

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5	
Der Autor	6	
Symbolverzeichnis	13	
1	Einleitung	17
1.1	Zellen als Biokatalysatoren	17
1.2	Fermentationsprozesse	18
1.3	Geschichtliche Entwicklung	20
1.4	Gliederung des Buches	21
1.5	Weiterführende Literatur	22
2	Mikroorganismen	23
2.1	Erscheinungsformen	23
2.2	Struktur und Zusammensetzung	24
2.3	Fermentationsorganismen	26
2.3.1	Bakterien	26
2.3.2	Hefen	27
2.3.3	Schimmel	28
2.4	Stoffwechsel	29
3	Wachstum von Mikroorganismen	33
3.1	Wachstumskinetik	33
3.1.1	Zellteilungsmodell	33
3.1.2	Zellmassemmodell	34
3.1.3	MONOD-Gleichung	35
3.1.4	Alternativen zum MONOD-Modell	39
3.1.5	Einfluß von physikalischen Faktoren	40
3.2	Produktbildung	42
3.3	Substratverbrauch	44
3.4	Sauerstoffbedarf	48
3.5	Wärmeproduktion	51
3.6	Aufgaben	52
3.7	Lösungen	53

4	Fermentationsprozesse	55
4.1	Fermentermodellierung	55
4.2	Batch-Fermentation	60
4.3	Fed-Batch-Fermentation	63
4.4	Konti-Rührfermenter	66
4.4.1	Basisgleichungen	66
4.4.2	Gleichgewichtszustand	68
4.4.3	Dynamisches Verhalten	72
4.4.4	Zellen-Rezirkulation	73
4.4.5	Rührkesselskaskaden	79
4.5	Röhrenreaktoren	80
4.6	Industrielle Anwendungen	80
4.7	Aufgaben	82
4.8	Lösungen	83
5	Beispiel Ethanol	87
5.1	Anaerobes Wachstum	87
5.2	Technische Gärung	89
5.3	Wein	93
5.4	Bier	94
5.5	Aufgabe	94
5.6	Lösung	95
6	Fermentationspraxis	99
6.1	Industrielle Substrate	99
6.2	Sterilisation	102
6.2.1	Inaktivierungskinetik der Mikroorganismen	103
6.2.2	Medium-Sterilisation	104
6.2.3	Sterilisation des Fermenters	105
6.2.4	Sterilisation der Luft	105
6.2.5	Sterilisation anderer Flüssigkeiten	106
6.3	Steriltechnik	106
6.3.1	Reinigung	107
6.3.2	Sterilisation	108
6.3.3	Dichtungen	109
6.4	Impfkulturen	110
6.4.1	Impfgutkonserven	110
6.4.2	Impfgutvermehrung	110
6.5	Fermentation	112
6.6	Aufgaben	114
6.7	Lösungen	115

7	Transportprozesse	117
7.1	Mischen	117
7.2	Stoffübergang	120
7.3	Stoffübergang von einzelnen Gasblasen	124
7.4	Wärmeübergang	127
7.5	Schaum	129
7.6	Fermentertypen	132
7.7	Aufgaben	132
7.8	Lösungen	133
8	Rührkessel-Fermenter	135
8.1	Rührer und Strömungsbild	135
8.2	Leistungseintrag	138
8.3	Flüssigkeitsmischung	141
8.4	Gasmischung	143
8.5	Gasgehalt	143
8.6	Stoffübergang	143
8.7	Wärmeübergang	146
8.8	Maßstabsvergrößerung	147
8.9	Aufgaben	148
8.10	Lösungen	149
9	Beispiel Backhefe	151
9.1	Aerobe Fermentation	151
9.2	Prozeßablauf	153
9.3	Fermenterauslegung	155
9.3.1	Substratbedarf	156
9.3.2	Sauerstoffbedarf	156
9.3.3	Rührerauslegung	157
9.3.4	Sauerstoffzufuhr	159
9.3.5	Substratzulauf	160
9.3.6	Gasgehalt	162
9.3.7	Leistungseintrag durch die Gasphase	162
9.3.8	Wärmeabfuhr	163
9.3.9	Fermentationsverlauf	164
9.3.10	Prozeßoptimierung	166
9.3.11	Prozeßbestätigung	168
9.4	Aufgabe	169
9.5	Lösungen	169

10	Blasensäulen-Fermenter	171
10.1	Strömungsbild	171
10.2	Leistungseintrag	172
10.3	Flüssigkeits-Mischung	173
10.4	Gas-Mischung	174
10.5	Gasverteilung	174
10.6	Gasgehalt	178
10.7	Stoffübergang	179
10.8	Wärmeübergang	180
10.9	Vergleich Blasensäule-Rührkessel	181
10.10	Scale-up von Blasensäulen	182
10.11	Schlaufenreaktoren	183
10.12	Aufgaben	187
10.13	Lösungen	188
11	Beispiel Einzellerprotein	191
11.1	Der Beginn	191
11.2	Der Prozeß	194
11.3	Fazit	197
11.4	Aufgaben	197
11.5	Lösungen	198
12	Messen und Regeln	199
12.1	Messung von gelöstem Sauerstoff	201
12.2	Messung der Biomasse	202
12.3	Gasanalyse	203
12.3.1	Massenspektrometrie	203
12.3.2	Paramagnetische Sauerstoffmessung	205
12.3.3	Infrarotmessung von Kohlendioxyd	205
12.4	Enzymelektroden	205
12.5	Prozeßregelung	206
12.6	Regelstrategie	209
12.7	Computereinsatz	211
12.8	Aufgabe	213
12.9	Lösung	213

13	Aufarbeitung	217
13.1	Biomasseabtrennung	218
13.1.1	Sedimentation	218
13.1.2	Filtration	219
13.1.3	Zentrifugation	222
13.1.4	Prozeßauswahl	225
13.2	Zellaufschluß	226
13.3	Metabolit-Isolation	227
13.4	Integrierte Prozesse	232
13.5	Konfektionierung der Produkte	232
13.6	Aufgaben	235
13.7	Lösungen	235
14	Beispiel Penicillin	237
14.1	Fermentation	238
14.2	Kinetik	239
14.3	Aufarbeitung	242
14.4	Aufgabe	247
14.5	Lösung	248
15	Kosten und Wirtschaftlichkeit	251
15.1	Produktkosten	252
15.2	Investitionskosten	253
15.3	Wirtschaftlichkeitsbeurteilung	256
15.4	Projektentwicklung	256
15.5	Prozeßoptimierung	260
15.6	Beispiel Penicillinkosten	260
15.7	Aufgabe	263
15.8	Lösung	264
Anhang 1 und 2: Computerlistings		265
Literaturverzeichnis		271
Sachwortverzeichnis		275