

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	X
Indizes	XII
Griechische Symbole	XIII
Häufig benutzte dimensionslose Kenngrößen	XIV
Abkürzungen	XIV
Zeichen	XV
1 Einführung	1
1.1 Biotechnologie – Definition und Überblick	1
1.2 Bioprozeßtechnik – Inhalt und Ausbildungsziel	5
Literatur	10
2 Die Bioprozeßtechnik und ihre Arbeitsprinzipien	11
2.1 Prozeßentwicklung	11
Produktionsstamm	11
Ausgangssituationen	12
Vorgangsweisen der Prozeßentwicklung	13
Prozeßentwicklung ohne mathematische Modelle	15
2.2 Grundbegriffe zur Quantifizierung von Bioprozessen	17
Geschwindigkeit von Bioprozessen	19
Stöchiometrie	23
Grundkonzept einer einheitlichen Nomenklatur der Bioprozeßkinetik	23
Produktivität	25
2.3 Arbeitsprinzipien der Bioprozeßtechnik	28
Prinzip des Vereinfachens	31
Prinzip des Quantifizierens	32
Prinzip des Trennens	32
Prinzip des mathematischen Modellierens	33
2.4 Mathematische Modelle	39
Wozu werden Modelle gebraucht?	41
Modellbildung	41
Statistische Methoden	45
Statistische Grundbegriffe und Berechnungsgleichungen	46
Regressionsanalyse	48
Literatur	51

3 Bioreaktoren	53
3.1 Überblick: Industrielle Reaktoren	53
Mikrobiologische Reaktoren (Fermenter und Abwasseranlagen)	53
Enzymreaktoren	55
Sterilisatoren	57
3.2 Systematisierung der Bioreaktoren	57
Homogene bzw. heterogene Systeme	57
Operationsweisen	59
Mischungszustand der Reaktoren	59
3.3 Quantifizierungsmethoden	62
Mischzeit t_m und Mischgüte m	62
Verweilzeitverteilung (VZV)	64
1-d-Dispersionsmodell	65
Tank-in-Serie-Modell	67
O ₂ -Transportgeschwindigkeit (OTR)	70
O ₂ -Ausnutzungsgrad η_{O_2}	75
Leistungsaufwand P	75
O ₂ -Ertrag (-Ökonomie) O ₂ -E	75
Hinterlandsverhältnis (HI)	75
Wärmetransportgeschwindigkeit (Δ HTR)	76
Charakteristische Größe der biokatalytischen Masse	79
Vergleich prozeßtechnischer Daten von Bioreaktoren	79
Biologische Testsysteme	81
3.4 Operationsweisen und Bioreaktorkonzepte	82
3.5 Bioreaktormodelle	87
Modell 1: Der ideale diskontinuierliche Rührkessel (dkRK)	88
Modell 2: Der ideale kontinuierliche Rührkessel (kRK) mit $V = \text{konstant}$	88
Modell 3: Der ideale semikontinuierliche Rührkessel (skRK) mit $V = \text{variabel}$	89
Modell 4: Der ideale kontinuierliche Rohrreaktor (kRR)	90
Modell 5: Realer kRR mit Dispersion	91
Literatur	94
4 Prozeßkinetische Analyse	97
4.1 Situation in den verschiedenen Bioreaktoren	97
4.2 Test auf Pseudohomogenität	99
4.3 Ermittlung kinetischer Daten mit Bioreaktoren	104
Integrale und differentielle Reaktoren	104
Integrale und differentielle Auswertungsmethode	107
Ergebnisse der differentiellen und integralen Analyse: Linearisierungsdiagramme	110
4.4 Heterogene Modellansätze	117
Externe Transportlimitierung	119
Interne Transportlimitierung	120
Transportbeschleunigung	122
Literatur	126
5 Formalkinetik von Bioprozessen	128
5.1 Temperaturabhängigkeit: $k(T)$	129

5.2	Mikrokinetische Ansätze aus der Kinetik chemischer und enzymatischer Reaktionen	133
5.3	Grundmodelle des Wachstums und Substratverbrauches in homogenen Systemen $\mu(S)$: Einfache Funktionen	136
	Wachstum von Myzelien und Pellets	136
	Funktion $\mu(t)$	139
	Instationäre Kinetik: $\mu_{\max}(t)$ und $K_S(t)$	141
	Funktion $Y(t)$	142
	S-Inhibition	142
	Funktion $\mu(\text{pH})$	144
	Endogener Stoffwechsel	144
5.4	Grundmodelle der Produktbildung	146
	Wärmebildung bei Fermentationen	151
5.5	Modelle heterogener Bioprozesse	152
5.6	Kinetik von Multi-komponenten Systemen	156
	Multi-S-Kinetik (Fermentations-, Abwassertechnik)	157
	Mischpopulation	162
	Pseudokinetik	163
	Mehrkomponentensysteme der Lebensmitteltechnik	164
	Literatur	165
6	Prozeßentwurf: Methoden der Voraussage des Umsatzes bzw. der Produktivität	169
6.1	1-Phasen(L-)Reaktoren vom Typ des kRK: 1-stufiger kRK	170
	Mehrstufige kRK (kRK-Kaskade)	172
	kRK mit Zellrückführung	173
6.2	1-Phasen(L-)Reaktoren: Vergleich zwischen idealem kRR und idealem kRK	175
	Fermentationsprozesse zur Produktion sekundärer Metaboliten	175
	Sterilisation	176
	Lebensmitteltechnik	177
	Prozesse mit Enzymkinetik (Wachstumsprozesse der Fermentationstechnik und Enzymtechnik)	177
6.3	1-Phasen(L-)Reaktoren mit beliebiger Verweilzeit und Mikro-Mischung	181
	Graphische Methode	181
	Berechnung	182
6.4	Pseudohomogenes Modell für Film-Bioreaktoren	183
	Kinetik als geschwindigkeitsbestimmender Schritt	184
	Transportvorgänge als geschwindigkeitsbestimmender Schritt	184
6.5	G/L-Reaktormodell für Bioprozesse	185
6.6	Schlußwort	187
	Literatur	188
	Sachverzeichnis	190