

Verzeichnis der Verfasser	V
Vorwort	XI
1 Einführung	1
2 Biologische Abwasserbehandlung	5
2.1 Grundlagen der biologischen Abwasserbehandlung	5
2.1.1 Behandlungsziel	5
2.1.2 Definition von Abwasser	5
2.1.3 Klassifikation von Abwasserinhaltsstoffen	6
2.2 Biologische Prozesse	7
2.2.1 Biologische Grundreaktionen	7
2.2.2 Aufnahme von Nährstoffen und ihre Verarbeitung in der Zelle	8
2.2.3 Kinetik der Stoffwechselfvorgänge	9
2.2.4 Reaktionsketten	10
2.2.5 Natürliche Selbstreinigung als Beispiel eines biologischen Reaktionssystems	11
2.2.5.1 Vorgänge der aeroben Selbstreinigung	12
2.2.5.2 Sauerstoffverbrauchslinie	13
2.2.5.3 Biochemischer Sauerstoffverbrauch (BSB)	13
2.2.5.4 Vorgänge der anaeroben Selbstreinigung	14
2.3 Abwasseranalyse	15
2.3.1 Erfassung des Nährstoffcharakters von Abwasser	15
2.3.1.1 Biochemischer Sauerstoffverbrauch (BSB)	15
2.3.1.2 Chemische Untersuchungsmethoden	16
2.3.2 Analyse unbekannter Abwassergemische sowie unbekannter organischer Substanzen	16
2.3.2.1 Beurteilung unbekannter Abwassergemische	17
2.3.2.2 Beurteilung der Abbaubarkeit unbekannter (neuer) organischer Substanzen	17
2.4 Verfahren zur biologischen Behandlung von Abwässern	17
2.4.1 Einleitung von Abwässern in stehende und fließende natürliche Gewässer	18
2.4.2 Landwirtschaftliche Abwasserwertung	18
2.4.3 Fischteichverfahren	19
2.4.4 Belebungsverfahren	21
2.4.5 Tropfkörperverfahren	23
2.4.6 Anaerobe Verfahren	25
2.4.7 Anaerobe Abwasserbehandlung	25
2.5 Verfahrenssysteme	26
2.5.1 Integration physikalischer und biotechnologischer Elemente	26
2.5.2 Systeme zur Nitrifikation und Denitrifikation	26
2.5.3 Elimination von Phosphor	27
2.5.4 Kombination aerober mit anaeroben Technologien	27
2.5.5 Kombination technischer mit halbertechnischen oder natürlichen Verfahren	27

2.6	Zusammenfassung	27
	Literatur zu Kapitel 2	28
3	Naturnahe Abwasserbehandlungsverfahren	29
3.1	Landbehandlung von Abwasser	29
3.1.1	Einführung	29
3.1.2	Naturwissenschaftliche Grundlagen	32
3.1.2.1	Reaktionsmechanismen	32
3.1.2.1.1	Geochemische Reaktionen	32
3.1.2.1.2	Physikalische Prozesse	33
3.1.2.1.3	Biochemische Prozesse	34
3.1.2.2	Biologische Zusammenhänge	36
3.1.2.2.1	Boden	36
3.1.2.2.2	Mikroorganismen	36
3.1.2.2.3	Pflanzen	37
3.1.3	Anwendungsbereiche und Ziele	37
3.1.4	Hinweise	39
3.1.4.1	Anforderungen an den Standort und das zu behandelnde Abwasser	39
3.1.4.2	Reinigungsleistung während der Bodenpassage	40
3.1.4.2.1	Beschickung mit mechanisch gereinigtem Abwasser	40
3.1.4.2.2	Beschickung mit weitgehend gereinigtem Abwasser	42
3.1.4.3	Gewässer- und Grundwasserschutz	43
3.1.4.4	Hygienische Aspekte und Immissionsschutz	44
3.1.5	Planung, Bau und Betrieb	45
3.1.5.1	Verrieselung	47
3.1.5.2	Bodenfilter	47
3.1.5.3	Verregnung	48
3.2	Abwasserbehandlung mit Pflanzenbeeten	48
3.2.1	Definition	48
3.2.2	Übersicht über Kläranlagen mit Pflanzenbeeten in Europa	49
3.2.3	Einsatzbereich und Anforderungen an die Reinigungsleistung	49
3.2.4	Naturwissenschaftliche Grundlagen	50
3.2.4.1	Wirkungsmechanismen	50
3.2.4.2	Bedeutung der Bakterien und höheren Mikroorganismen für die Reinigung	50
3.2.4.3	Einfluß des Bodenmaterials auf die Abwasserreinigung	52
3.2.4.4	Einfluß der Pflanzen auf die Abwasserreinigung	52
3.2.5	Pflanzenbeetsysteme	53
3.2.5.1	Entwicklung und Aufbau der Anlagen	53
3.2.5.1.1	Schilf-Binsen-Anlagen nach Seidel	54
3.2.5.1.2	Wurzelraumentsorgung nach Kickuth	54
3.2.5.1.3	Hydrobotanische Anlagen	55
3.2.5.2	Anlagen, eingeteilt nach der Durchströmung	55
3.2.5.2.1	Horizontalfilter	56
3.2.5.2.2	Vertikalfilter	56
3.2.6	Reinigungsleistung von Pflanzenbeeten als biologische Hauptreinigungsstufe	57
3.2.7	Bemessung, Bau und Betrieb	58
3.2.7.1	Voraussetzungen für Einsatz und Planung	58
3.2.7.2	Grundlagen für Bemessung und Konstruktion	58
3.2.7.2.1	Horizontal durchströmte Pflanzenbeete	59
3.2.7.2.2	Vertikal durchströmte Pflanzenbeete	59
3.2.7.3	Empfehlungen für den Betrieb von Pflanzenbeeten	60
3.3	Abwasserteichanlagen	60
3.3.1	Einführung	60

3.3.2	Naturwissenschaftliche Grundlagen	61
3.3.2.1	Durchlaufverfahren	64
3.3.2.2	Stapelverfahren	65
3.3.3	Abwasserteichanlagen für kommunales Abwasser	67
3.3.3.1	Begriffe, Einsatzbereich	67
3.3.3.2	Anforderungen an den Ablauf und die Eigenüberwachung	68
3.3.3.3	Hinweise	68
3.3.3.3.1	Grundwerte für die Bemessung	68
3.3.3.3.2	Behandlung von Regenwasser	69
3.3.3.3.3	Grundsätze für die Gestaltung von Abwasserteichen	71
3.3.3.3.4	Abdichtung der Teiche	75
3.3.3.3.5	Maßnahmen gegen Wasserlinsen und Algen im Ablauf	76
3.3.3.3.6	Phosphorelimination durch chemische Fällung	77
3.3.3.4	Erfahrungen mit Absetzteichen	77
3.3.3.5	Erfahrungen mit unbelüfteten Abwasserteichanlagen	79
3.3.3.6	Erfahrungen mit belüfteten Abwasserteichanlagen	84
3.3.3.7	Erfahrungen mit Abwasserteichanlagen und zwischen geschalteten Tropf- oder Tauchkörpern	89
3.3.3.8	Kosten	93
3.3.3.8.1	Investitionskosten	93
3.3.3.8.2	Betriebskosten	94
3.3.4	Abwasserteichanlagen für Industrieabwässer	97
3.3.4.1	Begriffe, Einsatzbereich	97
3.3.4.2	Belüftete Abwasserteichanlagen im Durchlaufverfahren	97
3.3.4.3	Unbelüftete und belüftete Stapelteiche	98
3.3.4.4	Nachbehandlung in belüfteten Abwasserteichanlagen	99
3.3.5	Schönungsteiche zur Nachbehandlung	99
3.3.5.1	Begriffe, Einsatzbereich	99
3.3.5.2	Wirkungsmechanismen	100
3.3.5.3	Bemessungs- und Gestaltungsgrundsätze	100
3.3.5.4	Reinigungsleistung	101
3.3.5.5	Wartung und Betrieb	103
3.4	Abwasserfischeiche	104
3.4.1	Allgemeines	104
3.4.2	Anforderungen an das Abwasser und Frischwasser	104
3.4.3	Bemessung und Gestaltung der Teiche	105
3.4.4	Betrieb	105
3.4.5	Biologie	106
3.4.6	Sonstige Gesichtspunkte	106
3.4.7	Die Münchner Abwasserfischeiche	107
3.4.7.1	Vorgeschichte	107
3.4.7.2	Heutiger Betrieb	107
3.4.7.2.1	Anlagen	107
3.4.7.2.2	Wasserwirtschaftlicher Betrieb	108
3.4.7.2.3	Verlauf der Abwasserreinigung	108
3.4.7.2.4	Fischereilicher Betrieb	109
3.4.7.2.5	Fischereilicher Ertrag	110
	Literatur zu Kapitel 3	110
4	Tropfkörper, Tauchkörper, Anlagen mit getauchtem Festbett und Biofilter	119
4.1	Allgemeine Übersicht	119
4.1.1	Verfahrensgrundlagen	119
4.1.2	Biologische Grundlagen	120

4.2	Entwicklung der Verfahren	122
4.2.1	Tropfkörper	122
4.2.2	Rotationstauchkörper	122
4.2.3	Getauchte Festbetten	123
4.3	Verfahrenstechnik von Tropfkörperanlagen	124
4.3.1	Belastung	124
4.3.1.1	<i>BSB₅</i> - und <i>CSB</i> -Elimination	124
4.3.1.1.1	<i>BSB₅</i> -Elimination	124
4.3.1.1.2	<i>CSB</i> -Elimination	125
4.3.1.2	Stickstoffelimination	125
4.3.1.2.1	Nitrifikation	125
4.3.1.2.2	Denitrifikation	128
4.3.1.3	Verringerung weiterer Inhaltsstoffe	132
4.3.1.3.1	Phosphor	132
4.3.1.3.2	Schwebstoffe und Keimzellen	132
4.3.1.3.3	Detergentien	132
4.3.1.3.4	NE-Metalle und organische Schadstoffe	132
4.3.2	Hydraulische Einflüsse	133
4.3.2.1	Kontaktzeit und Spülwirkung	133
4.3.2.2	Beschickungshäufigkeit	134
4.3.2.3	Rückpumpen	136
4.3.2.4	Tropfkörperhöhe und -durchmesser	137
4.3.2.4.1	Tropfkörperhöhe	137
4.3.2.4.2	Tropfkörper-Durchmesser	138
4.3.3	Einfluß der Abwasserbeschaffenheit	138
4.3.3.1	Konzentration	138
4.3.3.2	Belastungsänderungen	139
4.3.3.3	Vorklärung	139
4.3.3.4	Gewerbliche Abwässer	140
4.3.3.4.1	Nährstoffe	140
4.3.3.4.2	pH-Wert	140
4.3.3.4.3	Beeinträchtigungen durch Abwasserinhaltsstoffe	140
4.3.3.4.4	Reinigung verschiedener gewerblicher Abwässer	141
4.3.4	Temperatur und Belüftung	142
4.3.4.1	Wärmehaushalt im Tropfkörper	142
4.3.4.2	Einfluß der Temperatur auf die Reinigungsleistung	143
4.3.4.3	Belüftung und Sauerstoffversorgung	144
4.4	Bemessung von Tropfkörperanlagen	145
4.4.1	Allgemeines	145
4.4.2	Bemessung nach dem ATV-Arbeitsblatt A 135	145
4.4.2.1	Voraussetzungen und Ablaufbeschaffenheit	145
4.4.2.2	Bemessungsgrößen und Berechnungsweg	147
4.4.2.3	Abwasserreinigung ohne Nitrifikation	148
4.4.2.4	Abwasserreinigung mit Nitrifikation	149
4.4.3	Bemessung zur Nitrifikation nach Wolf	149
4.4.4	Denitrifikation bei Tropfkörperanlagen	151
4.4.5	Überschußschlamm	154
4.4.6	Abtrennung des Überschussschlammes	154
4.4.6.1	Nachklärbecken	154
4.4.6.2	Mikrosiebe und Tuchfilter	155
4.4.7	Phosphorelimination bei Tropfkörperanlagen	156
4.4.8	Andere Bemessungsaufgaben und -wege	157
4.5	Entwurf, Bau und Ausrüstung von Tropfkörpern	158

4.5.1	Höhenlage der Tropfkörper in der Kläranlage	158
4.5.2	Füllstoffe	159
4.5.2.1	Mineralische Füllstoffe	160
4.5.2.2	Füllstoffe aus Kunststoff	160
4.5.2.3	Umrüstung von mineralischen Füllstoffen auf Kunststoff-Füllstoffe	161
4.5.3	Konstruktive Hinweise	162
4.5.3.1	Tropfkörpertasse	162
4.5.3.2	Tragrost	162
4.5.3.3	Lüftungsöffnungen	163
4.5.3.4	Tropfkörperwände	164
4.5.3.5	Mittelbauwerk bzw. Drehsprengerbrücke	165
4.5.3.6	Geschlossener Tropfkörper	166
4.5.3.7	Treppe	168
4.5.4	Umbau von Tropfkörpern zur Denitrifikation, Betriebsverhalten und Sicherheitsvorkehrungen	168
4.5.5	Maschinelle Einrichtungen	169
4.5.5.1	Beschickungseinrichtungen	169
4.5.5.1.1	Heberbeschickung	169
4.5.5.1.2	Tropfkörperpumpwerke	169
4.5.5.2	Abwasserverteilung über der Tropfkörper-Oberfläche	170
4.5.5.2.1	Drehsprenger	170
4.5.5.2.2	Düsen	172
4.5.5.3	Einrichtungen zur Probenahme	172
4.5.5.4	Einrichtungen zur Gewichtsmessung	173
4.6	Betrieb und Kosten von Tropfkörperanlagen	173
4.6.1	Inbetriebnahme, Einarbeiten	173
4.6.2	Normalbetrieb	174
4.6.2.1	Betriebsüberwachung	174
4.6.2.2	Wartung und Reinigung	176
4.6.2.3	Betriebliche Beeinflussung der Reinigungsleistung	177
4.6.2.4	Phosphatfällung	177
4.6.2.5	Abwasseruntersuchungen	178
4.6.3	Außergewöhnliche Betriebszustände	178
4.6.3.1	Betriebsunterbrechungen	178
4.6.3.2	Verstopfung, Pfützenbildung	179
4.6.3.3	Gerüche	179
4.6.3.4	Würmer	180
4.6.3.5	Tropfkörperfliegen und Schnecken	181
4.6.3.6	Eisbildung	182
4.6.4	Betriebssicherheit	182
4.6.5	Kosten des Tropfkörperverfahrens	182
4.6.5.1	Baukosten	182
4.6.5.2	Betriebskosten	183
4.7	Rotationstauchkörper	183
4.7.1	Verfahrenstechnische Grundlagen	183
4.7.2	Beschreibung des Verfahrens	184
4.7.2.1	Scheibentauchkörper	186
4.7.2.2	Walzentauchkörper	187
4.7.3	Bemessung von Rotationstauchkörperanlagen	187
4.7.3.1	Allgemeines	187
4.7.3.2	Bemessungsgrößen und Berechnungsweg	188
4.7.3.2.1	Abwasserreinigung ohne Nitrifikation	189
4.7.3.2.2	Abwasserreinigung mit Nitrifikation	190

4.7.3.3	Denitrifikation mit Rotationstauchkörperanlagen	190
4.7.3.3.1	Vorgeschaltete Denitrifikation im vollständig überstauten Tauchkörper	191
4.7.3.3.2	Vorgeschaltete Denitrifikation im luftdicht abgedeckten Tauchkörper	191
4.7.3.4	Überschußschlamm	191
4.7.3.5	Abtrennung des Überschußschlammes	193
4.7.3.5.1	Nachklärbecken	193
4.7.3.5.2	Mikrosiebe und Tuchfilter	193
4.7.3.6	Phosphorelimination bei Rotationstauchkörperanlagen	196
4.7.3.7	Andere Bemessungsaufgaben und -wege	197
4.8	Anlagen mit getauchtem Festbett	197
4.8.1	Allgemeine Verfahrensbeschreibung	197
4.8.2	Biofilm des getauchten Festbetts	200
4.8.3	Einsatzmöglichkeiten, Betriebswerte und Hinweise zur Bemessung	202
4.8.3.1	Einsatzmöglichkeiten	202
4.8.3.2	Betriebswerte bestehender Anlagen	203
4.8.3.3	Hinweise zur Bemessung	207
4.8.4	Entwurf, Bau und Ausführung getauchter Festbettanlagen	212
4.9	Biofilter	213
4.9.1	Naturwissenschaftliche Grundlagen der Biofiltration	213
4.9.1.1	Entstehung von Biofilmen	213
4.9.1.2	Aufbau von Biofilmen	214
4.9.1.2.1	Physikalisch-chemische Eigenschaften	214
4.9.1.2.2	Biologische Eigenschaften	214
4.9.1.2.3	Vorteile für Mikroorganismen in Biofilmen	216
4.9.2	Systematisierung und Beschreibung der derzeit bekannten Biofiltersysteme und Verfahrenskombinationen	216
4.9.2.1	Definition und Einsatzmöglichkeiten	216
4.9.2.2	Bauarten und Betriebsweisen von Biofiltern	217
4.9.2.2.1	Verwendete Trägermaterialien	218
4.9.2.2.2	Rückspültechnik	219
4.9.2.2.3	Sauerstoffversorgung	219
4.9.2.2.4	Besonderheiten bei der Denitrifikation	220
4.9.2.2.5	Regelungstechnik	220
4.9.2.2.6	Vorklärung / Vorbehandlung	221
4.9.2.3	Verfahren	221
4.9.2.4	Verfahrenskombinationen	222
4.9.2.4.1	Verfahrensvarianten der Biofiltration als biologische Hauptstufe	224
4.9.2.4.2	Kombinierte Verfahrensweisen mit Biofiltration als Nachreinigungsstufe	224
4.9.3	Bemessungshinweise	224
4.9.3.1	Filtergeschwindigkeit	226
4.9.3.2	Biologische Umsatzleistung	226
4.9.3.3	Belüftung	227
4.9.3.4	Feststoff-Rückhalt	229
4.9.3.5	Rückspülungen	230
4.9.4	Praxisbeispiele ausgeführter Anlagen	230
4.9.4.1	Kläranlage Cloppenburg	230
4.9.4.2	Klärwerk Köln-Stammheim	233
4.9.4.3	Kläranlage Bougy-Fechy-Perroy, Schweiz	234
4.9.4.4	Kläranlage Nyborg, Dänemark	238
4.9.4.5	Großtechnische Versuche zur nachgeschalteten Denitrifikation im Sandfilter des Klärwerkes München, Gut Marienhof	240
4.9.5	Bewertungskriterien	243
	Literatur zu Kapitel 4	245

5	Belebungsverfahren	257
5.1	Entwicklung des Belebungsverfahrens	257
5.1.1	Allgemeine Grundlagen	257
5.1.2	Entwicklungsgeschichte	258
5.1.2.1	Einfache Belüftung	258
5.1.2.2	Die Erfindung des Belebungsverfahrens	259
5.1.2.3	Verfahren für den Abbau organischer Kohlenstoffverbindungen	261
5.1.2.4	Verteilte Sauerstoff- und Abwasserzuführung	262
5.1.2.5	Verfahren mit aerober Schlammstabilisierung	263
5.1.2.6	Verfahren zur Stickstoffelimination	264
5.1.2.7	Verfahren zur Phosphorelimination	264
5.1.2.8	Belebungsverfahren im Aufstaubetrieb	266
5.1.2.9	Selektor	266
5.1.2.10	Zweistufige Belebungsanlagen	266
5.1.2.11	Sonderverfahren und Betriebsweisen	267
5.1.2.12	Entspannungsflotation oder Membranverfahren zur Abtrennung des belebten Schlammes	268
5.2	Verfahrenstechnische und mikrobiologische Grundlagen	269
5.2.1	Durchmischungsverhalten verschiedener Beckenarten	269
5.2.1.1	Übersicht	269
5.2.1.2	Mischbecken und Mischbeckenkaskaden	270
5.2.1.3	Pfropfen- bzw. Rohrströmung	271
5.2.1.4	Umlaufbecken und Schlaufenreaktoren	272
5.2.1.5	Folgerungen für die Praxis der Abwasserreinigung	272
5.2.2	Mikrobiologische Grundlagen	273
5.2.2.1	Grundlagen zum Zellstoffwechsel	273
5.2.2.2	Bau- und Energiestoffwechsel unter verschiedenen Substrat- und Milieubedingungen	275
5.2.2.3	Wachstumskinetik	278
5.2.2.4	Biozönose des belebten Schlammes	280
5.2.3	Einflußfaktoren bei der Entfernung der Kohlenstoffverbindungen	282
5.2.3.1	Einfluß der Belüftungszeit auf den Reinigungsverlauf	282
5.2.3.2	Einfluß von Belüftungszeit und Schlamm Trockensubstanz auf den Reinigungsverlauf	287
5.2.3.3	Einfluß der BSB_5 -Raumbelastung	290
5.2.3.4	Einfluß der Schlammbelastung	291
5.2.3.5	Einfluß des Schlammalters	293
5.2.4	Einflußfaktoren bei der Nitrifikation	296
5.2.4.1	Grundlagen	296
5.2.4.2	Wachstum der Nitrifikanten	297
5.2.4.3	Einfluß der Umweltbedingungen (pH, O_2)	298
5.2.4.4	Erforderliches Schlammalter für die Nitrifikation	299
5.2.5	Einflußfaktoren bei der Denitrifikation	300
5.2.5.1	Grundlagen	300
5.2.5.2	Verfahren und Betriebsweisen zur Nitrifikation / Denitrifikation	301
5.2.5.3	Berechnungen zur Denitrifikationskapazität	303
5.2.5.4	Technische Anforderungen und Prozeßregelung	304
5.2.5.5	Maßnahmen zur Verbesserung der Denitrifikation	313
5.2.6	Einflußfaktoren bei der biologischen Phosphatelimination	313
5.2.6.1	Einführung	313
5.2.6.2	Einflüsse auf die biologische Phosphatelimination	313
5.2.6.3	Verfahren und Betriebsweisen zur biologischen Phosphatelimination	315
5.2.6.4	Vorversäuerung zur Produktion organischer Säuren	316

5.2.6.5	Kombination der biologischen Phosphatelimination mit Simultanfällung	317
5.2.7	Beschaffenheit des belebten Schlammes	318
5.2.7.1	Physikalische, chemische und biochemische Eigenschaften	318
5.2.7.2	Blähschlamm	320
5.2.7.3	Schaum und Schwimmschlamm	324
5.2.8	Schlammproduktion und Sauerstoffbedarf	325
5.2.8.1	Grundsätzliche Zusammenhänge (CSB-Bilanz)	325
5.2.8.2	Schlammproduktion und Schlammalter	326
5.2.8.3	Sauerstoffverbrauch	331
5.2.9	Sauerstoffgehalt und Sauerstoffzufuhr	336
5.2.9.1	Grundsätzliche Zusammenhänge	336
5.2.9.1.1	Sauerstoffgehalt	336
5.2.9.1.2	Saurestoffsättigungswert	337
5.2.9.1.3	Sauerstoffzufuhr, Belüftungskoeffizient	338
5.2.9.2	Messung des Sauerstoffverbrauchs	340
5.2.9.2.1	Atmungsmessungen mit Sauerstoffelektroden	340
5.2.9.2.2	Kontinuierliche Sauerstoffverbrauchsmessung	342
5.2.9.2.3	Abluftmessung	343
5.2.9.3	Messung der Sauerstoffzufuhr	344
5.2.9.4	Zusammenhang Sauerstoffzufuhr, Sauerstoffverbrauch und Sauerstoffgehalt	347
5.2.10	Rücklaufverhältnis	347
5.2.11	Säurekapazität und pH-Wert	348
5.3	Varianten des Belebungsverfahrens	351
5.3.1	Bauformen von Belebungsverfahren	351
5.3.1.1	Parallele Einheiten	351
5.3.1.2	Verteilungssysteme	351
5.3.1.3	Bauformen von Belüftungsbecken	352
5.3.1.3.1	Mit Druckluftbelüftung	352
5.3.1.3.2	Mit Ejektorbelüftung	354
5.3.1.3.3	Mit Oberflächenbelüftung	354
5.3.1.3.4	Sonderbauformen	354
5.3.1.4	Bauformen von Mischbecken	354
5.3.2	Beispiele ausgeführter Anlagen	355
5.3.2.1	Anlagen nur zur Kohlenstoffelimination	355
5.3.2.2	Anlagen mit vorgeschalteter Denitrifikation	356
5.3.2.3	Anlagen mit Kaskadendenitrifikation	359
5.3.2.4	Anlagen mit simultaner Denitrifikation	362
5.3.2.5	Anlagen mit intermittierender Denitrifikation	363
5.3.2.6	Anlagen mit nachgeschalteter Denitrifikation	364
5.3.3	Belebungsverfahren mit Aufstaubetrieb	365
5.3.3.1	Verfahrensbeschreibung	365
5.3.3.2	Betriebsweisen	366
5.3.3.3	Betriebliche Besonderheiten	366
5.3.3.4	Technische Besonderheiten	370
5.4	Belüftungssysteme und ihre konstruktive Ausbildung	371
5.4.1	Grundlagen	371
5.4.1.1	Aufgaben der Belüfter	371
5.4.1.2	Entwicklung der Belüftungstechnik	372
5.4.1.3	Berechnung der erforderlichen Sauerstoffzufuhr	372
5.4.1.4	Belüftungssysteme und Beckenformen	373
5.4.2	Feinblasige Druckluftbelüftung	373
5.4.2.1	Betriebstechnische Eigenschaften	373
5.4.2.2	Ausführungsarten feinblasiger Druckluftbelüftungssysteme	375

5.4.2.3	Einflußfaktoren auf die Sauerstoffzufuhr	377
5.4.2.4	Richtwerte für Sauerstoffzufuhr und -ertrag	381
5.4.3	Mittelblasige Belüftung	385
5.4.4	Grobblasige Belüftung	386
5.4.5	Sonderformen der Druckluftbelüftung	387
5.4.6	Walzenbelüftung	390
5.4.7	Kreiselbelüftung	393
5.4.8	Begasung mit Reinsauerstoff	398
5.4.8.1	Direkte Begasung mit Reinsauerstoff	398
5.4.8.2	Reinsauerstoff-Belebungsverfahren	400
5.4.9	Maschinelle und regeltechnische Einrichtungen	400
5.4.9.1	Druckluftherzeugung und -verteilung	400
5.4.9.2	Antriebe von Oberflächenbelüftern	405
5.4.9.3	Regelung der Belüftung	406
5.4.10	Zusammenfassung und Auswahlkriterien	407
5.5	Nachklärung	408
5.5.1	Bauformen von Nachklärbecken	408
5.5.2	Zusammenwirken von Belebungsbecken und Nachklärbecken	409
5.5.3	Bemessung von Nachklärbecken	411
5.5.3.1	Beckenoberfläche	411
5.5.3.2	Beckentiefe	411
5.5.3.3	Schlammräumer	412
5.6	Bemessung und Modellierung von Belebungsanlagen	412
5.6.1	Bemessungsvorgang	412
5.6.2	Bemessungsgrundlagen	414
5.6.3	Bemessung des Belebungsbeckens	416
5.6.3.1	Abwasserreinigung ohne Nitrifikation	417
5.6.3.2	Abwasserreinigung mit Nitrifikation	418
5.6.3.3	Abwasserreinigung mit Stickstoffelimination	418
5.6.3.4	Abwasserreinigung mit Schlammstabilisierung	419
5.6.4	Bemessungsgrößen für die Phosphatelimination	420
5.6.5	Bemessungsgrößen für die Schlammproduktion	421
5.6.6	Bemessungsgrößen für den Rücklaufschlamm	421
5.6.7	Bemessungsgrößen für die Anlagen zur Sauerstoffzufuhr	421
5.6.8	Prüfung der Säurekapazität	423
5.6.9	Bemessung von Aufstau-Belebungsanlagen	423
5.6.9.1	Grundsätzliches	423
5.6.9.2	Bestimmung des erforderlichen Schlammalters und des Volumens (V_{BB})	424
5.6.9.3	Volumen der Aufstaubecken	424
5.6.9.4	Volumenaustauschverhältnis	425
5.6.9.5	Technische Bedingungen für die Denitrifikation	426
5.6.9.6	Berechnung des Sauerstoffbedarfs und der Überschußschlammproduktion	427
5.6.9.7	Volumen eines Vorspeichers	428
5.6.10	Dynamische Simulation von Belebungsanlagen	428
5.6.10.1	Modelle für die Simulation	428
5.6.10.2	Charakterisierung des Abwassers	429
5.6.10.3	Modellinhalt und Rechnerprogramme	429
5.6.10.4	Ziele und Aufgaben der Simulation	430
5.6.10.5	Beispiele für Simulationen	431
5.7	Betrieb von Belebungsanlagen	434
5.7.1	Belastung der Belebungsanlage	434
5.7.2	Ablaufqualität	434
5.7.3	Schlammrockensubstanz	434

5.7.4	Prozeßinterne Probenahmen	434
	Literatur zu Kapitel 5	436
6	Kombination biologischer Reinigungsverfahren	447
6.1	Allgemeines	447
6.2	Zweistufige Anlagen zur Nitrifikation	447
6.3	Ertüchtigung der Stickstoffelimination	447
6.4	Organisch höher verschmutzte Abwässer	448
	Literatur zu Kapitel 6	448
7	Phosphatfällung	449
7.1	Wirkung, Herkunft und Menge des Phosphors im Abwasser	449
7.1.1	Auswirkungen von Phosphor auf die Umwelt	449
7.1.2	Phosphoreintrag in Gewässer	449
7.1.3	Spezifischer Phosphoranfall und Phosphorkonzentration im kommunalen Abwasser	449
7.2	Grundlagen der chemischen Fällung	451
7.2.1	Chemische Grundlagen	451
7.2.2	Physikalische Grundlagen	452
7.2.3	Verfahrenstechnische Grundlagen	452
7.3	Fällmittel	453
7.3.1	Fällmittelarten	453
7.3.2	Wirkungsweise der Fällmittel	453
7.3.2.1	Metallhaltige Fällmittel	453
7.3.2.2	Kalzium und Laugen	453
7.3.2.3	Nebenreaktionen	456
7.3.2.4	Schadstoffe in den Fällmitteln	456
7.3.3	Fällmittelmengen	457
7.3.4	Einfluß auf den Schlamm	458
7.4	Technische Umsetzung der Fällung/Flockung	459
7.4.1	Verfahren	459
7.4.1.1	Vorfällung	459
7.4.1.2	Simultanfällung	459
7.4.1.3	Nachfällung	460
7.4.1.4	Zweipunktfällung	460
7.4.2	Fällmittelaufbereitung und Dosierung	461
7.4.2.1	Flüssige Fällmittel	462
7.4.2.2	Granulierte Fällmittel	462
7.4.2.3	Pulverförmige Fällmittel	463
7.4.2.4	Feuchtsalze	463
7.4.2.5	Regelung und Steuerung der Dosierung	463
7.4.3	Leistungsfähigkeit	465
7.4.4	Kosten und Wirtschaftlichkeit	465
7.4.4.1	Investitionskosten	465
7.4.4.2	Betriebskosten	465
7.4.4.3	Wirtschaftlichkeit	466
	Literatur zu Kapitel 7	466
8	Entfernung von Reststoffen nach biologischer Reinigung	467
8.1	Aufgabenstellung für die Abwasserfiltration	467
8.2	Abgrenzung zur Festbettechnologie	468
8.3	Verfahren der Filtration	468
8.3.1	Raumfiltration	468

8.3.1.1	Grundlagen der Raumfiltration	468
8.3.1.2	Verfahren der Raumfiltration	469
8.3.2	Flächenfiltration	474
8.3.3	Tuchfiltration	477
8.3.3.1	Grundlagen	477
8.3.3.2	Verfahren der Tuchfiltration	477
8.3.4	Mikrosiebung	478
8.3.4.1	Grundlagen	478
8.3.4.2	Verfahren der Mikrosiebung	479
8.4	Wirkungsbereiche und Leistung	480
8.4.1	Raumfilter	480
8.4.2	Flächenfilter	482
8.4.3	Tuchfilter	482
8.4.4	Mikrosiebe	483
8.5	Bemessung	485
8.5.1	Raumfiltration	485
8.5.2	Flächenfiltration	487
8.5.3	Tuchfiltration	487
8.5.4	Mikrosiebung	488
8.6	Planung und Bau	488
8.7	Betrieb	491
8.8	Weitergehende Entnahme gelöster organischer Abwasserinhaltsstoffe durch Aktivkohleadsorption	493
8.8.1	Einordnung des Verfahrens in die kommunale Abwasserreinigung	493
8.8.2	Grundlagen	494
8.8.3	Anwendung von Kornkohle	495
8.8.4	Anwendung von Pulverkohle	496
8.8.5	Reaktivierung beladener Aktivkohle	497
	Literatur zu Kapitel 8	498
9	Desinfektion von Abwasser	499
9.1	Allgemeines	499
9.1.1	Infektionsgefahr durch Krankheitserreger in Abwasser	499
9.1.2	Gesetzliche Vorschriften und Empfehlungen für eine Desinfektion von (Roh-)Abwasser	501
9.1.3	Reduktion von Fäkalbakterien bei der Abwasserreinigung und bei der Selbstreinigung der Gewässer	502
9.1.4	Mikrobiologische Anforderungen bei der Gewässernutzung	504
9.2	Verfahren zur Desinfektion von Abwasser	505
9.2.1	Grundlagen und Begriffe	505
9.2.2	Thermische Verfahren zur Abwasserdesinfektion	508
9.2.2.1	Grundlagen und Einsatzgebiete	508
9.2.2.2	Konstruktion und Betrieb	509
9.2.2.3	Sicherheitseinrichtungen und Überwachung	512
9.2.2.4	Kosten	512
9.2.2.5	Vorschriften, Gesetze, Verordnungen (Auswahl)	513
9.2.3	Bestrahlung mit ultraviolettem Licht	513
9.2.3.1	Grundlagen und Einsatzgebiete	513
9.2.3.2	Konstruktion und Betrieb	517
9.2.3.3	Sicherheitsmaßnahmen und Überwachung	519
9.2.3.4	Kosten	520
9.2.3.5	Richtlinien, Vorschriften und Empfehlungen (Auswahl)	520
9.2.4	Behandlung mit Ozon	521

9.2.4.1	Grundlagen und Einsatzmöglichkeiten	521
9.2.4.2	Nebenwirkungen von Ozon	522
9.2.4.3	Erzeugung und Einsatz von Ozon	522
9.2.4.4	Umgang mit Ozon und Sicherheitsmaßnahmen	524
9.2.4.5	Kosten	525
9.2.4.6	Richtlinien, Vorschriften und Empfehlungen (Auswahl)	525
9.2.5	Behandlung mit Chlor und Chlordioxid	525
9.2.5.1	Grundlagen und Einsatzmöglichkeiten	525
9.2.5.2	Nebenwirkungen von Chlor und Chlorverbindungen	526
9.2.5.3	Einsatz von Chlor	527
9.2.5.4	Einsatz von Chlordioxid	528
9.2.5.5	Umgang mit Chlor und Sicherheitsmaßnahmen	528
9.2.5.6	Kosten	529
9.2.5.7	Richtlinien, Vorschriften und Merkblätter (Auswahl)	529
9.2.6	Entkeimung durch Mikrofiltration	530
9.2.6.1	Grundlagen	530
9.2.6.2	Konstruktion und Versuchsbetrieb	530
9.2.6.3	Kosten	531
9.2.6.4	Ausblick	531
9.2.7	Sonstige, selten angewandte Verfahren	532
9.2.7.1	Nicht chlorhaltige Oxidationsmittel	532
9.2.7.2	Laugen, Desinfektionsmittel-Präparate	533
9.2.7.3	Ionisierende Strahlen und anodische Oxidation	533
9.3	Desinfektion von Betriebswasser in Kläranlagen	534
9.4	Folgerungen für die Anwendung der Abwasserdesinfektion	534
	Literatur zu Kapitel 9	536
10	Radioaktive Abwässer	539
10.1	Radioaktive Stoffe	539
10.1.1	Eigenschaften radioaktiver Stoffe	539
10.1.1.1	Definition und Strahlenarten	539
10.1.1.2	Gesetz des radioaktiven Zerfalls	540
10.1.1.3	Begriff der Aktivität, Einheiten der Aktivität	540
10.1.1.4	Wechselwirkungen ionisierender Strahlen mit Materie	541
10.1.1.5	Radiologische Größen und ihre Maßeinheiten	541
10.1.2	Ionisierende Strahlen und Strahlenschutz	543
10.1.2.1	Grenzwerte	543
10.1.2.2	Minimierungsprinzip im Strahlenschutz	546
10.1.3	Vorkommen und Herkunft radioaktiver Stoffe	547
10.1.3.1	Natürlich radioaktive Stoffe	547
10.1.3.2	Künstlich radioaktive Stoffe	548
10.2	Vorschriften und Regeln für die Kontrolle und Ableitung radioaktiver Abwässer	549
10.2.1	Kerntechnische Anlagen	549
10.2.2	Isotopenanwender	551
10.3	Erfahrungswerte für Radionuklidabgaben und Strahlenexposition	553
10.3.1	Kernkraftwerke	553
10.3.2	Brennelementehersteller	559
10.3.3	Wiederaufbereitungsanlagen	560
10.3.4	Reaktorunfall von Tschernobyl	560
10.3.5	Isotopenanwender	560
10.4	Behandlung radioaktiv kontaminierter Wässer	563
10.4.1	Sammlung	564
10.4.2	Dekontamination	565

10.4.2.1	Abklingverfahren	566
10.4.2.2	Flockung und Fällung	567
10.4.2.3	Filtration	568
10.4.2.4	Ionenaustausch	569
10.4.2.5	Elektromagnetfilter	569
10.4.2.6	Verdampfung (Destillation)	570
10.5	Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt	570
	Literatur zu Kapitel 10	572
11	Kläranlagen für kleine Gemeinden, Ortschaften und Siedlungen	575
11.1	Geltungsbereich; Stand der Abwasserbehandlung	575
11.2	Entwicklung der Abwasserreinigungsverfahren	576
11.3	Abwasseranfall und -beschaffenheit	578
11.3.1	Allgemeines	578
11.3.2	Abwasseranfall	579
11.3.3	Abwasserbeschaffenheit	580
11.4	Anforderungen, Normen und Richtlinien	581
11.4.1	Allgemeine Anforderungen	581
11.4.2	Gesetzliche Mindestanforderungen	581
11.4.3	Normen und Richtlinien	582
11.5	Dezentrale oder zentrale Abwasserentsorgung	584
11.6	Systemwahl	584
11.6.1	Technische Kläranlagen	585
11.6.2	Abwasserreinigung in Teichanlagen oder in Pflanzenbeeten	586
11.7	Technische Kläranlagen	586
11.7.1	Regenwasserbehandlung	586
11.7.1.1	Allgemeines	586
11.7.1.2	Notwendigkeit und Möglichkeit der Regenwasserbehandlung	587
11.7.2	Mechanische Vorbehandlung	587
11.7.2.1	Bedeutung bei kleinen Kläranlagen	587
11.7.2.2	Rechen/Siebe	588
11.7.2.3	Sandfang	588
11.7.2.4	Vorklärung	589
11.7.2.5	Mechanische Vorbehandlung vor Belebungsbecken	589
11.7.2.6	Mechanische Vorbehandlung vor Tropf- und Tauchkörpern	590
11.7.3	Belebungsanlagen mit gemeinsamer Schlammstabilisierung	590
11.7.3.1	Hinweise zum Verfahren	590
11.7.3.2	Belebungsstufe	591
11.7.3.3	Nachklärung	591
11.7.3.4	Überschußschlamm	592
11.7.4	Tropfkörper und Tauchkörper	593
11.7.4.1	Tropfkörper	593
11.7.4.2	Tauchkörper	593
11.7.4.3	Nachklärung	594
11.7.5	Zusatzbehandlung durch Fällung und Flockung	594
11.8	Bewertung der Abwasserreinigungsverfahren	595
11.9	Betriebliche Besonderheiten kleiner Kläranlagen	595
11.9.1	Grundsätze	595
11.9.2	Bedeutung des Kläranlagenpersonals	595
11.9.3	Wartung und Unterhaltung	600
11.9.4	Eigenkontrolle	600
11.9.5	Hilfen für das Klärwerkspersonal	600
11.9.5.1	Klärwärterfortbildung	600

11.9.5.2	Nachbarschaftliche Zusammenarbeit	601
	Literatur zu Kapitel 11	601
12	Kleinkläranlagen	603
12.1	Begriffe, Einsatzbereich	603
12.2	Dezentrale Abwasserbehandlung	603
12.3	Grundlagen der Bemessung	604
12.4	Kleinkläranlagen ohne Abwasserbelüftung	605
12.4.1	Behandlung und Ableitung	605
12.4.2	Mehrkammer-Absetzgruben	605
12.4.3	Mehrkammer-Ausfualgruben	605
12.4.4	Filtergräben	606
12.4.5	Sonstige Nachbehandlung	607
12.4.6	Untergrundverrieselung	608
12.4.7	Sickerschächte	608
12.4.8	Kennzeichnung, Übereinstimmungsnachweis	609
12.5	Kleinkläranlagen mit Abwasserbelüftung	609
12.5.1	Behandlungsmethoden	610
12.5.2	Belebungsanlagen	611
12.5.3	Tropfkörperanlagen	611
12.5.4	Tauchkörperanlagen	613
12.5.5	Schlammspeicher	614
12.5.6	Prüfzeichen, Zulassung	614
12.6	Betrieb und Wartung	615
12.7	Praktischer Einsatz	616
12.8	Fäkalschlammbeseitigung	617
12.8.1	Vorbetrachtung	617
12.8.2	Schlammanfall	617
12.8.3	Beseitigungswege	617
12.8.4	Mitbehandlung in kommunalen Kläranlagen	618
	Literatur zu Kapitel 12	620
13	Betrieb biologischer und chemisch-biologischer Kläranlagen	621
13.1	Organisation	621
13.1.1	Betriebsformen für die kommunale Abwasserentsorgung	622
13.1.1.1	Öffentlich rechtliche Betriebsformen	622
13.1.1.2	Privatrechtliche Betriebsformen	622
13.1.2	Grundsätze der Betriebsführung	622
13.1.2.1	Allgemeines	622
13.1.2.2	Beispiele für die Betriebsorganisation	623
13.1.2.3	Personaleinsatz	623
13.1.3	Pflichten des Unternehmers	625
13.1.4	Pflichten des Anlagenbetreibers	625
13.1.5	Pflichten des Verantwortlichen	625
13.2	Inbetriebnahme	626
13.2.1	Allgemeines	626
13.2.2	Voraussetzungen zur Inbetriebnahme	627
13.2.2.1	Abschluß der Baumaßnahmen	627
13.2.2.2	Überprüfen der Einrichtungen	627
13.2.2.3	Rechtliche, vertragliche und finanzielle Vorkehrungen	628
13.2.2.4	Zuführen der Abwässer	628
13.2.3	Inbetriebnahme der Kläranlage	628
13.2.3.1	Absetzbecken	628

13.2.3.2	Tropfkörper	629
13.2.3.3	Belebungsbecken	629
13.2.3.4	Faulbehälter	630
13.2.3.5	Gasbehälter	630
13.2.3.6	Maschinen, elektrische und meßtechnische Einrichtungen	630
13.3	Betriebsführung und Überwachung	631
13.3.1	Anlagenbetrieb einzelner Behandlungsstufen	631
13.3.1.1	Einlauf-, Auslauf-, Entlastungs- und Verteilerbauwerke	631
13.3.1.2	Regenbecken	631
13.3.1.3	Puffer- und Ausgleichsbecken	631
13.3.1.4	Zulaufpumpwerke und Hebewerke	631
13.3.1.5	Rechen- und Siebanlagen	631
13.3.1.6	Sandfänge	632
13.3.1.7	Fett- und Schwimmstofffang/ Fett- und Ölabscheider	632
13.3.1.8	Meßeinrichtungen	632
13.3.1.9	Vorklärbecken	632
13.3.1.10	Belebungsbecken	633
13.3.1.11	Tropfkörper	634
13.3.1.12	Weitere Festbettreaktoren	635
13.3.1.13	Anlagen zur chemischen Behandlung	635
13.3.1.14	Nachklärbecken	635
13.3.1.15	Teiche	636
13.3.1.16	Abwasserfilteranlagen	636
13.3.1.17	Meßstationen im Zu- und Ablauf	637
13.3.1.18	Statische und maschinelle Schlammverdickung	637
13.3.1.19	Faulbehälter	637
13.3.1.20	Gasbehälter, Gasverwertung und zugehörige Einrichtungen	639
13.3.1.21	Aerobe Schlammstabilisierung	639
13.3.1.22	Maschinelle Schlammverwässerung	639
13.3.1.23	Schlamm Trocknung	640
13.3.1.24	Schlammentsorgung	640
13.3.1.25	Betriebsgebäude und Kläranlagengelände	641
13.3.1.26	Annahme von Fäkalien, Grubenhaltungen, Sonderabwässern und Fremdschlämmen	641
13.3.1.27	Hinweise zur Wirtschaftlichkeit und für den rationellen Energieeinsatz	642
13.3.2	Instandhaltung	643
13.3.2.1	Zielsetzungen der Instandhaltung	643
13.3.2.2	Begriffe und Maßnahmen	644
13.3.2.3	Organisation der Instandhaltung	644
13.3.2.4	Vorbeugende Instandhaltung und Personaleinsatz	645
13.3.2.5	Aufgaben des Planers zur Instandhaltung	646
13.3.2.6	Arbeitssicherheit in der Instandhaltung	647
13.3.2.7	Instandhaltung baulicher, maschineller und elektrischer Einrichtungen	648
13.3.2.7.1	Bauliche Instandhaltung	648
13.3.2.7.2	Instandhaltung und Prüfung von überwachungspflichtigen Einrichtungen	648
13.3.2.7.3	Instandhaltung sonstiger maschineller und elektrischer Einrichtungen	648
13.3.3	Betriebsdaten zur Prozeßführung	651
13.3.3.1	Allgemeines	651
13.3.3.2	Erfassung der Betriebsdaten	651
13.3.3.2.1	Kontinuierlich meßbare Betriebsdaten	652
13.3.3.2.2	Diskontinuierlich zu ermittelnde Betriebsdaten	658
13.3.3.3	Verarbeitung von Betriebsdaten	660
13.3.3.3.1	Dezentrale Datenverarbeitung zu Steuerungszwecken (Steuerebene)	661
13.3.3.3.2	Beobachten und Bedienen (Prozeßleitebene)	662

13.3.3.3.3	Dokumentation von Betriebswerten (Betriebsleitebene)	663
13.3.3.3.4	Weitergehende Auswertung von Betriebsdaten	664
13.3.3.4	Verwaltung und Sicherung von Betriebsdaten	664
13.3.4	Eigenüberwachung	666
13.3.4.1	Allgemeines	666
13.3.4.2	Kontrollen	666
13.3.4.3	Messungen, Ablesungen, Beobachtungen	667
13.3.4.4	Vorgeschriebene Untersuchungen	667
13.3.5	Amtliche Überwachung	668
13.3.5.1	Festhalten der Randbedingungen	668
13.3.5.2	Parallelproben	669
13.3.5.3	Besondere Betriebszustände	669
13.3.6	Kontrolle der Indirekteinleiter	669
13.3.6.1	Indirekteinleiterkataster	670
13.3.6.2	Überwachungsprogramme und -strategien	671
13.3.6.3	Bewertung der Untersuchungsergebnisse	671
13.3.6.4	Beratung der Indirekteinleiter	672
13.4	Besondere Betriebszustände	672
13.4.1	Allgemeine Hinweise	672
13.4.2	Unterbelastung	672
13.4.3	Überbelastung	672
13.4.4	Stoßbelastungen	673
13.4.5	Winterbetrieb	673
13.4.5.1	Rechenanlage	673
13.4.5.2	Sandfang	674
13.4.5.3	Absetzbecken	674
13.4.5.4	Tropfkörper	674
13.4.5.5	Belebungsbecken	674
13.4.5.6	Faulbehälter, Gasbehälter	674
13.4.5.7	Maschinen und Geräte	675
13.4.5.8	Rohrleitungen und Zubehör	675
13.4.5.9	Heizungsanlage	675
13.4.5.10	Chemikaliendosierung und -lagerung	675
13.4.5.11	Kläranlagengelände	676
13.4.6	Sommerbetrieb	676
13.4.7	Außerbetriebnahme von Anlagenteilen	676
13.4.8	Betriebsstörungen	677
13.4.8.1	Allgemeine Hinweise	677
13.4.8.2	Begriffe	677
13.4.8.3	Bewertungskriterien	677
13.4.8.4	Wahrscheinlichkeit und Ursachen	678
13.4.8.5	Auswirkungen auf den Vorfluter	678
13.4.8.6	Größenklassen	678
13.4.8.7	Sensibilität des Gewässers	678
13.4.8.8	Wertung von Betriebsstörungen	678
13.4.8.9	Vermeidung von Betriebsstörungen durch planerische Maßnahmen	678
13.4.8.10	Betriebliche Vorsorgemaßnahmen	680
13.4.8.11	Betriebsstörungen durch externe Ursachen	681
13.4.8.12	Betriebsstörungen durch interne Ursachen	682
13.4.8.12.1	Belebungsbecken	682
13.4.8.12.2	Tropfkörper	683
13.4.8.12.3	Beheizte Faulbehälter	683
13.4.9	Besondere Vorkommnisse	684

13.4.9.1	Fischsterben	684
13.4.9.2	Geräusche	684
13.4.9.3	Gerüche	685
13.4.9.4	Aerosole	686
13.5	Mikroskopische Untersuchung des belebten Schlammes oder Biofilms zur Unterstützung des Betriebes (Mikroskopisches Bild)	686
13.5.1	Mikroskopisches Bild	686
13.5.2	Einfluß des Abwasserreinigungsverfahrens auf die Zusammensetzung einer Biozönose	687
13.5.3	Morpho-psychologische Merkmale einiger, für die Abwasserreinigung wichtiger Mikroorganismengruppen und ihre Bewertung im Mikroskopischen Bild	690
13.5.3.1	Bakterien und Pilze	690
13.5.3.2	Geißeltierchen (Flagellaten)	691
13.5.3.3	Wechseltierchen (Amöben)	691
13.5.3.4	Wimpertierchen (Ciliaten)	692
13.5.4	Beispiel zur Bewertung des Betriebszustandes einer Kläranlage nach dem Mikroskopischen Bild	693
13.6	Arbeitsschutz in abwassertechnischen Anlagen	694
13.6.1	Arbeitssicherheit und arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren	694
13.6.2	Gefahren in abwassertechnischen Anlagen	694
13.6.2.1	Explosionsgefahr und explosionsfähige Gase und Dämpfe	695
13.6.2.2	Gefahren durch gesundheitsschädigende Atmosphäre und durch Sauerstoffmangel	696
13.6.2.3	Gesundheitsgefahren durch Kleinstlebewesen und Chemikalien im Abwasser	697
13.6.3	Generelle Anforderungen an Abwasseranlagen	697
13.6.3.1	Verkehrswege	697
13.6.3.2	Steigleitern, Steigeisengänge, Steigkästen	697
13.6.3.3	Zugangsschächte	697
13.6.3.4	Absturzsicherungen an Becken und Gerinnen	697
13.6.3.5	Abdeckungen	698
13.6.3.6	Notausstiege	698
13.6.3.7	Arbeitsplätze, Arbeitsbühnen und Wartungspodeste	698
13.6.3.8	Hebevorrichtungen	698
13.6.3.9	Lüftung	698
13.6.3.10	Explosionsschutz	699
13.6.3.11	Hygieneeinrichtungen	701
13.6.3.12	Maschinelle Anlagen	701
13.6.3.13	Elektrische Anlagen und Betriebsmittel	701
13.6.4	Spezielle Anforderungen an Abwasseranlagen	701
13.6.4.1	Anlagen zum Abscheiden von Feststoffen aus dem Abwasser	701
13.6.4.2	Abwasserpumpwerke	702
13.6.4.3	Absturzbauwerke, Ablaufleitungen, Düker	703
13.6.4.4	Belebungsbecken	703
13.6.4.5	Faulbehälter, Niederdruckgasbehälter, Faulgasleitungen	703
13.6.4.6	Gasmaschinenräume und Gasmaschinen	703
13.6.4.7	Gasfackeln	704
13.6.4.8	Schlammmentwässerungsanlagen	704
13.6.4.9	Anlagen zum Lagern, Mischen und Zugeben von Konditionierungs- und Flockungshilfsmitteln	704
13.6.4.10	Lagerung von Gefahrstoffen	704
13.6.5	Anforderungen an den Betrieb von Abwasseranlagen	704
13.6.5.1	Auswahl und Unterweisung der Mitarbeiter	704
13.6.5.2	Betriebsanweisung	705
13.6.5.3	Hygiene	705

13.6.5.4	Arbeiten an und auf dem Wasser	705
13.6.5.5	Erste Hilfe in abwassertechnischen Anlagen	705
13.6.5.6	Vorsorge- und Rettungsmaßnahmen beim Einsteigen in umschlossene Räume abwassertechnischer Anlagen	706
13.6.5.7	Inspektion	707
	Literatur zu Kapitel 13	709
14	Gemeinsame Behandlung von gewerblichen und industriellen Abwässern mit häuslichem Abwasser	713
14.1	Einleitung	713
14.2	Rechtsgrundlagen	714
14.2.1	Europäisches Recht	714
14.2.2	Bundesrecht	714
14.2.2.1	Begriff der gefährlichen Stoffe	716
14.2.2.2	Niveau der Technik	716
14.2.3	Landesrecht	716
14.2.3.1	Abwasserbeseitigungspflicht	716
14.2.3.2	Indirekteinleitungsverordnungen	717
14.2.3.3	Eigenkontroll-/Selbstüberwachungsverordnungen	717
14.2.4	Ortsrecht	717
14.2.5	Technische Regelwerke	718
14.3	Technische Voraussetzungen für eine gemeinsame Behandlung	719
14.3.1	Aus der Sicht des Betreibers der öffentlichen Abwasseranlage	719
14.3.1.1	Arbeitsschutz	719
14.3.1.2	Bauwerksschutz	719
14.3.1.3	Kanalbetrieb, Misch-/Trennkanalisation	719
14.3.1.4	Kläranlagenbetrieb	720
14.3.1.5	Schlammbehandlung und -verwertung	722
14.3.2	Aus der Sicht des Indirekteinleiters	724
14.3.2.1	Allgemeine Maßnahmen	725
14.3.2.2	Rechen- und Siebanlagen	725
14.3.2.3	Leichtstoffabscheidung	725
14.3.2.4	Emulsionsspaltung	725
14.3.2.5	Flockung und Fällung	726
14.3.2.6	Neutralisation	726
14.3.2.7	Oxidations- und Reduktionsverfahren	726
14.3.2.8	Ionenaustausch	727
14.3.2.9	Biologische Verfahren	728
14.3.2.10	Kühlwasser	728
14.3.2.11	Rahmenbedingungen der Einleitung	728
14.4	Auflagen und Bedingungen zur Indirekteinleitung	728
14.4.1	Gefährliche Stoffe	728
14.4.1.1	Metalle und Halbmetalle	729
14.4.1.2	Anionen	731
14.4.1.3	Organische Halogenverbindungen	732
14.4.1.4	Kohlenwasserstoffe, gesamt	733
14.4.2	Sonstige Stoffe	734
14.4.2.1	Allgemeine Parameter	734
14.4.2.2	Einzelstoffe, gelöst	734
14.4.2.3	Summenparameter	735
14.5	Überwachung der Indirekteinleitungen	736
14.5.1	Abwasserkataster	736
14.5.2	Probenahme und Überwachung	737

14.5.3	Zuständigkeiten	738
14.5.4	Gewässerschutzbeauftragter	739
14.6	Ökonomische Gesichtspunkte	739
14.6.1	Gebührenmaßstäbe	739
14.6.2	Gebührenabschläge	739
14.6.3	Starkverschmutzerzuschläge	740
14.7	Strafrechtliche und ordnungsrechtliche Verantwortung, Haftung	741
14.7.1	Betriebsstörungen	741
14.7.2	Strafrechtliche Verantwortung	741
14.7.3	Ordnungsrechtliche Verantwortung	742
14.7.4	Wasserrechtliche Haftung	742
14.7.5	Zivilrechtliche Haftung	743
	Literatur zu Kapitel 14	743
15	Emissionen aus Abwasseranlagen	747
15.1	Geruchsemissionen	747
15.1.1	Historisches	747
15.1.2	Allgemeines	748
15.1.3	Geruchsstoffbildung und -freisetzung	749
15.1.3.1	Gasförmige Stoffe – Herkunft, chemische Konstitution	749
15.1.3.2	Geruchsstoffe und Geruchsstoffgruppen	750
15.1.3.3	Geruchsquellen	751
15.1.4	Geruchsemissionsmessung und -beurteilung	753
15.1.4.1	Instrumentelle Analytik	753
15.1.4.2	Sensorische Wirkungsanalytik	757
15.1.4.2.1	Physiologie des Geruchssinns	757
15.1.4.2.2	Olfaktometrie	758
15.1.4.3	Weitere Meßverfahren	760
15.1.4.4	Bewertung der Meßverfahren	760
15.1.4.5	Projektklassifizierung	761
15.1.5	Geruchsausbreitung	762
15.1.5.1	Ausbreitungsvorgang	762
15.1.5.2	Bestimmung der Immissionssituation	764
15.1.5.3	Ausbreitungsrechnung	764
15.1.6	Verbeugende Maßnahmen zur Vermeidung von Geruchsemissionen	769
15.1.7	Verminderung von Geruchsemissionen	771
15.1.7.1	Geruchsminderungsmaßnahmen bei der Zuleitung in den Kanal	771
15.1.7.2	Geruchsminderungsmaßnahmen im Ableitungssystem	771
15.1.7.3	Geruchsminderungsmaßnahmen auf der Kläranlage	772
15.1.7.3.1	Betriebliche Maßnahmen	772
15.1.7.3.2	Verfahrenstechnische Maßnahmen	772
15.1.7.3.3	Bauliche Maßnahmen	772
15.1.8	Abluftbehandlung	775
15.2	Lärmemissionen	778
15.2.1	Einleitung	778
15.2.2	Physikalische, psychologische und medizinische Grundlagen	778
15.2.2.1	Physikalische Grundlagen	778
15.2.2.1.1	Allgemeines	778
15.2.2.1.2	Wellen	779
15.2.2.1.3	Schallintensität, Schalleistung, Schalldruck	779
15.2.2.1.4	Lautstärke, Schallpegel	781
15.2.2.2	Psychologische und medizinische Grundlagen	783
15.2.2.2.1	Physiologie des Gehörsinns	783

15.2.2.2.2	Schallwahrnehmung	783
15.2.2.3	Lärmwirkungen	784
15.2.3	Meßtechnik	786
15.2.3.1	Rechtliche Grundlagen	786
15.2.3.2	Messung	787
15.2.3.2.1	Meßgeräte	787
15.2.3.2.2	Meßdauer und Meßzeit	789
15.2.3.2.3	Meßort	789
15.2.3.2.4	Meßwerte	790
15.2.4	Ausbreitung des Schalls	790
15.2.5	Lärmquellen	793
15.2.5.1	Hebwerke	793
15.2.5.1.1	Schneckenpumpwerke	793
15.2.5.1.2	Kreiselpumpwerke	796
15.2.5.2	Mechanische Stufe	796
15.2.5.2.1	Rechenanlagen	796
15.2.5.2.2	Sandfänge	797
15.2.5.2.3	Vorklärbecken	800
15.2.5.3	Biologische Stufe	800
15.2.5.3.1	Belüftungsbecken – Kreiselbelüftung	800
15.2.5.3.2	Belüftungsbecken – Mammutrotoren	803
15.2.5.3.3	Belüftungsbecken – Druckbelüftung	804
15.2.5.3.4	Tropfkörper	805
15.2.5.3.5	Scheibentauchkörper	807
15.2.5.3.6	Nachklärbecken	807
15.2.5.4	Schlammbehandlung	807
15.2.5.5	Zentrale Einrichtungen	809
15.2.6	Lärmschutzmaßnahmen	812
15.2.6.1	Maßnahmen an bestehenden Anlagen	812
15.2.6.1.1	Schneckenpumpwerke	812
15.2.6.1.2	Rechenanlagen mit Nebeneinrichtungen	813
15.2.6.1.3	Sandfänge	813
15.2.6.1.4	Überfälle und Rinnen	815
15.2.6.1.5	Belüftungsbecken	815
15.2.6.1.6	Zentrale Einrichtungen und Schlamm entwässerung	816
15.2.6.2	Maßnahmen bei der Planung	816
15.2.6.3	Beispiel für die Wirkung geräuschmindernder Maßnahmen	817
15.3	Aerosolemissionen	819
15.3.1	Allgemeines	819
15.3.2	Entstehung	819
15.3.3	Auswirkungen	823
15.3.4	Hygienische und epidemiologische Aspekte	824
15.3.5	Gegenmaßnahmen	826
	Literatur zu Kapitel 15	827
Stichwortverzeichnis		833