

# 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</b>	<b>Die natürliche Selbstreinigung</b>	107
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 Saprobiensystem	118
7	Übergeordnete Gesichtspunkte und technologische Folgerungen	119
<b>VIII</b>	<b>Abwasser und Abwasseranalyse</b>	122
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 <sub>5</sub> )	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 <sub>p</sub> )	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>	<b>142</b>
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 Belebtschlammanlagen . . . . .	154
7	Bemessung des Nachklärbeckens . . . . .	155
8	Reaktortypen und Gestaltung . . . . .	155
9	Schlammbehandlung . . . . .	162
<b>X</b>	<b>Festbettreaktoren . . . . .</b>	<b>164</b>
1	Systeme . . . . .	164
2	Theorie des Stoffübergangs . . . . .	164
3	Tropfkörper . . . . .	166
3.1	Der Schwachlasttropfkörper . . . . .	169
3.2	Spültropfkörper . . . . .	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>	<b>180</b>
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</b>	<b>Oberflächengewässer</b>	193
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</b>	<b>Anaerobe technische Verfahren</b>	215
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 Schlammfäulung	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 Belebtschlammanlagen	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</b>	<b>Klärsysteme</b>	239
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 Trockentropen . . . . .	249
6.5	Kommunalabfälle in den Trockentropen . . . . .	249
6.6	Abwasser in den Feuchttropen . . . . .	250
7	Schlußbetrachtung . . . . .	250
<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>		<b>251</b>
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>		<b>255</b>