

## Inhaltsverzeichnis

### Vorwort *XIII*

<b>1</b>	<b>Prozesse in Anlagen zur Abwasserreinigung und Klärschlammbehandlung</b>	<b>1</b>
1.1	Einführung	1
1.2	Abwasserhebung im Zulaufpumpwerk	2
1.2.1	Allgemeines	2
1.2.2	Kreiselpumpen	4
1.2.3	Abwasserförderorschnecken	4
1.3	Abwasserreinigung	5
1.3.1	Mechanische Abwasserreinigung	5
1.3.1.1	Rechenanlagen	5
1.3.1.2	Sand- und Fettfang	6
1.3.1.3	Vorklärung	7
1.3.2	Biologische und weitergehende Abwasserbehandlung	7
1.3.2.1	Belebungsverfahren	8
1.3.2.2	Weitergehende Reinigungsmaßnahmen	12
1.3.2.3	Ablaufkontrolle	13
1.4	Schlammbehandlung	13
1.4.1	Schlammendickung vor der Stabilisierung (Voreindickung)	15
1.4.2	Schlammstabilisierung	16
1.4.2.1	Schlammfaulung	16
1.4.2.2	Aerobe Stabilisation	17
1.4.3	Entwässerung	18
1.4.3.1	„Nacheindickung“ und/oder Schlammvorlage	18
1.4.3.2	Schlammstapelbehälter	19
1.4.3.3	Entwässerungsverfahren	19
1.4.4	Schlammabtrocknung	20
1.5	Schlammabtransport	21

<b>2</b>	<b>Rechenanlagen in kommunalen Klärwerken</b>	<b>23</b>
2.1	Einleitung	23
2.2	Verfahrenstechnische Anordnung von Rechenanlagen	24
2.3	Verfahrenstechnische Anforderungen und Bemessung von Rechenanlagen	24
2.4	Betriebliche Anforderungen	25
2.5	Bau- und Funktionsweise von Rechenanlagen	26
2.5.1	Allgemeine Grundsätze	26
2.5.2	Kletterrechen	27
2.5.3	Bogenrechen	29
2.5.4	Doppeltenkerrechen	29
2.5.5	Stabrechen mit Handräumung	30
2.5.6	Siebrechen	30
2.5.7	Filterstufenrechen	32
2.5.8	Spiralsiebrechen	33
2.6	Rechengutbehandlung	35
2.6.1	Rechengutpressen	35
2.6.2	Rechengutwäscher	36
2.6.3	Rechengutwaschpressen	37
2.7	Rechengutförderung und -abfuhr	38
2.7.1	Allgemeines	38
2.7.2	Gurtförderer	38
2.7.3	Spiralförderer	39
2.7.4	Containeranlagen	40
2.8	Hygienische und sicherheitstechnische Aspekte bei der Planung von Rechenanlagen	41
2.8.1	Hygienische Situation	41
2.8.2	Aspekte der Arbeitssicherheit	42
2.8.3	Explosionsschutz	42
2.9	Ausschreibung von Rechenanlagen	43
<b>3</b>	<b>Pumpen in abwassertechnischen Verfahren und Anlagen</b>	<b>47</b>
3.1	Einleitung	47
3.2	Abwassertechnische Anlagen (aus Pumpensicht)	49
3.2.1	Anlagenkennlinie	49
3.2.2	Einbauort der Pumpe	58
3.2.2.1	Kavitation	58
3.2.2.2	Ungelöste (freie) Gase	62
3.2.3	Arbeitspunkt	65
3.3	Hinweise zur Auswahl und zum Betrieb von Kreiselpumpen und Rührwerken	66
3.3.1	Kennlinien von Kreiselpumpen	66
3.3.2	Feststoffgehalt/Viskosität (s. a. Abschnitte 3.2.1 und 3.4.2)	78
3.3.3	Ungelöste (freie) Gase (s. a. Abschnitte 3.2.2 und 3.4.4)	81

3.3.4	Kavitation (s. a. Abschnitte 3.2.1 und 3.4.3)	83
3.3.5	Pumpenaufstellungen/Pumpenantriebe	87
3.3.6	Wellenabdichtungen (s. a. Abschnitt 3.4.5 und Kapitel 4)	88
3.3.7	Schwingungen (s. a. Abschnitt 3.4.6)	88
3.3.8	Regelung (s. a. Abschnitt 3.4.7)	90
3.3.9	Rührwerke	97
3.4	Hinweise zur Auswahl und zum Betrieb von Verdrängerpumpen	102
3.4.1	Kennlinien von Verdrängerpumpen	102
3.4.2	Feststoffgehalt/Viskosität (s. a. Abschnitte 3.2.1 und 3.3.2)	108
3.4.3	Kavitation (s. a. Abschnitte 3.2.2.1 und 3.3.4)	109
3.4.4	Ungelöste (freie) Gase (s. a. Abschnitte 3.2.2.2 und 3.3.3)	113
3.4.5	Wellenabdichtungen (s. a. Abschnitt 3.3.6 und Kapitel 4)	114
3.4.6	Schwingungen (s. a. Abschnitt 3.3.7)	114
3.4.7	Regelung (s. a. Abschnitt 3.3.8)	115
3.4.8	Schneckenpumpen	118
<b>4</b>	<b>Wellenabdichtungen im Bereich Abwasser*</b>	<b>123</b>
4.1	Einleitung	123
4.2	Wellendichtungen in der Abwassertechnik	124
4.3	Berührungsreie Dichtsysteme im Bereich Abwasser	126
4.4	Berührende Dichtungen im Bereich Abwasser	127
4.4.1	Stopfbuchspackungen	127
4.4.2	Gleitringdichtungen	128
4.4.2.1	Grundlagen zur Funktionsweise	128
4.4.2.2	Werkstoffe von Gleitringdichtungen	131
4.4.2.3	Dichtungsräume	133
4.4.2.4	Bauarten von Dichtungen für feststoffbeladene Medien	134
4.4.2.5	Fahrweisen von Gleitringdichtungen	137
4.4.3	Gasgeschmierte Gleitringdichtungen für chemische Abwässer	140
<b>5</b>	<b>Belüftungseinrichtungen</b>	<b>143</b>
5.1	Einleitung	143
5.2	Feinblasige Druckluftbelüftungssysteme	144
5.2.1	Material und Form	144
5.2.2	Feinblasige flächendeckende Druckluftbelüftung	146
5.2.3	Feinblasige Belüftungssysteme mit getrennter Umwälzung	146
5.2.4	Probleme mit feinblasigen Belüftungselementen	148
5.2.5	Belüftungssystem – Rohrleitungssystem – Drucklufiterzeuger	149
5.3	Oberflächenbelüftungssysteme	151
5.3.1	Rotoren in Umlaufbecken	151
5.3.2	Kreisel in Mischbecken	151
5.3.3	Kreisel in Umlaufbecken	152
5.4	$\alpha$ -Werte von Druckluft- und Oberflächenbelüftungssystemen	152
5.5	Modifizierte Richtwerttabelle	156
5.6	Bemessung von Belüftungssystemen	158

5.7	Tendenzen und Perspektiven bei der Belüftungstechnik	160
5.8	Zusammenfassung	162
<b>6</b>	<b>Wirtschaftlicher Betrieb von Drehkolbengebläsen</b>	<b>165</b>
6.1	Überblick	165
6.2	Funktionsprinzip	165
6.3	Normen	171
6.4	Auslegung	172
6.5	Drehkolbengebläseaggregate	175
6.6	Regelung	179
6.7	Gesamtstation	182
6.8	Fazit	183
<b>7</b>	<b>Wirtschaftlicher Betrieb von Turboverdichtern</b>	<b>185</b>
7.1	Verdichter in Kläranlagen	185
7.1.1	Drehkolbenverdichter	186
7.1.2	Schraubenverdichter	186
7.1.3	Turboverdichter	187
7.2	Strömungstechnisches Verhalten	188
7.3	Regelanforderungen in Kläranlagen	189
7.3.1	Regelung von Turboverdichtern	189
7.3.2	Regelung mehrerer Verdichter	192
7.4	Wirtschaftlichkeitsvergleich verschiedener Verdichterbauarten	198
7.5	Zusammenfassung	199
<b>8</b>	<b>Hinweise zur Betriebsoptimierung der Belüftung</b>	<b>201</b>
8.1	Einleitung	201
8.2	Optimierung des Belüftungssystems	202
8.2.1	Allgemeines	202
8.2.2	Maßnahmen zur Verbesserung des Energieverbrauchs	202
8.2.2.1	Energieanalysen mithilfe von Kennzahlen	202
8.2.2.2	Beispiel für die Anwendung stoffumsatzbezogener Kennzahlen	203
8.2.2.3	Kennzahlen auf der Basis von Sauerstoffeintragsmessungen	206
8.2.3	Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs	206
8.3	Optimierung des Reinigungsprozesses mithilfe der Belüftung	207
8.3.1	Allgemeines	207
8.3.2	Regelung der Sauerstoffzufuhr	207
8.3.2.1	Festwertregelung	207
8.3.2.2	Sollwertführung nach Zeitplan	210
8.3.2.3	O <sub>2</sub> -Sollwertführung mit Störgrößenaufschaltung	212
8.3.3	Regelungen auf Basis der Belüftung	213
8.3.3.1	NH <sub>4</sub> -N- und NO <sub>3</sub> -N-Regelung	213
8.3.3.2	Regelung der Sauerstoffzufuhr in Abhängigkeit vom Redoxpotenzial	213

8.3.3.3	Steuerung / Regelung der Sauerstoffzufuhr mithilfe von Fuzzy-Algorithmen	215
8.4	Zusammenfassung	218
<b>9</b>	<b>Dosieren in der kommunalen Abwasserreinigung</b>	<b>221</b>
<b>10</b>	<b>Anforderungen an die Maschinentechnik</b>	<b>229</b>
10.1	Allgemeine Arten der Beanspruchung	230
10.2	Besonderheiten der Fördermedien	231
10.2.1	Fluide Fördermedien	231
10.2.2	Gasförmige Fördermedien	232
10.2.3	Sonstige Fördermedien	232
10.3	Hinweise zum Rohrleitungsbau	233
10.3.1	Vergleich verschiedener Werkstoffe	233
10.3.1.1	Mechanische Kennwerte	233
10.3.1.2	Thermische Kennwerte	234
10.3.2	Einsatzbereiche	235
10.3.3	Hinweise zu Auslegung und Trassenführung	236
10.3.4	Konstruktive Hinweise	238
10.4	Werkstoffkundliche Betrachtungen	238
10.4.1	Metallische Werkstoffe	239
10.4.1.1	Edelstahl und seine Eigenschaften	239
10.4.2	Kunststoffe	243
10.4.2.1	Thermoplaste	243
10.4.2.2	Duroplaste	243
10.5	Schweißtechnische Betrachtungen	244
10.5.1	Allgemeines zu Rohrverbindungen	244
10.5.2	Schweißtechniken	246
10.5.3	Qualitätssicherung an Schweißnähten	246
10.5.4	Nachbehandlung von Schweißnähten	247
10.5.5	Forderungen an die Ausführung von Schweißarbeiten	248
<b>11</b>	<b>Die Räumer in der Abwasserreinigung</b>	<b>251</b>
11.1	Einleitung	251
11.2	Bauarten	251
11.3	Verwendungszweck	252
11.4	Konstruktive Merkmale	253
11.4.1	Räumerbrücke	254
11.4.2	Unterwasserausrüstung	255
11.4.2.1	Sandschildräumer	255
11.4.2.2	Sandsaugräumer	256
11.4.2.3	Längsschildräumer	256
11.4.2.4	Längssaugräumer	256
11.4.2.5	Rundschildräumer	256
11.4.2.6	Randsaugräumer	257

11.4.3	Schwimmschlammbelebungsanlage 259
11.4.3.1	Sandschildräumer/Sandsaugräumer 259
11.4.3.2	Längsschildräumer/Längssaugräumer 259
11.4.3.3	Rundschildräumer/Rundsaugräumer 260
11.5	Zusammenfassung 261
<b>12</b>	<b>Anforderungen an die technische/maschinelle Ausrüstung von Schlammbehandlungsanlagen 263</b>
12.1	Einleitung 263
12.2	Allgemeine Anforderungen 265
12.2.1	Generelles 265
12.2.2	Emissions- und immissionsorientierte Anforderungen 265
12.2.3	Betriebsorientierte Anforderungen 267
12.2.4	Kostenorientierte Anforderungen 268
12.3	Fallbeispiele zu Anforderungen und Lösungen bei technischen Ausrüstungen der Schlammbehandlung 270
12.3.1	Rohschlammbehandlung 270
12.3.1.1	Allgemeines 270
12.3.1.2	Primärschlammabzug und -eindickung 270
12.3.1.3	Abzug von Überschussschlamm und maschinelle Überschussschlammvoreindickung 272
12.3.1.4	Anforderungen an Pumpen, Armaturen und Rohrleitungen 273
12.3.2	Aerobe Schlammstabilisierung 275
12.3.3	Anaerobe Schlammstabilisierung (Faulung) 276
12.3.3.1	Allgemeines 276
12.3.3.2	Beschickung 277
12.3.3.3	Faulbehälter-Heizung 277
12.3.3.4	Durchmischung (Umwälzung) des Faulbehälters 278
12.3.3.5	Sonstige Betriebssysteme bzw. Ausrüstungen für die Faulung 279
12.3.4	Faulgasbehandlung und Faulgasverwertung 280
12.3.5	Nacheindickung 281
12.3.6	Schlammtennwässerung 281
12.4	Zusammenfassung 284
<b>13</b>	<b>Korrosion und Verschleiß 287</b>
13.1	Begriffsbestimmung 287
13.2	Korrosion 287
13.2.1	Grundlagen der Korrosion von Metallen in wässrigen Lösungen 287
13.2.1.1	Grenzflächenreaktionen 287
13.2.1.2	Spannungsreihe der Metalle 289
13.2.1.3	Elektrochemische Elemente 289
13.2.1.4	Säure- und Sauerstoffkorrosion 290
13.2.1.5	Passivität 291
13.2.2	Erscheinungsformen der Korrosion 292
13.2.2.1	Korrosionsformen ohne mechanische Beanspruchung 292

13.2.2.2	Korrosionsformen mit mechanischer Beanspruchung	298
13.3	Maßnahmen zum Korrosionsschutz	301
13.3.1	Mediumseitige Maßnahmen	301
13.3.2	Konstruktive Maßnahmen	302
13.3.3	Schutz durch Überzüge	302
13.3.3.1	Organische Beschichtungen	302
13.3.3.2	Metallische Beschichtungen	302
13.3.3.3	Anorganische, nichtmetallische Beschichtungen	303
13.3.4	Korrosionsbeständige Werkstoffe	303
13.3.5	Kathodischer Schutz	304
13.4	Verschleiß	305
13.4.1	Gleitverschleiß	305
13.4.2	Hydroabrasiver Verschleiß	306
13.4.2.1	Abhängigkeit von den einwirkenden Größen	306
13.4.2.2	Abhängigkeit vom Werkstoff	308
<b>14</b>	<b>Explosionsschutz in abwassertechnischen Anlagen</b>	<b>309</b>
14.1	Explosion	309
14.1.1	Explosionsfähige Atmosphäre	310
14.1.1.1	Vorliegen einer gefahrdrohenden Menge	310
14.1.1.2	Vermeiden von Zündquellen	311
14.1.1.3	Zündtemperatur	313
14.2	Zündschutzmaßnahmen	314
14.3	Pflicht zur Beurteilung von Explosionsgefahren und zur Anwendung von Explosionsschutz-Maßnahmen	314
14.4	Neue Verordnung zum Explosionsschutz	316
14.4.1	Nationale Umsetzung der Richtlinie in Deutschland	318
14.4.2	Zertifizierung und Kennzeichnung	319
14.5	Begriffsbestimmungen	319
14.6	Kriterien für die Auswahl und den Einsatz von Betriebsmitteln	320
14.7	Beurteilung der Explosionsgefahren in abwassertechnischen Anlagen	320
14.8	Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes	321
14.9	Beispiel für den Aufbau eines Explosionsschutzdokuments	322
<b>15</b>	<b>Mess- und Regelungstechnik der Gesamtanlage</b>	<b>325</b>
15.1	Einleitung	325
15.2	Kanalisation und Regenwasserbehandlung	325
15.2.1	Pumpwerke	326
15.2.2	Regenentlastungsbauwerke	327
15.2.3	Datenauslesen und Datenfernübertragung	329
15.3	Kläranlagenzulauf und mechanische Vorreinigung	330
15.4	Biologische Abwasserbehandlung	333
15.4.1	Vorklärbecken	333
15.4.2	Biologische Abwasserreinigung	334
15.4.2.1	Biologische Stickstoffelimination	334

15.4.2.2	Phosphorelimination	335
15.4.3	Verfahren	336
15.4.4	MSR-Strategie	337
15.4.4.1	Nitrifikation	337
15.4.4.2	Denitrifikation	337
15.4.4.3	Phosphor-Elimination	338
15.4.4.4	Intermittierende sowie alternierende Nitrifikation/Denitrifikation	338
15.4.4.5	Steuerung der Rücklaufschlammmenge	339
15.4.4.6	Überschussschlammabzug	339
15.5	Schlammbehandlung	341
15.5.1	Eindicker, Stapelbehälter	341
15.5.2	Faulturm	342
15.5.3	Gasbehälter	342
15.5.4	Schlammtennwässerung	343
15.5.4.1	Prozessoptimierung bei der Schlammtennwässerung und deren Einsparpotentiale	343
15.5.4.2	Messmethoden zur Bestimmung des TS-Gehaltes von Schlämmen	344
15.6	Chemikalienstation	345
<b>16</b>	<b>Regelantriebe</b>	<b>347</b>
16.1	Einleitung	347
16.2	Übersicht der Varianten an Regelantrieben	348
16.2.1	Mechanische Regelantriebe	349
16.2.2	Elektrische-/elektronische Regelantriebe	350
16.2.2.1	Schleifringläufermotoren mit untersynchroner Stromrichterkaskade (USK) oder Widerstandsschaltung	350
16.2.2.2	Gleichstrommotoren mit Stromrichter	350
16.2.2.3	Drehstrom-Asynchronmotoren mit Frequenzumrichter	351
16.2.2.4	Servomotoren mit Frequenzumrichter	352
16.3	Drehstrom-Asynchronmotoren	352
16.4	Geregelter Drehstrom-Asynchronmotor mit Frequenzumrichter	356
16.5	Ausblick	360
16.6	Projektierung/Anwendungsbeispiel	361
	<b>Index</b>	<b>365</b>