

INHALTSVERZEICHNIS

1. PERSPEKTIVEN IM HINBLICK AUF EINEN WIRTSCHAFTLICHEREN BETRIEB VON KLÄRANLAGEN	1
1.1 Kläranlagentechnik in der Bundesrepublik Deutschland	2
1.1.1 Entwicklung der Abwasserbeseitigung	3
1.1.2 Stand der Abwasser- und Schlammbehandlung	4
1.1.3 Struktur des Energieeinsatzes in Kläranlagen	7
1.1.4 Personaleinsatz in Kläranlagen	9
1.2 Künftige Aufgabenschwerpunkte bei der Abwasserreinigung und Schlammbehandlung in kommunalen Kläranlagen	11
1.2.1 Verbesserung der Reinigungsergebnisse	12
1.2.2 Erhöhung der Prozeßstabilität	13
1.2.3 Sicherung der Schlammentsorgung	15
1.2.4 Minimierung des Betriebsmitteleinsatzes	16
1.3 Optimierungsansätze für bestehende Kläranlagen - Zielsetzung dieser Arbeit	19
1.3.1 Systemanalytischer Ansatz	20
1.3.2 Zielsetzung und methodische Vorgehensweise	22
2. EINFLUSSFAKTOREN AUF REINIGUNGSWIRKUNG UND PROZESSSTABILITÄT VON BIOLOGISCHEN ABWASSERREINIGUNGSANLAGEN	24
2.1 Prinzip der biologischen Abwasserbehandlung und seine Anwendung in der Praxis	25
2.1.1 Mikrobiologische Prozesse im Abwasser	26
2.1.2 Formalkinetik der Stoffwechselvorgänge	32

2.1.3 Verfahrenstechnische Merkmale von Festbett- und Belebungsreaktoren	36
2.1.4 Bemessung von Abwasserbehandlungsanlagen	44
2.1.5 Ansatzpunkte für eine technisch-wirtschaftliche Optimierung	44
2.2 Funktionstüchtigkeit von Abwasserreinigungsanlagen	50
2.2.1 Funktionstüchtigkeit und Prozeßstabilität	51
2.2.2 Einflußfaktoren auf die Prozeßstabilität	54
2.2.3 Möglichkeiten der verbesserten Abtrennung von Fest- stoffen aus Abwasser	58
2.2.4 Ansatzpunkte für die Stabilisierung der Reinigungswirkung	62
2.3 Möglichkeiten der gesteuerten Prozeßführung zur Optimierung des Betriebsaufwandes	64
2.3.1 Voraussetzungen für eine Automation	65
2.3.2 Anwendungen von Steuerungen zur Prozeßführung	67
2.3.3 Ansatzpunkte für eine Prozeßautomatisierung	70
2.4 Implementation am Prinzip der biologischen Vorklä rung	71
2.4.1 Verfahrenstechnische Merkmale	72
2.4.2 Konsequenzen für den Abwasserreinigungsbetrieb und die Schlammbehandlung	80
2.4.3 Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen	88
 3. SCHLAMMBEHANDLUNG UND ENERGIEVERSORGUNG ALS INTEGRALER BESTANDTEIL DER ABWASSERREINIGUNG	 94
3.1 Ziele und Kriterien der Schlammbehandlung	95
3.1.1 Flockenbildung und -zerfall	96
3.1.2 Eindickung und Entwässerung	100
3.1.3 Stabilisierung und Hygienisierung	104
3.1.4 Ansatzpunkte zur Optimierung der Schlammbehandlung	106
3.2 Elemente eines integrierten Energieversorgungskonzeptes für Kläranlagen	113
3.2.1 Energiehaushalt von Kläranlagen	114
3.2.2 Möglichkeiten der Energieeinsparung und Vergleich- mäßigung des Energiebedarfs	121
3.2.3 Aspekte der Faulgasproduktion	124
3.2.4 Kriterien für die Optimierung der Energieversorgung	127

4. KOSTEN DER ABWASSERREINIGUNG UND SCHLAMMBEHANDLUNG UND DEREN EINORDNUNG	129
4.1 Kostenrechnungen in der Siedlungswasserwirtschaft und die Finanzierung von Abwasseranlagen	130
4.1.1 Grundlagen von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	131
4.1.2 Anlegbare Kriterien	134
4.1.3 Methoden der Investitionsrechnung	135
4.1.4 Eingangsgrößen in die Investitionsrechnung	137
4.1.5 Zuschüsse, Umlagen und Gebühren	138
4.2 Einflußgrößen auf die Höhe der Jahreskosten	139
4.3 Ermittlung der Jahreskosten	142
4.3.1 Investitionen	146
4.3.2 Betriebskosten	148
4.3.3 Jahreskosten	150
4.4 Ermittlung der kostengünstigsten Schlammbehandlungsvarianten unter Berücksichtigung der Faulgasproduktion aus Primärschlamm	152
4.4.1 Überblick über die zugrundegelegten Kostenfunktionen	153
4.4.2 Kostenermittlung für die getrennte Schlammbehandlung von Primär- und Sekundärschlamm	154
4.4.3 Kostenstellenrechnung zur Bewertung der Schlammbehandlungskosten bei getrennter Primär- und Sekundärschlammbehandlung durch anteilige Berücksichtigung gemeinsam genutzter Aggregate	160
4.4.4 Einordnung der Ergebnisse	
5. ENTWICKLUNG EINES MATHEMATISCHEN MODELLANSATZES ZUR OPTIMIERUNG VON PROZESSFÜHRUNG UND BETRIEBSAUFWAND BEI DER SANIERUNG EINER KLÄRANLAGE	166
5.1 Möglichkeiten von systemanalytischen Ansätzen und von Operations Research	169
5.2 Auswahl eines geeigneten Optimierungsverfahrens	174
5.2.1 Überblick über Optimierungsmodelle in der Siedlungswasserwirtschaft	174
5.2.2 Kriterien für die Auswahl geeigneter Lösungsverfahren	181
5.2.3 Diskussion der möglichen Lösungswege	183
5.3 Entwicklung eines technisch-wirtschaftlichen Optimierungskonzeptes	184

5.3.1 Problemformulierung	187
5.3.2 Formulierung eines Modells	190
5.3.3 Sensitivitätsanalyse	196
5.4 Entwicklung von Lösungskonzepten	199
5.4.1 Optimierung von Reaktorgrößen (Stufenoptimierung)	201
5.4.2 Optimale Verfahrenskombination	205
5.4.3 Optimale Ausbauplanung bei bestehenden Anlagen	208
5.4.4 Kritik der angewandten Methoden und Ansätze zur Erweiterung	217
5.5 Chancen einer technisch wirtschaftlichen Optimierung bei der Sanierung bestehender Kläranlagen	219
6. ZUSAMMENFASSUNG	221
Anhang: Bemessungsgleichungen für die Schlammbehandlungs- und Energieanlagen	227
Listing des dynamischen Optimierungsprogrammes	230
Modell (Transformations- und Kostenfunktionen für eine numerische Optimierung des Abwasserreinigungsverfahrens)	233
7. LITERATUR	254
SACHVERZEICHNIS	285