

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis Bilder	8
Verzeichnis Tabellen	11
Abkürzungsverzeichnis	13
Einleitung	20
1 Über das Handbuch	23
1.1 Benutzerhinweise	23
1.2 Ziele des Handbuchs	23
1.3 Adressaten des Handbuchs	24
1.4 Abgrenzung des Handbuchs	24
1.5 Aufbau des Handbuchs	25
1.6 Orientierung im Handbuch	27
2 Vorgehensweise bei Energieoptimierungen	31
2.1 Allgemeine Hinweise	31
2.1.1 Begriffsdefinitionen	31
2.1.2 Strategie und Planung	33
2.1.3 Von der „Bedarfsplanung Konzept“ zum Projekt	33
2.1.4 Wechselwirkungen	35
2.2 Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen – Arbeitsblatt DWA-A 216: Energiecheck und Energieanalyse	36
2.3 Weitere Orientierungshilfen	42
2.3.1 Ermittlung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses und der Umweltauswirkungen von Maßnahmen	42
2.3.1.1 Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen	42
2.3.1.2 Ermittlung der Umweltauswirkungen von Maßnahmen	43
2.3.1.2.1 Auswirkungen auf die Ablaufqualität von Kläranlagen	43
2.3.1.2.2 CO ₂ -Bilanzierung in der Abwasserwirtschaft	43
2.3.2 Priorisierung von Maßnahmen	45
2.3.3 Durchführung der Erfolgskontrolle	45
2.3.4 Energiebilanzierung von Abwasseranlagen	47
2.3.4.1 Energetische Bewertung auf Verbraucherebene	49
2.3.4.2 Energetische Betrachtung auf Bereitstellerebene	50
2.3.4.3 Darstellung der Bereitsteller und Verbraucher im Energiefließbild	51
2.3.4.3.1 Messkonzept für elektrische Energie	53
2.3.4.3.2 Messkonzept für thermische Energie	62
2.3.4.3.3 Messkonzept für Faulgas	65
2.3.4.4 Weitere Anforderungen an Energiekennndaten	67

1

2



3	Verfahrenstechnische und betriebliche Effizienzsteigerung von Prozessen der Abwasserentsorgung	71
3.1	Abwasserableitung	71
3.1.1	Allgemeine Hinweise	71
3.1.2	Energierrelevante Planungsansätze für Neuplanungen und Anlagenoptimierungen	73
3.1.3	Pumpwerke	77
3.1.4	Regenbecken	80
3.2	Mechanische Vorreinigung	83
3.2.1	Rechenanlage	83
3.2.2	Sand- und Fettfang	85
3.2.3	Vorklärung	89
3.3	Biologische Reinigung	90
3.3.1	Allgemeine Hinweise	90
3.3.2	Belebtschlammverfahren	91
3.3.2.1	Allgemeine Hinweise	91
3.3.2.2	Effizienzmaßnahmen Belebtschlammverfahren	92
3.3.2.2.1	Effizienzmaßnahme – Auswahl der Verfahren	92
3.3.2.2.2	Effizienzmaßnahme – Auslastung	93
3.3.2.2.3	Effizienzmaßnahme – TS-Gehalt und Schlammalter	94
3.3.2.2.4	Effizienzmaßnahme – Rezirkulation bei vorgeschalteter Denitrifikation	94
3.3.2.2.5	Effizienzmaßnahme – Rücklaufschlamm	95
3.3.2.2.6	Effizienzmaßnahme – Durchmischung	95
3.3.2.2.7	Effizienzmaßnahme – Belüftung	96
3.3.3	Sonderverfahren des Belebtschlammverfahrens	105
3.3.3.1	Adsorptions-Belebungs-Verfahren (AB)	105
3.3.3.2	Sequencing Batch Reactor-Verfahren (SBR)	105
3.3.3.3	Membran-Bioreaktor-Verfahren (MBR-Verfahren)	106
3.3.4	Biofilmverfahren	108
3.3.4.1	Tropfkörper	108
3.3.4.2	Scheibentauchkörper	109
3.3.4.3	Tauchtropfkörper	109
3.3.4.4	Wirbelbettverfahren	110
3.3.4.5	Biofiltration mit Festbettreaktoren	110
3.3.5	Verfahren zur Phosphorelimination	111
3.3.6	Nachklärung	112
3.4	Weitergehende Reinigung	114
3.4.1	Nachgeschaltete Filteranlagen	114
3.4.2	Spurenstoffelimination	118
3.4.2.1	Ozonung	118
3.4.2.2	PAK-Filtration	119
3.4.2.3	GAK-Filtration	120
3.4.2.4	Ausblick	120
3.4.3	Desinfektion von biologisch gereinigtem Abwasser	120
3.4.3.1	UV-Bestrahlung	121
3.4.3.2	Ozonung	122
3.4.3.3	Membrandesinfektion	122

3.5	Schlammbehandlung und Schlamm Entsorgung	123
3.5.1	Allgemeine Hinweise	123
3.5.2	Schlammförderung	125
3.5.3	Schlammverdickung, -entwässerung und -konditionierung	125
3.5.3.1	Allgemeine Hinweise	126
3.5.3.2	Statische Voreindickung	126
3.5.3.3	Entspannungsflotation	127
3.5.3.4	Schlammkonditionierung	127
3.5.3.5	Maschinelle Überschussschlammverdickung	128
3.5.3.6	Statische Nacheindickung des ausgefaulten Schlammes	128
3.5.3.7	Maschinelle Entwässerung des ausgefaulten Schlammes	129
3.5.4	Schlammstabilisierung	130
3.5.4.1	Allgemeine Hinweise	130
3.5.4.2	Anaerob-mesophile Stabilisierung	130
3.5.4.3	Aerobe Stabilisierung	135
3.5.4.4	Getrennte anaerobe Schlammstabilisierung und Faulgasverwertung auf kleinen und mittleren Anlagen	135
3.5.5	Schlamm Trocknung	137
3.5.5.1	Hochtemperatur- und Mitteltemperaturtrocknung ¹⁻²	141
3.5.5.2	Niedertemperaturtrocknung	141
3.5.6	Schlammverwertung	142
3.5.6.1	Klärschlamm-Mitverbrennung	142
3.5.6.2	Klärschlamm-Monoverbrennung	143
3.5.7	Phosphorrückgewinnung bei der Schlammbehandlung	144
3.6	Prozesswasserbehandlung und -bewirtschaftung	145
3.6.1	Behandlung von stickstoffbelasteten Teilströmen	145
3.6.2	Phosphorrückgewinnung aus Prozesswasser	149
3.7	Kläranlageninterne Infrastruktur	149
3.7.1	Trink- und Brauchwasser	149
3.7.2	Druckluft (Kompressoren)	150
3.7.3	Beleuchtung	151
3.7.4	Heizen von Gebäuden	152
3.7.5	Kühlen von Gebäuden	153
3.7.6	Abluftbehandlung und Lüftungstechnik	154
3.7.7	Informations- und Kommunikationstechnik	157
4	Effizienzsteigerung bei der Anlagen- und EMSR-Technik	159
4.1	Elektrisch angetriebene Aggregate	159
4.1.1	Allgemeine Hinweise	159
4.1.2	Grundlagen der Energie- und Elektrotechnik	161
4.1.3	Der Elektromotor	165
4.1.4	Das mechanische Getriebe	168
4.1.4.1	Abgestimmte Auslegung eines Antriebsstrangs	169
4.2	Pumpen und Förderaggregate	170
4.2.1	Allgemeine Hinweise	170
4.2.2	Einteilung von Pumpen nach Arbeitsprinzip und Bauart	171



4.2.3	Hinweise zur Auslegung, Planung und Projektierung von Pumpen	175
4.2.4	Auswahl von Pumpen für einen energieeffizienten und sicheren Betrieb	177
4.2.5	Energieeffizienzmaßnahmen und Praxisbeispiel	180
4.3	Druckluftherzeuger	182
4.3.1	Allgemeine Hinweise	182
4.3.2	Energieeffizienzmaßnahmen und Praxisbeispiel	186
4.4	Aggregate zur Durchmischung	189
4.4.1	Durchmischung im Belebungsbecken	189
4.4.2	Durchmischung in Faulbehältern	191
4.5	Aggregate für die Eindickung und Entwässerung von Klärschlamm	193
4.5.1	Allgemeine Hinweise	193
4.5.2	Aggregate für die maschinelle Voreindickung	194
4.5.3	Aggregate für die maschinelle Entwässerung des ausgefaulten Schlammes	195
4.6	Prozessleittechnik und EMSR-Technik	197
4.6.1	Allgemeine Hinweise	197
4.6.2	Automatisierung abwassertechnischer Anlagen	198
4.6.3	Grundlagen der Steuerungs- und Regelungstechnik	199
4.6.4	Effizienzsteigerung durch Steuerung und Regelung	202
4.6.5	Webbasierte Technologieentwicklung, Industrie 4.0	206
4.6.6	Datenschutz und Cybersicherheit	206

5

5	Erneuerbare Energien und Energiebereitstellungssysteme in Abwasseranlagen	209
5.1	Allgemeine Hinweise	209
5.2	Faulgas	209
5.2.1	Faulgasproduktion	209
5.2.2	Co-Vergärung zur Erhöhung der Faulgasproduktion	215
5.2.3	Klärschlammintegration zur Erhöhung der Faulgasproduktion	216
5.2.4	Faulgasreinigung und -aufbereitung	218
5.3	Strom	221
5.3.1	Strom aus solarer Energie (Photovoltaik)	221
5.3.2	Strom aus Windenergie	223
5.3.3	Strom aus Wasserkraft	225
5.3.4	Lastmanagement und Interaktion mit dem Stromnetz	228
5.3.5	Regelenergie	231
5.4	Wärme und Kälte	234
5.4.1	Allgemeine Hinweise	234
5.4.2	Integrale Wärmekonzepte	236
5.4.2.1	Allgemeine Hinweise	236
5.4.2.2	Variante 1: Kläranlage mit Schlammfäulung, 500.000 E	239
5.4.2.3	Variante 2: Kläranlage mit Schlammfäulung und Schlamm-trocknung	242
5.4.2.4	Variante 3: Kläranlage mit Schlammfäulung, Schlamm-trocknung und Klärschlamm-Monoverbrennung	242
5.4.2.5	Wärmeverbund	243
5.4.3	Wärme und Kälte aus Abwasser	243
5.4.4	Wärme und Kälte aus Strom	246
5.4.5	Wärme und Kälte aus Gas, Heizöl oder Holzpellets	247

5.4.6	Wärme und Kälte aus solarer Energie (Solarthermie)	247
5.4.7	Wärme und Kälte aus der Erde (Geothermie)	248
5.4.8	Wärme aus Druckluft	248
5.4.9	Wärme aus Hochtemperaturprozessen	249
5.4.10	Wärme aus Raumluft	249
5.4.11	Wärme aus Faulschlamm	250
5.5	Energiespeicher	251
5.5.1	Schlamm Speicher	251
5.5.2	Faulgasspeicher	252
5.5.3	Stromspeicher	253
5.5.4	Wärmespeicher	255
5.6	Energiewandler	256
5.6.1	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	256
5.6.2	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)	260
5.6.3	Organic Rankine Cycle (ORC)	262
5.6.4	Wandlung in Energieträger/Power to X	263
	5.6.4.1 Power to Gas	264
	5.6.4.2 Power to Liquid	265
	5.6.4.3 Power to Heat	266
	Literatur	267
	Impressum	282