	17
2.4.2 Eliminierung in Kläranlagen	22
2.4.3 Spurenstoffe und Aktivkohle	23
2.5 Einsatz von Pulveraktivkohle in der Abwasserreinigung	24

3	Überlegungen zur Verfahrenstechnik	31
3.1	Anforderungen an eine Verfahrenstechnik zur weitergehenden Abwasserreinigung	31
3.2	Grundsätze zur Anwendung von Pulveraktivkohle	32
3.3	Prozessdesign der untersuchten Verfahrenstechniken	35
4	Angaben zur Versuchsdurchführung	39
4.1	Versuchsdurchführung und Beurteilungsmaßstab der Durchlaufversuche ..	39
4.2	Versuchsanlagen und Versuchsbetrieb	40
4.3	Laboruntersuchungen	41
4.3.1	Probenvorbereitung	41
4.3.2	Organische Summenparameter und Phosphor	41
4.3.3	Organische Spurenstoffmessungen	41
4.3.4	Wirkungsbezogene Analytik	42
4.3.5	Hygieneuntersuchung	43
4.3.6	Physikalische Schlammparameter	43
4.4	Eingesetzte Online-Messtechnik	43
4.5	Bewertung der Feststoffabtrennung	44
4.6	Eingesetzte Pulveraktivkohle und Hilfsstoffe	45
4.7	Verwendete Abwässer	45
4.7.1	Charakteristika der Kläranlagen und deren Abwässer	45
4.7.2	Adsorptionsanalyse	46
5	Laboruntersuchungen zur Verringerung der Restorganik	49
5.1	Zielsetzungen und Durchführung der Laboruntersuchungen	49
5.2	Zugabe von Pulveraktivkohle zu biologisch gereinigtem Abwasser	49
5.2.1	Kontaktzeit	49
5.2.1.1	Kontaktzeit kleiner 1 Stunde	50
5.2.1.2	Kontaktzeit größer 1 Stunde	52
5.2.2	Mehrstufige Anwendung	53
5.2.3	Mehrfachbeladung	53
5.2.3.1	Begriffsdefinition und Prinzip der Mehrfachbeladung	53
5.2.3.2	Stand des Wissens	55
5.2.3.3	Eigene Untersuchungen	55
5.3	Zugabe von Pulveraktivkohle zu belebtem Schlamm	56
5.4	Zugabe von Fällmittel zu biologisch gereinigtem Abwasser	57

6	Verfahrensvariante 1:	
	Pulveraktivkohledosierung in eine adsorptive Reinigungsstufe.	59
6.1	Verfahrenskonzept.	59
6.2	Untersuchungen zur Reinigungsleistung	61
6.2.1	DOC.	61
6.2.1.1	Nachgeschaltete Stufe: Adsorptionsstufe.	61
6.2.1.2	Rückführung beladener Pulveraktivkohle in die Biologie	63
6.2.1.3	Gesamtentnahme gegenüber biologisch gereinigtem Abwasser.	64
6.2.1.4	Optionale Dosierung: Entnahme im Sandfilter	65
6.2.2	Spurenstoffe.	66
6.2.3	Untersuchungen zum Rückgang der endokrinen Wirkung des Abwassers. .	70
6.2.4	Phosphor	71
6.3	Untersuchungen zur Betriebsweise der weitergehenden Abwasserbehandlung.	73
6.3.1	Untersuchungen zur weitestgehenden Feststoffabtrennung mittels Zweischichtfiltration	73
6.3.1.1	Überwachung des Feststoffrückhalts	73
6.3.1.2	Einfluss der Fällmitteldosierung auf den Feststoffrückhalt.	74
6.3.2	Schlammcharakteristika	76
6.3.2.1	Schlammzusammensetzung.	76
6.3.2.2	Einfluss der Fällmitteldosierung auf den Schlammindex.	77
6.3.3	Untersuchungen zum Einfluss auf die Entnahme der Restorganik.	78
6.3.3.1	Einflussgröße TS-Gehalt	78
6.3.3.2	Pulveraktivkohledosierstelle	79
6.3.4	Regelung und Steuerung der Reinigungsleistung.	80
7	Verfahrensvariante 2:	
	Pulveraktivkohledosierung vor einen Sandfilter	83
7.1	Verfahrenskonzept.	83
7.2	Untersuchungen zur Reinigungsleistung	84
7.2.1	DOC.	84
7.2.1.1	Nachgeschaltete Stufe: Sandfilter	84
7.2.1.2	Rückführung beladener Pulveraktivkohle in die Biologie	87
7.2.1.3	Gesamtentnahme gegenüber biologisch gereinigtem Abwasser.	88
7.2.2	Spurenstoffe.	89
7.2.3	Phosphor	91
7.3	Untersuchungen zur weitestgehenden Feststoffabtrennung.	93
7.3.1	Sicherstellung des Feststoffrückhaltes	93
7.3.2	Einlagerungsverhalten innerhalb der Filterschichten.	94

8	Verfahrensvariante 3: Pulveraktivkohledosierung in die biologische Reinigungsstufe.	97
8.1	Verfahrenskonzept.	97
8.2	Untersuchungen zur Reinigungsleistung	98
8.2.1	DOC	98
8.2.2	Spurenstoffe.	100
8.2.3	Phosphor	102
9	Vergleich der Verfahrensvarianten	103
9.1	Verfahrensunterschiede in Bezug auf die Anwendung und Führung der Pulveraktivkohle im Reinigungssystem	103
9.2	Vergleich der Verfahrenstechniken in Bezug auf die Entfernung organischer Stoffe	105
9.2.1	Nachgeschaltete PAC-Reinigungsverfahren	105
9.2.2	Anwendung im Gegenstromprinzip	106
9.2.3	Reinigungsleistung der Verfahrensvarianten gegenüber biologisch gereinigtem Abwasser	108
9.3	Einfluss der organischen Restverschmutzung auf die Entnahme von Spurenstoffen	110
9.4	Indikator zur Abschätzung der Entfernung von Spurenstoffen	111
9.5	Zusätzliche Reinigungseffekte aufgrund der Anwendung von Pulveraktivkohle.	113
9.5.1	Phosphor	113
9.5.2	Hygiene	114
9.6	Vergleich betrieblicher Aspekte.	115
9.6.1	Filterbetrieb.	115
9.6.2	Steuer- und Regelbarkeit des adsorptiven Reinigungsprozesses	117
9.7	Zusammenfassende Beurteilung der Verfahrensvarianten.	119
10	Realisierung der weitergehenden Abwasserreinigung	123
10.1	Dimensionierung.	123
10.1.1	Kontaktreaktor	123
10.1.2	Sedimentationsbecken.	124
10.1.3	Sandfiltration.	127
10.1.3.1	Untersuchungen zum Einlagerungsverhalten.	127
10.1.3.2	Maximale Filtergeschwindigkeit.	128
10.1.3.3	Filterlaufzeit	128

10.2	Ausbaugröße	129
10.3	Schlammanfall	132
10.3.1	Bestandteile und Mengen des Schlammes der weitergehenden Abwasserreinigung	132
10.3.2	Zusätzlicher Schlammanfall	134
10.4	Kosten	135
10.4.1	Investitionskosten	135
10.4.2	Betriebskosten	135
10.4.3	Gesamtkosten	136
10.5	Bemessungsbeispiel	137
11	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	141
12	Literaturverzeichnis	147
13	Anlagenverzeichnis	159
14	Bildverzeichnis	181
15	Tabellenverzeichnis	187
16	Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	189