

Alexandru Braha und Ghiocel Groza

Moderne Abwassertechnik

Erhebung, Modellabsicherung, Scale-Up, Planung



WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhaltsverzeichnis

Vorwort IX

Einleitung: Abwassertechnik – Stiefkind der Verfahrenstechnik? XIII

Danksagung XVII

1	Mikrobiologische Grundzüge in der Bioverfahrenstechnik	1
1.1	Form und Gestalt der Mikroorganismen in Ökosystemen und in der industriellen Biotechnologie	1
1.1.1	Eukaryotische und prokaryotische Zellen und ihre Struktur	2
1.1.2	Grund- und Regulationsmechanismen des Stoffwechsels und der Energieumwandlung	4
1.1.3	Mutation und Erbgutübertragung	6
1.2	Bioverfahrenstechnische Aspekte des Stoffwechsels	8
1.2.1	Produktionsverfahren	8
1.2.1.1	Biomassegewinnung	8
1.2.1.2	Biosynthese von Stoffwechselprodukten	8
1.2.1.3	Biotransformation	9
1.2.1.4	Industrieller Einsatz von Biomasse an natürlichen Standorten (Erzlaugungsverfahren)	9
1.2.2	Substratabbau	10
1.2.2.1	Denitrifikation	11
1.2.2.2	Methanbildung	11
1.2.2.3	Oxidation von TOC- und TKN-haltigen Verbindungen	13
2	Verfahrenstechnische Überlegungen zur Modellbildung in der biologischen Abwasserbehandlung	21
2.1	Reaktionstechnisches Verhalten von Bioreaktoren mit suspendierter Biomasse	22
2.1.1	Verweilzeitverhalten	22
2.1.2	Kinetik der Konzentrationsabnahme kohlenstoffhaltiger Verbindungen	36
2.1.2.1	Reaktion 0. Ordnung (n = 0)	36
2.1.2.2	Reaktion 1. Ordnung (n = 1)	37

2.1.2.3	Reaktionen 2. Ordnung ($n = 2$)	43
2.1.2.4	Reaktionen n . Ordnung	44
2.1.2.5	Reaktion 1. Ordnung mit nicht abbaubarem Term	50
2.1.3	Variierende Reaktionsordnung und Biomassekonzentration	53
2.1.3.1	C-Oxidation bei vernachlässigbarer Biomassezufuhr durch den Ablauf des Vorklärbeckens (VKB)	53
2.1.3.2	C-Oxidation mit gleichzeitigem Biomassezuwachs	60
2.1.3.3	N-Oxidation mit gleichzeitigem Biomassezuwachs	78
2.1.3.4	Kinetik der Denitrifikation	83
2.1.3.5	Kinetik des Sauerstoffverbrauches	92
2.1.4	Kinetik streng anaerober Prozesse	95
2.2	Reaktionstechnisches Verhalten von Reaktoren mit immobilisierter Biomasse	99
2.2.1	Reaktion 1. Ordnung	100
2.2.2	Reaktion variierender Ordnung	104
2.3	Erkundung des Temperatureinflusses auf die biokinetischen Geschwindigkeitskoeffizienten	108
2.4	Kinetik des Sauerstofftransports	112
2.5	Zwischenbemerkungen zu Bioreaktor und Modellbildung	119
3	Statistische Datenauswertungsverfahren	123
3.1	Statistische Kennwerte und Prüfverfahren	124
3.1.1	Statistische Kennwerte	126
3.1.2	Statistische Prüfverfahren	129
3.2	Regressionsrechnung	138
3.3	Zwischenbemerkungen zu statistischen Auswertungsverfahren	158
4	Bakterienmischpopulationen und Stoffumwandlungsprozesse bei multiplen Abwassersubstraten	165
4.1	Biomassenzuwachs/Bestimmungsverfahren	165
4.2	Multiple Substrate und deren analytische Bestimmung	168
4.3	Allgemeine Bemerkungen zur Anwendung von Summenparametern bei der Modellbildung	168
4.4	Kinetik mikrobieller Prozesse bei suspenderter Biomasse	169
4.4.1	Statische Kulturen (<i>batch culture</i>)	169
4.4.1.1	Die Adaptations- oder lag-Phase	171
4.4.1.2	Exponentielles Wachstum	172
4.4.1.3	Übergangsphase	174
4.4.1.4	Stationäre Phase	179
4.4.1.5	Absterbephase	179
4.4.2	Kinetik dynamischer Kulturen (<i>continuous culture</i>)	180
4.4.2.1	CSTRs ohne Biomasserückführung	180
4.4.2.2	CSTRs mit Biomasserückführung	181
4.4.2.3	Energiedichte, Scherkräfte und Belüften	186

4.5	Tropfkörper – Kinetik mikrobieller Prozesse bei auf Füllkörpern immobilisierter Biomasse	192
4.5.1	Prozessintensivierung – Fallstudie	193
4.5.2	Versuchsplanung und -durchführung	200
4.5.3	Diskussion der Modellergebnisse	202
5	Durchführung kinetischer Untersuchungen mittels Labor- und Halbtechnikums-Belebtschlammreaktoren	207
5.1	Versuche in einstufigen Halbtechnikums-Belebtschlammreaktoren	211
5.1.1	Versuchsplanung und -durchführung	211
5.1.2	Batchreaktor – Versuchsplanung/-durchführung	225
5.1.3	Zwischenbemerkungen zu einstufigen Belebtschlammreaktoren bei der Industrie-Abwasserreinigung	240
5.2	Versuche in einer Halbtechnikums-Mischbeckenkaskade	242
5.2.1	Beschreibung der Anlage und Versuchsplanung	242
5.2.2	Datenauswertung und Diskussion der Ergebnisse	248
5.2.2.1	Kurzer theoretischer Abriss	248
5.2.2.2	CSTR-Kaskade – Messergebnisse und Modellvoraussagen	251
5.2.2.3	Zwischenbemerkungen zum Substratabbau in Mischbeckenkaskaden	256
5.3	Schlussfolgerungen zur Modellerstellung/-übertragung auf Bioreaktoren in der Klärtechnik	256
6	Das Lawrence-McCarty-Modell	261
6.1	Das Schlammalter als Planungs- und Betriebsregelgröße	261
6.2	Modell-Erweiterung und Fallstudien bei Ingenieur-Büros	265
6.2.1	Theoretische Grundüberlegungen	265
6.2.2	Anwendung des erweiterten Schlammalter-Modells	267
6.2.3	Modellmäßige Prozessanalyse der Messergebnisse	268
6.3	Schlussbetrachtungen zum Schlammalter-Modell	274
6.4	Automatische Betriebsführung auf der Grundlage reaktionstechnischer Modelle	278
6.4.1	Aufgabenstellung beim Großklärwerk Isai	278
6.4.2	Ist-Zustand der örtlichen Gegebenheiten in Iasi	278
6.4.3	Betriebliche Grundüberlegungen zur ABF	278
6.4.4	ABF – verfahrenstechnische Beschreibung	280
6.4.4.1	Die $(\theta_C)_{\text{Modell}, T=20^\circ\text{C}}$ -Prozessführung	280
6.4.4.2	Die $(\theta_C)_{\text{emp., } T=20^\circ\text{C}}$ -Prozessführung	290
6.4.4.3	Prozessführung nach $(\theta_C)_{\text{Handbetrieb}, T=20^\circ\text{C}}$	290
6.5	ABF – IASI – Bemerkungen/Ausblick	291
7	„State of the Art“ in der Klärtechnik und Bio-Verfahrenstechnik	295
7.1	Einleitender Überblick	295
7.2	Kommentar/Ausblick	299

8	Fest-Flüssig-Trennung in statischen Klärern und Eindickern	303
8.1	Abwassertechnische Klassifizierung von Suspensionen	303
8.2	Modellerstellung für Fest-Flüssig-Trenneinheiten	307
8.3	Zwischenbemerkungen/Ausblick	307
9	Gleichmäßiges Absetzen versus Fluidisation	309
9.1	Theoretische Grundüberlegungen	309
9.2	Modellansätze bei Absetz-/Fluidisierungsprozessen	311
9.3	Bemerkungen zu „zone-settling“ und Fluidisierungsansätzen	323
10	Die „limiting-solids-flux-theory“ – Fallstudien	329
10.1	Theoretische Aspekte	329
10.2	Sedimentation-Fallstudien	339
10.2.1	Prozessanalyse kompakt ausflockender Partikel	339
10.2.1.1	Laborvorschrift – Allgemeines	339
10.2.1.2	Diskussion der Ergebnisse	340
10.2.1.3	Zwischenbemerkungen	348
10.2.2	Fallstudie – Schwach ausflockende Partikel	349
10.2.2.1	Allgemein	349
10.2.2.2	Labor-Versuchsdurchführung	350
10.2.2.3	Prozessanalyse und Diskussion der Ergebnisse	352
10.2.2.4	Zwischenbemerkungen	361
10.3	Schlussbemerkungen zur Modellerstellung mittels Sedimentationsversuchen	361
11	Einbindung der Flockenkompression bei Belebtschlammern in die Massen-Flux-Theorie	367
11.1	Schlammkompression – <i>State of the Art</i>	367
11.2	Aufgabenstellung	370
11.3	Versuchsplanung und -durchführung	370
11.4	Theoretische Grundüberlegungen	379
11.4.1	Der Kurgaev'sche Kompressionsansatz	379
11.4.1.1	Erweiterung des Kurgaev'schen Modells	383
11.4.2	Der Coulson-Richardson-Kompressionsansatz (CR)	385
11.4.2.1	Erweiterung des CR-Kompressionsansatzes	386
11.5	Diskussion der Ergebnisse	388
11.6	Dimensionierung eines statischen Eindickers	397
11.7	Schlammkompression – Schlussbemerkungen	399
12	Schlusswort – Ausblick	409
	Stichwortverzeichnis	419