

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	10
Vorwort zur 1. Auflage	11
1 Biologische Stoffwandlung als eine der Grundoperationen im technischen Umweltschutz (Einführung)	13
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
2 Mikroorganismen und die Grundzüge ihres Stoffwechsels	26
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
3 Rolle der Mikroorganismen im Stoffhaushalt der Natur	86
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 ₂	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 ₂ -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
4	Eingriffe des Menschen in das Gesamt-Ökosystem "Erde"	148
4.1	Technik/Technisierung contra natürliche Umwelt	145
4.2	Destabilisierung des globalen CO ₂ /O ₂ -Kreislaufs	150
4.3	Industriechemikalien und ihr Verhalten in der Umwelt	154
4.4	Gewässernutzung und -bewirtschaftung	161
5	Kinetik mikrobieller Stoffwandlungsprozesse	170
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
6	Grundtypen von Bioreaktoren und ausgewählte reaktortechnische Aspekte	191
6.1	Bioreaktoren mit suspendierter Biomasse (Suspensionsbioreaktoren)	192
6.1.1	Stoffübergang in vollaufgemischten Bioreaktoren	194
6.1.2	Sauerstoffübergangskoeffizient und O ₂ -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

7	Biologische Abwasserreinigung	207
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 Belebtschlamms 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

8	Behandlung und Entsorgung von RohschlÄmmen aus KlÄranlagen	322
8.1	RohschlÄmme als Senke fÄur 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 (SchlammfÄaulung)	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 SchlammfÄaulung	340
8.6	P-RÄckgewinnung aus KlÄrschlÄmmen und KlÄrschlamm-Aschen	343
9	Biologische Aufbereitung von organischen Abfallstoffen aus dem hÄuslichen bzw. gewerblichen Bereich sowie von GÄulle aus der Nutztierhaltung	345
9.1	SiedlungsabfÄalle	345
9.2	GÄulle 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 DÄunger 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 BioabfÄallen	355
9.2.1	Kompostierung	357
9.2.2	VergÄrung von BioabfÄallen und energetische Nutzung des gebildeten Biogases	364
9.5	Biologische Trocknung von RestabfÄallen aus HausmÄull (Stabilat-Verfahren)	372
9.6	Verfahren zur Aufbereitung von GÄulle	373
9.7	Nachhaltige Abfallwirtschaft (Ausblick)	381
10	Biologische Abluftreinigung	383
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	Biorieselbett-Reaktoren	412
11	Biologische Bodensanierung	414
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
12	Betriebstechnik und Kosten umweltbiotechnischer Verfahren sowie Regelungen für Tätigkeiten mit "Biologischen Arbeitsstoffen"	447
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
13	Lösungsansätze zur Vermeidung von Umweltproblemen mittels produktions- bzw. prozessintegrierter Biotechnik (Ausblick)	466
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
Literaturverzeichnis		509
Sachwortverzeichnis		515