

Dipl.-Ing. Uwe Schaffranietz, Frankfurt

**Kombination von  
modellgestützten und  
wissensbasierten Verfahren  
zur Regelung des  
Nitrifikationsprozesses**

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-  
und Regelungstechnik

Nr. **563**

## INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT.....	III
INHALTSVERZEICHNIS .....	V
SYMBOLVERZEICHNIS .....	IX
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2 STAND DER TECHNIK.....</b>	<b>3</b>
2.1 Modellierung der biologischen Stickstoffeliminierung.....	3
2.1.1 Reaktionsgleichungen für den biologischen Stoffumsatz.....	4
2.1.2 Kopplung zwischen Energie- und Baustoffwechsel.....	5
2.1.3 Wachstumskinetik.....	6
2.2 Einsatz modellgestützter Verfahren.....	8
2.3 Einsatz wissensbasierter Verfahren.....	11
2.3.1 Direkte Anordnung von Fuzzy-Systemen.....	13
2.3.2 Übergeordnete Fuzzy-Systeme .....	15
<b>3 DAS PROZEßMODELL .....</b>	<b>19</b>
3.1 Modellierung der Nitrifikation im Rührkesselreaktor .....	20
3.1.1 Stoffumsatzgeschwindigkeit.....	21
3.1.2 Bilanzgleichungen.....	25
3.1.3 Dissoziation der Verbindungen .....	31
3.1.4 Ladungsbilanz.....	40
3.1.5 Differentialgleichung für den pH-Wert .....	46

---

3.1.6 Konzentrationsdifferenz in der Gasphase .....	54
3.2 Modellierung des Sedimenters.....	57
3.3 Modellierung der pH-Wert-Regelung .....	60
3.4 Empirisches Prozeßwissen .....	61
<b>4 DAS REGELUNGSKONZEPT .....</b>	<b>63</b>
<b>5 MODELLGESTÜTZTE MESSUNG DER STOFFUMSATZGESCHWINDIGKEITEN.....</b>	<b>67</b>
5.1 Modellgleichung für die Sauerstoffkonzentration.....	69
5.2 Modellgleichung für den pH-Wert.....	72
5.3 Meßgleichungen für die Stoffumsatzgeschwindigkeiten.....	82
5.4 Dynamische Eigenschaften der Meßgeräte .....	87
5.5 Dynamische Korrektur der Meßgeräte .....	91
5.6 Meßergebnisse.....	95
<b>6 SCHÄTZUNG DER AUSLASTUNGSRADE DER BAKTERIENGATTUNGEN .....</b>	<b>101</b>
6.1 Rekursive Zustandsschätzung mit minimaler Varianz.....	102
6.2 Prozeßmodell zur Schätzung der Auslastungsgrade.....	106
6.3 Simulationsergebnisse .....	110
<b>7 DER WISSENSBASIERTE REGELALGORITHMUS .....</b>	<b>115</b>
7.1 Grundlagen der Fuzzy-Regelung.....	115
7.2 Entwurf des Fuzzy-Reglers.....	122
7.2.1 Zugehörigkeitsfunktionen.....	124
7.2.2 Regelbasis.....	127
7.3 Simulationsergebnisse.....	132
7.4 Optimierung des Fuzzy-Reglers .....	137

---

<b>8 EXPERIMENTELLE ERGEBNISSE.....</b>	<b>143</b>
<b>9 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....</b>	<b>153</b>
<b>ANHANG: PARAMETER UND KONSTANTEN.....</b>	<b>155</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>161</b>