

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>10</b>
<b>Vorwort zur 1. Auflage</b>	<b>11</b>
<b>1 Biologische Stoffwandlung als eine der Grundoperationen im technischen Umweltschutz (Einführung)</b>	<b>13</b>
1.1 Grundoperationen der Verfahrenstechnik und Besonderheiten der biologischen Stoffwandlung .....	14
1.2 Bioreaktoren als technische Ökosysteme .....	16
1.3 Umweltrechtliche Anforderungen als Zielgrößen für die Entwicklung und den Einsatz umwelttechnischer Verfahren .....	21
<b>2 Mikroorganismen und die Grundzüge ihres Stoffwechsels</b>	<b>26</b>
2.1 Merkmale und Lebensweise von Mikroorganismen .....	26
2.2 Grundzüge des Stoffwechsels von Mikroorganismen .....	33
2.2.1 Allgemeine thermodynamische Aspekte des mikrobiellen Zellstoffwechsels .....	35
2.2.2 Enzyme als hochselektive Biokatalysatoren .....	39
2.2.3 Energetische Kopplung von exergonen und endergonen Stoffwechselreaktionen über das ATP-ADP-System .....	48
2.2.4 Redox-Reaktionen und membran-gebundener Elektronentransport .....	51
2.2.5 Protonenpotential der Cytoplasma-Membran und membran-gebundene ATP-Synthese (Elektronentransport-Phosphorylierung) .....	57
2.2.6 Substratstufen-Phosphorylierung .....	60
2.3 Chemotrophie .....	61
2.3.1 Chemoorganotrophie .....	61
2.3.2 Chemolithotrophie .....	72
2.4 Phototrophie .....	74
2.4.1 Oxygene Photosynthese .....	77
2.4.2 Anoxygene Photosynthese .....	78
2.5 Aufnahme von Nährstoffen in die Zelle .....	79
<b>3 Rolle der Mikroorganismen im Stoffhaushalt der Natur</b>	<b>86</b>
3.1 Ökosysteme und biozönotisches Grundelement .....	86
3.2 Wechselwirkung von Mikroorganismen mit ihrer belebten und unbelebten Umwelt .....	88
3.2.1 Die „ökologische Nische“ - Genotypische Anpassung der Mikroorganismen an ihre Umwelt .....	89
3.2.2 Phänotypische Anpassung der Mikroorganismen an wechselnde Umwelteinflüsse .....	91
3.2.3 Interaktionen der Mikroorganismen mit anderen Lebewesen .....	93
3.3 Beitrag der Mikroorganismen zum globalen C-Kreislauf .....	99
3.3.1 Oxidativer Endabbau von organischer Substanz (Mineralisierung) .....	102
3.3.2 Abbau von organischer Substanz unter Luftabschluss (Methanisierung) .....	103

## 6 Inhaltsverzeichnis

3.3.3	Unspezifische radikalische Oxidation komplexer organischer Verbindungen durch Holz- und Bodenstreu-zersetzende Pilze .....	107
3.3.4	Mikrobielle Fixierung von CO <sub>2</sub> .....	110
3.4	Beitrag der Mikroorganismen zum globalen N-Kreislauf .....	112
3.4.1	Proteolyse und Ammonifikation .....	114
3.4.2	Mikrobielle Oxidation von Ammonium .....	116
3.4.3	Mikrobielle Nitratreduktion .....	119
3.4.4	Bindung von Luftstickstoff (N <sub>2</sub> -Fixierung) .....	121
3.5	S-Kreislauf .....	124
3.6	Mikrobielle Prozesse im Boden .....	127
3.6.1	Boden als Lebensraum von Mikroorganismen .....	129
3.6.2	Mikrobielle Prozesse bei der Humifizierung von abgestorbenem organischem Material .....	131
3.6.3	Beitrag der Mikroorganismen zur Umwandlung von Schwefel- und Phosphorverbindungen im Boden .....	134
3.7	Rolle der Mikroorganismen in limnischen Gewässern .....	137
3.7.1	Schichtungsvorgänge in limnischen Gewässern .....	138
3.7.2	Stoffumwandlungsprozesse in stehenden Gewässern .....	140
3.7.3	Gewässergüte und „Natürliche Selbstreinigung“ in Fließgewässern .....	145
<b>4</b>	<b>Eingriffe des Menschen in das Gesamt-Ökosystem "Erde"</b> .....	<b>148</b>
4.1	Technik/Technisierung contra natürliche Umwelt .....	145
4.2	Destabilisierung des globalen CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> -Kreislaufs .....	150
4.3	Industriechemikalien und ihr Verhalten in der Umwelt .....	154
4.4	Gewässernutzung und -bewirtschaftung .....	161
<b>5</b>	<b>Kinetik mikrobieller Stoffwandlungsprozesse</b> .....	<b>170</b>
5.1	Nährstofftransport im Medium .....	173
5.2	Wachstum einzelliger Mikroorganismen .....	174
5.2.1	MONOD-Modell .....	176
5.2.2	Mikrobielles Wachstum mit zelltoxischen Substraten .....	179
5.3	Erhaltungsstoffwechsel von Mikroorganismen .....	181
5.4	Modell für einen kontinuierlich geführten mikrobiellen Prozess .....	184
5.5	Modell für einen kontinuierlich geführten mikrobiellen Prozess mit partieller Biomasse-Rückführung .....	187
<b>6</b>	<b>Grundtypen von Bioreaktoren und ausgewählte reaktortechnische Aspekte</b> .....	<b>191</b>
6.1	Bioreaktoren mit suspendierter Biomasse (Suspensionsbioreaktoren) .....	192
6.1.1	Stoffübergang in volldurchmischten Bioreaktoren .....	194
6.1.2	Sauerstoffübergangskoeffizient und O <sub>2</sub> -Bilanz in belüfteten Suspensionsbioreaktoren .....	196
6.2	Biofilm-Reaktoren .....	199
6.3	Leistungseintrag, Mischgüte und Durchströmungscharakteristik von Bioreaktoren .....	199
6.4	Probleme der Maßstabsübertragung ( <i>Scale up</i> ) bei der Bioverfahrensentwicklung .....	204

<b>7</b>	<b>Biologische Abwasserreinigung</b>	<b>207</b>
7.1	Erfassung von Abwasserinhaltsstoffen .....	210
7.2	Umweltrechtliche Anforderungen .....	225
7.3	Verfahren der Abwasserreinigung nach dem Stand der Technik und deren Einsatzgebiete .....	228
7.4	Genereller Aufbau von Kläranlagen und mechanische Vorbehandlung von Rohabwässern .....	241
7.5	Klassisches Belebungsverfahren .....	244
7.5.1	Belebtschlamm als „Reinigungsträger“ .....	247
7.5.2	Schlammalter und Schlammbelastung .....	249
7.5.3	Substratabbau und Bildung von Überschuss-Schlamm .....	251
7.5.4	Nitrifikation in Belebungsanlagen .....	253
7.5.5	Versorgung des Belebtschlammes mit Luftsauerstoff .....	254
7.5.6	Energieverbrauch und Kosten konventioneller Belebungsanlagen .....	261
7.5.7	Weitergehende Abwasserreinigung (N- und P-Elimination) .....	262
7.5.8	Umwelthygienische Risiken im Zusammenhang mit der biologischen Reinigung von kommunalem Abwasser .....	272
7.6	Hormonell wirksame Substanzen und andere organische Mikroverunreinigungen in kommunalen Abwässern .....	277
7.6.1	Wirkmuster für den Einfluss exogener Substanzen auf das endokrine System aquatischer Wirbeltiere .....	279
7.6.2	Herkunft und Wirkung von estrogen wirksamen Substanzen .....	280
7.6.3	Abbau/Elimination von estrogen wirksamen Substanzen und anderen organischen Mikroverunreinigungen in kommunalen Kläranlagen .....	286
7.7	Sonderformen und Modifikationen des Belebungsverfahrens .....	288
7.7.1	Bio-Hochreaktoren .....	289
7.7.2	A+B-Verfahren .....	290
7.7.3	SBR-Verfahren .....	290
7.7.4	Membranbelebungsverfahren .....	292
7.8	Aerobe Festbett-Verfahren .....	298
7.8.1	Tropfkörper-Anlagen .....	299
7.8.2	Scheibentauchkörper-Anlagen .....	302
7.8.3	Aerob-Anlagen mit getauchtem Festbett .....	303
7.8.4	Schwebebett-Verfahren: Moving Biofilm Bed Reactor (MBBR) .....	304
7.9	Anaerobe Verfahren der biologischen Abwasserreinigung .....	305
7.9.1	Besonderheiten der anaeroben Abwasserbehandlung .....	305
7.9.2	Gebräuchliche Reaktorsysteme .....	309
7.10	Naturnahe Verfahren der Abwasserbehandlung .....	312
7.10.1	Teichkläranlagen .....	313
7.10.2	Bewachsene Bodenfilter (Pflanzenkläranlagen) .....	314
7.11	Neue Lösungsansätze für ein nachhaltiges Wasser-/Abwassermanagement im kommunalen Bereich .....	316

## 8 Inhaltsverzeichnis

<b>8</b>	<b>Behandlung und Entsorgung von RohschlÄmmen aus KlÄranlagen</b>	<b>322</b>
8.1	RohschlÄmme als Senke fÄr hydrophobe organische Abwasserinhaltsstoffe und Schwermetall-Ionen .....	323
8.2	Umweltrechtliche Anforderungen an die Entsorgung von KlÄrschlÄmmen .....	325
8.3	Grundoperationen der herkömmlichen Behandlung von kommunalem Rohschlamm .....	329
8.4	Biologische Schlammstabilisierung .....	334
8.4.1	Anaerobe Stabilisierung (SchlammfÄulung) .....	335
8.4.2	Aerob-thermophile Stabilisierung .....	337
8.4.3	Schlamm-Kompostierung .....	338
8.4.4	Simultane aerobe Stabilisierung .....	339
8.4.5	EntwÄsserung und Vererdung von KlÄrschlamm in Schilfbeeten .....	339
8.5	Schlamm-Desintegration als Mittel zur Intensivierung der biologischen SchlammfÄulung .....	340
8.6	P-RÄckgewinnung aus KlÄrschlÄmmen und KlÄrschlamm-Aschen .....	343
<b>9</b>	<b>Biologische Aufbereitung von organischen Abfallstoffen aus dem hÄuslichen bzw. gewerblichen Bereich sowie von GÄlle aus der Nutztierhaltung</b>	<b>345</b>
9.1	SiedlungsabfÄlle .....	345
9.2	GÄlle aus der Nutztierhaltung .....	347
9.3	Rechtliche Anforderungen an den Umgang mit Abfallstoffen .....	348
9.3.1	Einheitliches europÄisches Abfallverzeichnis .....	350
9.3.2	Konzept der „nachsorgearmen Deponie“ .....	351
9.3.3	Verwertung von organischen Abfallstoffen als DÄnger bzw. Bodenverbesserungsmittel .....	353
9.3.4	Erzeugung von Strom aus Biomasse bzw. biogenen Abfallstoffen und das „Erneuerbare-Energien“-Gesetz (EEG) .....	355
9.4	Biologische Behandlung von getrennt erfassten BioabfÄllen .....	355
9.2.1	Kompostierung .....	357
9.2.2	VergÄrung von BioabfÄllen und energetische Nutzung des gebildeten Biogases .....	364
9.5	Biologische Trocknung von RestabfÄllen aus HausmÄll (Stabilat-Verfahren) .....	372
9.6	Verfahren zur Aufbereitung von GÄlle .....	373
9.7	Nachhaltige Abfallwirtschaft (Ausblick) .....	381
<b>10</b>	<b>Biologische Abluftreinigung</b>	<b>383</b>
10.1	Luftverunreinigende organische Stoffe und deren Erfassung .....	384
10.2	Umweltrechtliche Anforderungen .....	387
10.3	Verfahren zur Abluftreinigung nach dem Stand der Technik .....	393
10.4	Biologische Verfahren .....	396
10.4.1	BiowÄscher-Verfahren .....	396
10.4.2	Biofilter-Verfahren .....	404
10.4.3	Bioreselbett-Reaktoren .....	412
<b>11</b>	<b>Biologische Bodensanierung</b>	<b>414</b>
11.1	Altlasten-relevante Schadstoffe .....	415

11.2	Umweltrechtliche Anforderungen an die Altlastensanierung .....	422
11.3	Sanierungsrelevante Bodeneigenschaften und –parameter .....	425
11.4	Schadstoff-Wirkungspfade und Gefährdungsabschätzung .....	429
11.5	Verfahren zur Bodensanierung nach dem Stand der Technik und Kriterien der Verfahrensauswahl .....	435
11.6	Biologische Bodensanierung .....	439
11.6.1	Biologische <i>in situ</i> -Verfahren .....	440
11.6.2	Biologische <i>ex situ</i> -Verfahren .....	444
<b>12</b>	<b>Betriebstechnik und Kosten umweltbiotechnischer Verfahren sowie Regelungen für Tätigkeiten mit "Biologischen Arbeitsstoffen"</b>	<b>447</b>
12.1	Grundlagen der Steuerung und Regelung von umwelttechnischen Anlagen .....	447
12.1.1	Messtechnik und Betriebsmesseinrichtungen .....	448
12.1.2	Aufbau und Funktionsweise einer Regelung .....	453
12.1.3	Steuerung von Prozessen .....	454
12.1.4	Speicherprogrammierbare Steuerung .....	456
12.1.5	Prozessleitsystem .....	456
12.2	Ermittlung der Kosten von umweltbiotechnischen Verfahren .....	457
12.2.1	Kostenvergleichsrechnung .....	460
12.2.2	Amortisationsrechnung .....	461
12.2.3	Kapitalbarwert-Methode .....	461
12.3	Gesetzliche Regelungen für Tätigkeiten mit „Biologischen Arbeitsstoffen“ .....	462
<b>13</b>	<b>Lösungsansätze zur Vermeidung von Umweltproblemen mittels produktions- bzw. prozessintegrierter Biotechnik (Ausblick)</b>	<b>466</b>
13.1	„Dauerhaft umweltverträgliches Wirtschaften“ als Grundlage für eine zukunftsorientierte Entwicklung der menschlichen Gesellschaft (Nachhaltigkeit) .....	466
13.2	Bewertung der Umweltverträglichkeit von industriellen Prozessen und Verfahren (Ökoeffizienz-Analyse) .....	468
13.3	Grundkonzepte zur Vermeidung bzw. Verminderung von Produktionsrückständen .....	474
13.4	Verbesserte Ökobilanz von Produktionslinien durch Integration biotechnischer Prozesse und Verfahren .....	482
13.4.1	Biokatalyse in der Feinchemie und pharmazeutischen Industrie .....	482
13.4.2	Integrierte Biotechnik in der Textilindustrie .....	495
13.4.3	Einsatz von Enzymen in der Zellstoff- und Papierindustrie .....	496
13.4.4	Biotechnische Verfahren und Prozesse in der Metallbearbeitung und Leiterplattenindustrie .....	496
13.4.5	Beispiele für die Integration biotechnischer Verfahren zur Verbesserung der Ökobilanz in Betrieben der Lebensmittelindustrie .....	500
13.4.6	Recycling von Prozesswasser in Betrieben der Lebensmittel- und Getränkeindustrie .....	502
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>509</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b>		<b>515</b>