

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Einführung</b>	1
1.1 Automatisierung in der Bioprozeßtechnik	3
1.2 Problemstellung und Vorgehensweise	7
<b>2 Automatisierte Analyse der Substratkonzentration</b>	9
2.1 Meßsystem	9
2.2 Probenahmesystem	11
2.3 Analysensystem	17
<b>3 Entwurf des Reglers für die Substratkonzentration</b>	26
3.1 Modell des Bioreaktors und des Meßsystems	26
3.1.1 Reaktormodell	26
3.1.2 Biologisches Modell	29
3.1.3 Lokales zeitdiskretes Prozeßmodell	33
3.2 Regelungskonzept	40
3.2.1 Herleitung der Reglergleichungen	40
3.2.2 Zustandsdarstellung des Reglers	48
3.3 Untersuchung des linearisierten Regelkreises	51
3.3.1 Stabilitätsgrenzen	51
3.3.2 Untersuchung der funktionalen Zusammenhänge	57
3.3.3 Berechnung der Reglerparameter	68
3.4 Simulationsergebnisse	73
3.4.1 Simulation mit konstanten Reaktorparametern	76
3.4.2 Simulation von instationär betriebenen Bioreaktoren	80
<b>4 Erweiterung des Regelungskonzeptes</b>	86
4.1 Mehrgrößenregelung	86
4.1.1 Herleitung der Reglergleichungen	87
4.1.2 Reglergleichungen für den Zweigrößenfall	94
4.1.3 Zustandsdarstellung des Zweigrößenreglers	98
4.1.4 Simulationsergebnisse	101
4.1.5 Linearisierter Zweigrößenregler	105

---

4.2 Erweiterung des Reaktormodells	111
4.2.1 Bioreaktor mit inhibierendem Produkt	111
4.2.2 Bioreaktor mit immobilisierter Biomasse	115
4.2.3 Bioreaktor mit Biomasserückführung	123
4.2.4 Universelles Reaktormodell	128
<b>5 Regelung verschiedener biotechnischer Prozesse</b>	<b>130</b>
5.1 Konzept zur experimentellen Validierung der Regelung	130
5.2 Versuchsaufbau	133
5.3 Regelversuche an Rührkesselreaktoren	136
5.3.1 Experiment mit freier Biomasse in einem steril betriebenen Reaktor	136
5.3.2 Experimente unter dem Einfluß verschiedener Prozeßstörungen	138
5.4 Regelversuche an Airliftschlaufenreaktoren	145
5.4.1 Experiment mit schnell wachsenden und immobilisierenden Mikroorganismen	145
5.4.2 Experiment mit langsam wachsenden und immobilisierenden Mikroorganismen	148
5.5 Fazit der Regelversuche	153
<b>6 Zusammenfassung</b>	<b>155</b>
<b>7 Anhang</b>	<b>158</b>
7.1 Linearisierung des Substratkonzentrationsreglers	158
7.2 Berechnungen zum 2-Substrat-Konzentrationsregler	164
7.2.1 Linearisierung der Reglergleichungen	164
7.2.2 Sonderfall der normierten Verdünnungsrate	172
7.3 Berechnungen zu den Prozeßmodellen	174
7.3.1 Diskretisiertes Prozeßmodell	174
7.3.2 Eigenschaften des linearisierten Reaktormodells	178
7.3.3 Näherungslösung für die volumenbezogene Substratverbrauchsrate	180
<b>8 Literaturverzeichnis</b>	<b>181</b>
<b>9 Verzeichnis der Formelzeichen und Abkürzungen</b>	<b>191</b>