

# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Das Abwasserproblem, seine Ursachen und Ansätze zur Lösung . . . . .</b>	<b>1</b>
1	Einführung . . . . .	1
2	Das ökologische Problem . . . . .	2
2.1	Die Gesamtschau . . . . .	2
2.2	Unterschiede zwischen aquatischen und terrestrischen Produktionsräumen . . . . .	5
2.3	Produktion und Abbau . . . . .	7
2.4	Die biocoenotische Differenzierung . . . . .	8
2.5	Der Mensch als Element der Biocoenose . . . . .	11
3	Das Abwasserproblem . . . . .	13
3.1	Die quantitative Seite . . . . .	13
3.2	Die qualitative Seite . . . . .	16
4	Ansätze zur Lösung . . . . .	16
<b>II</b>	<b>Organismen . . . . .</b>	<b>23</b>
1	Einführung . . . . .	23
2	Bakterien . . . . .	24
2.1	Allgemeines . . . . .	24
2.2	Größe, Form und Zellaufbau . . . . .	24
2.3	Vermehrung und Sexualität . . . . .	25
2.4	Physiologie . . . . .	26
2.5	Chemische Zusammensetzung . . . . .	26
2.6	Systematik . . . . .	26
3	Protozoen . . . . .	27
3.1	Allgemeines . . . . .	27
3.2	Ernährung . . . . .	28
3.3	Der Zellaufbau . . . . .	28
3.4	Fortpflanzung und Sexualität . . . . .	29
3.5	Systematik . . . . .	29
4	Niedere Pflanzen . . . . .	31
4.1	Allgemeines . . . . .	31
4.2	Systematik . . . . .	32
5	Mehrzellige tierische und pflanzliche Formen . . . . .	36
<b>III</b>	<b>Nährstoffe und Stoffwechsel . . . . .</b>	<b>37</b>
1	Sinn der Ernährung und Ernährungsweisen . . . . .	37
2	Die Chemoorganotrophie . . . . .	39

2.1	Die Nährstoffe . . . . .	39
2.2	Die Nutzung der Nährstoffe . . . . .	45
2.2.1	Abbaureaktionen . . . . .	45
2.2.2	Der Energiestoffwechsel . . . . .	47
2.2.3	Gärung . . . . .	50
3	Die Photolithotrophie . . . . .	51
4	Die Chemolithotrophie . . . . .	54
5	Das Gemeinsame der Ernährungsweisen . . . . .	55
6	Die Energieverwertung . . . . .	56
<b>IV</b>	<b>Kinetik des Stoffwechsels . . . . .</b>	<b>57</b>
1	Das System und die Faktoren . . . . .	57
2	Die Diffusion . . . . .	60
3	Sorptionsvorgänge . . . . .	62
4	Enzymatische Reaktionen . . . . .	64
4.1	Grundlagen . . . . .	64
4.2	Die Grundreaktion . . . . .	65
4.3	Die Bestimmung der Reaktionsparameter . . . . .	69
4.4	Einfluß des pH-Wertes . . . . .	71
4.5	Einfluß der Temperatur . . . . .	72
5	Gehemmte enzymatische Reaktionen . . . . .	74
6	Die Wirkung der Aktivatoren . . . . .	79
7	Allosterische Enzyme . . . . .	79
8	Methoden der kinetischen Analyse und Bestimmung der geschwindigkeitsbestimmenden Reaktion . . . . .	80
<b>V</b>	<b>Kinetik mikrobieller Systeme . . . . .</b>	<b>81</b>
1	Einführung . . . . .	81
2	Einfache Einstoffsysteme ohne Organismenzuwachs . . . . .	82
3	Komplexe Systeme ohne Vermehrung . . . . .	86
4	Einfache Systeme mit Zusatznährstoffen . . . . .	88
5	Hemmungen durch systemimmanente Faktoren . . . . .	89
6	Hemmung durch toxische Substanzen . . . . .	89
7	Adaptationen . . . . .	92
8	Systeme mit Organismenzuwachs . . . . .	93
9	Kinetik in mikrobiellen Verbundsystemen . . . . .	96
10	Grenzen der Verwendbarkeit kinetischer Ansätze . . . . .	96
<b>VI</b>	<b>Kinetik und Reaktortechnik . . . . .</b>	<b>98</b>
1	Einführung . . . . .	98
2	Klassifizierung von Reaktortypen mit kontinuierlicher Beschickung . . . . .	98
3	Der kontinuierlich beschickte offene Fermenter . . . . .	100
4	Der kontinuierlich beschickte Fermenter mit Organismenrückführung . . . . .	103
5	Der diskontinuierlich beschickte Reaktor mit Organismenspeicherung . . . . .	105
6	Kontinuierlich beschickte Reaktoren mit Fixierung der Organismen auf festen Flächen (Festbettreaktor) . . . . .	105

<b>VII Die natürliche Selbstreinigung . . . . .</b>	<b>107</b>
1 Einführung . . . . .	107
2 Lebensraum und Lebensgemeinschaft . . . . .	107
3 Störungen und Sukzession . . . . .	109
3.1 Mechanismen . . . . .	109
3.2 Massenbilanz . . . . .	113
3.3 Der biologische Sauerstoffverbrauch (BSV) . . . . .	113
3.4 Sauerstoffverbrauch und Sauerstoffbedarf . . . . .	115
4 Die örtliche Fixierung von Selbstreinigungsstadien . . . . .	116
5 Die Nische . . . . .	118
6 Das Saprobienystem . . . . .	118
7 Übergeordnete Gesichtspunkte und technologische Folgerungen . . . . .	119
<b>VIII Abwasser und Abwasseranalyse . . . . .</b>	<b>122</b>
1 Ziel der Abwasseranalyse . . . . .	122
2 Was ist Abwasser? . . . . .	123
3 Abwasser und seine Inhaltsstoffe . . . . .	123
3.1 Menge und Verteilung . . . . .	123
3.2 Probenahme . . . . .	123
3.3 Auswertung der gewonnenen Daten . . . . .	124
3.4 Parameter der Abwasserverschmutzung . . . . .	125
3.4.1 Physikalische Eigenschaften . . . . .	125
3.4.2 Der pH-Wert . . . . .	125
3.4.3 Die chemische Oxidierbarkeit . . . . .	125
3.4.4 Der organische Kohlenstoff . . . . .	126
3.4.5 Der Stickstoff . . . . .	127
3.4.6 Der Phosphor . . . . .	128
3.4.7 Der biochemische Sauerstoffbedarf ( $BSB_5$ ) . . . . .	128
3.4.8 Hygienische Parameter . . . . .	129
3.4.9 Gifte . . . . .	129
4 Abwasser als Nährlösung . . . . .	130
4.1 Kinetische Größen . . . . .	130
4.2 Der Plateau-BSB ( $BSB_{P1}$ ) . . . . .	131
4.3 Das C:N:P-Verhältnis . . . . .	131
5 Beurteilung von Umweltchemikalien . . . . .	133
5.1 Eigenschaften und Verhalten . . . . .	133
5.2 Meßmethodik für Abbau und Toxizität . . . . .	134
5.3 Anreicherung von Umweltchemikalien in Organismen . . . . .	136
6 Verfahrenskonzepte zur Abwasserbehandlung . . . . .	137
6.1 Elimination der gelösten organischen Substanz . . . . .	137
6.2 Elimination von Stickstoff . . . . .	138
6.3 Elimination von Phosphor . . . . .	139
6.4 Elimination von pathogenen Keimen und Parasiten . . . . .	141

<b>IX</b>	<b>Das Belebtschlammverfahren . . . . .</b>	142
1	Charakterisierung . . . . .	142
2	Der Reinigungsträger . . . . .	144
2.1	Größe und Zusammensetzung . . . . .	144
2.2	Der Schlammvolumenindex . . . . .	147
2.3	Der Schlammgehalt im Reaktor . . . . .	148
3	Das biologische System und seine Variabilität . . . . .	148
3.1	Die Schlammbelastung als bestimmende Größe . . . . .	148
3.2	Schlammbelastung und Reinigungseffekt . . . . .	149
3.3	Schlammbelastung und Schlammzuwachs . . . . .	151
3.4	Schlammbelastung und Organismen . . . . .	151
3.5	Schlammbelastung und Schlammindex . . . . .	152
4	Sauerstoffverbrauch . . . . .	152
5	Schlammrückführung . . . . .	153
6	Bemessung von Belebtschlammanklagen . . . . .	154
7	Bemessung des Nachklärbeckens . . . . .	155
8	Reaktortypen und Gestaltung . . . . .	155
9	Schlammbehandlung . . . . .	162
<b>X</b>	<b>Festbettreaktoren . . . . .</b>	164
1	Systeme . . . . .	164
2	Theorie des Stoffübergangs . . . . .	164
3	Tropfkörper . . . . .	166
3.1	Der Schwachlasttropfkörper . . . . .	169
3.2	Spül tropfkörper . . . . .	170
3.3	Turmtropfkörper . . . . .	172
3.4	Rückspülung und Wechseltropfkörper . . . . .	172
3.5	Kunststofftropfkörper . . . . .	173
3.6	Tropfkörper als zweite Reinigungsstufe . . . . .	174
4	Submerse Festbettreaktoren . . . . .	176
<b>XI</b>	<b>Verfahren der Landbehandlung . . . . .</b>	180
1	Einführung . . . . .	180
2	Das ökologische System . . . . .	180
2.1	Der Boden . . . . .	180
2.2	Das Klima . . . . .	182
2.3	Die Pflanze . . . . .	182
3	Methoden der Landbehandlung von Abwasser . . . . .	184
3.1	Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen . . . . .	184
3.2	Abwasserversickerung zur Grundwasseranreicherung . . . . .	190
3.3	Die Oberflächenbehandlung . . . . .	191
3.4	Verwandte Verfahren . . . . .	192
4	Zusammenfassung . . . . .	192

<b>XII Oberflächengewässer . . . . .</b>	<b>193</b>
1 Problematik . . . . .	193
2 Stehende Gewässer . . . . .	193
2.1 Die Ökologie stehender Gewässer . . . . .	193
2.2 Die Nährstoffe und der Nährstoffaustausch, die chemischen und physiochemischen Komponenten des ökologischen Systems . . . . .	198
2.3 Die Produktivität stehender Gewässer . . . . .	202
2.4 Schutz stehender Gewässer . . . . .	203
2.5 Nutzung stehender Gewässer zur Abwasserbehandlung . . . . .	203
2.5.1 Abwasserteiche . . . . .	203
2.5.2 Fischteiche . . . . .	205
2.5.3 Schönungsteiche . . . . .	207
2.5.4 Wasserpflanzenfilter . . . . .	207
3 Fließgewässer . . . . .	208
3.1 Die ökologische Situation . . . . .	208
3.2 Fließgewässer und Abwasser . . . . .	210
3.2.1 Grundsätzliches . . . . .	210
3.2.2 Die Sauerstoffganglinie . . . . .	211
<b>XIII Anaerobe technische Verfahren . . . . .</b>	<b>215</b>
1 Einführung . . . . .	215
2 Mikrobiologie und Biochemie der Methangärung . . . . .	217
3 Kinetik . . . . .	219
4 Produktmengen der Methangärung . . . . .	222
5 Temperatur und pH-Wert . . . . .	223
6 Anaerobe alkalische Schlammfaulung . . . . .	225
6.1 Schlammanfall und Ziele der Behandlung . . . . .	225
6.2 Technologie der Schlammbehandlung . . . . .	226
6.3 Behandlung der Produkte . . . . .	229
7 Anaerobe Behandlung konzentrierter Abwässer . . . . .	229
7.1 Reaktorsysteme . . . . .	229
7.2 Betrieb anaerober Belebtschlamm anlagen . . . . .	232
7.2.1 Schlammbelastung und Reinigungsleistung . . . . .	232
7.2.2 Schlammbelastung und Schlammalter . . . . .	235
7.2.3 Stickstoffbilanzen und Biomassenzuwachs . . . . .	235
7.2.4 Schlammbelastung und Gaszusammensetzung . . . . .	236
7.2.5 Aktivität der anaeroben Biocoenose . . . . .	237
8 Weitergehende Behandlung . . . . .	238
<b>XIV Klärsysteme . . . . .</b>	<b>239</b>
1 Grundlagen . . . . .	239
2 Einzelziele der Abwasserbehandlung . . . . .	240
3 Möglichkeiten der biologischen Klärelemente . . . . .	240
3.1 Die Belebtschlammtechnologie . . . . .	240
3.2 Aerobe Festbettreaktoren . . . . .	242

3.2.1	Brockentropfkörper . . . . .	242
3.2.2	Kunststofftropfkörper . . . . .	243
3.2.3	Tauchkörper . . . . .	243
3.2.4	Scheibentauchkörper . . . . .	243
3.3	Ökologisch geprägte Systeme . . . . .	243
3.3.1	Terrestrische Systeme . . . . .	243
3.3.2	Aquatische Systeme . . . . .	244
3.4	Anaerobe Verfahren . . . . .	244
4	Physikalische Klärelemente . . . . .	245
5	Chemisch-physikalische und chemische Verfahren . . . . .	245
6	Beispiele für Verfahrenskombinationen . . . . .	247
6.1	Die klassische Kombination von Klärelementen für kommunale Abwässer . . . . .	247
6.2	Anlagen mit Denitrifikation . . . . .	248
6.3	Anlagen mit Phosphatelimination . . . . .	249
6.4	Industrieabwasser in den Tropen . . . . .	249
6.5	Kommunalabfälle in den Tropen . . . . .	249
6.6	Abwasser in den Feuchttropen . . . . .	250
7	Schlußbetrachtung . . . . .	250
	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>251</b>
	<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>255</b>