

FORTSCHRITT-
BERICHTE

VDI

Dipl.-Ing. Germán Giacomán Vallejos, Bremen

Dynamische Prozeßsimulation der biologischen Abwasser- behandlung in gekoppelten Prozeßsystemen

Reihe **15**: Umwelttechnik

Nr. **200**

HLuHB Darmstadt



14130519

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	1
2 Stand des Wissens	3
2.1 Reaktionskinetik der biologischen Umsetzung	3
2.1.1 Mikroorganismenwachstum und -zerfall	3
2.1.1.1 Zellwachstum	3
2.1.1.2 Wachstumshemmung	7
2.1.1.2.1 Hemmung durch Inhibition und/oder Substrat ...	8
2.1.1.2.2 Wachstumsaktivatoren und allosterische Enzyme	10
2.1.1.3 Einfluß der Umgebungsbedingungen	13
2.1.1.3.1 Temperatureinfluß	13
2.1.1.3.2 pH-Wert und Ionenstärke	14
2.1.1.4 Mikroorganismenzerfall	15
2.1.1.4.1 Sterberate und Zelltod	15
2.1.1.4.2 Der Zerfall von Mikroorganismen und die Lysie- rungsrate	16
2.1.2 Betrachtung des Gesamtwachstums der Mikroorganismen: Wachstum und Zerfall	16
2.1.3 Populationsdynamik in Konkurrenzsituation	17

2.2 Modellierung der Transportprozesse in Makro- und Mikrosystem der Abwasserreinigung	19
2.2.1 Beschreibung der Transportvorgänge (Hydrodynamik) in verfahrenstechnischen Reaktoren	19
2.2.2 Modellierung der Diffusions- und Reaktionsprozesse in der Bioflocke	29
2.3 Modellierung von Belebungsanlagen	34
2.3.1 Stöchiometrie der biologischen Umwandlungsreaktionen	34
2.3.2 Bilanzgleichung für das Belebungsbecken	37
2.3.3 Bilanzgleichung für das Nachklärbecken	44
3 Erweiterte Modellierung der Transport- und Umwandlungsprozesse in biologischen Abwasserreinigungsanlagen	51
3.1 Explizite Modelle zur Beschreibung der Transport- und Umwandlungsprozesse in Makrosystemen	51
3.1.1 Das Vermischungsverhalten im Belebungsbecken mit Bypassführung	51
3.1.2 Stofftransport mit überlagerter biochemischer Reaktion	59
3.2 Betrachtung des Mikrosystems - Modellierung der Diffusions- und Reaktionsprozesse in der Bioflocke	61
3.2.1 Diffusiver Stofftransport in Bioflocken	61
3.2.2 Anwendung des Modells zur Berechnung der Überschussschlammproduktion	65
3.3 Erweiterte Ansätze zur Beschreibung der Kinetik des Biomassewachstums und -zerfalls	69
3.3.1 Mikroorganismenwachstum	70

3.3.1.1 Zellwachstum	70
3.3.1.2 Wachstumsinhibierung und -aktivierung	70
3.3.1.3 Populationsdynamik in Konkurrenzsituationen	71
3.3.2 Biomassezerfall	72
3.3.2.1 Erhaltungsenergie	72
3.3.2.2 Endogene Atmung	73
3.3.2.3 Absterbephase und Zelltod	76
3.3.2.4 Die Gesamt-Zerfallsrate der Mikroorganismen	77
3.3.2.5 Lysierungsrate	78
3.3.3 Betrachtung des Gesamtwachstums der Mikroorganismen: Wachstum und Zerfall	80
3.3.4 Einfluß der Umgebungsbedingungen	81
4 Erweiterte Modellierung von Abwasserreinigungsanlagen	82
4.1 Stöchiometrie der biologischen Umwandlungsreaktion	82
4.1.1 Stöchiometrie des Kohlenstoffabbaus	82
4.1.2 Stöchiometrie der Stickstofftransformation	88
4.1.2.1 Ammoniumoxidation	89
4.1.2.2 Nitritoxidation	90
4.1.3 Denitrifikation	92
4.2 Modellierung der Prozeßschritte für die Abwasserreinigung	93
4.2.1 Aerobe Verfahren	94

4.2.1.1	Bilanzierung des Kohlenstoffabbaus	94
4.2.1.2	Bilanzbeschreibung für die Nitrifikation	106
4.2.1.2.1	Ammoniumoxidation	106
4.2.1.2.2	Nitritoxidation	108
4.2.2	Anoxische Bedingungen	109
4.2.2.1	Bilanzbeschreibung für die Denitrifikation	109
4.3	Bilanzgleichung für das Nachklärbecken	112
4.4	Zusammenfassende Modellierung einer Belebungsanlage	117
5	Ergebnisdiskussion und Schlußfolgerungen	118
5.1	Der stationäre Zustand	118
5.1.1	Verteilung des Abwasserstroms entlang des Beckens	118
5.1.2	Abwasserzugabe am Kopf des Beckens	120
5.1.2.1	Wachstumsgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der endogenen Atmung und des Sterbens sowie der Lysierung ..	120
5.1.2.2	Einfluß des Verweilzeitverhaltens und die Reaktions- kinetik auf die Reinigungsleistung	121
5.1.2.3	Analyse der Betriebsstabilität mit Hilfe des "Walker- Diagramms"	125
5.1.2.4	Umsatzgrad in Abhängigkeit von der Verweilzeit, der Reaktionsordnung und der Vermischung	125
5.1.2.5	Prozeßbeschreibung mit Hilfe der dimensionslosen Damköhler-Zahl	126

5.1.2.6	Charakterisierung der den Umsatzgrad bei der Abwasserreinigung bestimmenden Phänomene	128
5.1.2.7	Substratversorgung des Biokatalysators	131
5.1.2.8	Kopplung von Stoffübergang und Reaktion am Biokatalysator sowie deren Einfluß auf den Umsatzgrad	133
5.1.2.9	Überschußschlammproduktion bei sauerstoff- bzw. substratlimitierter Umsetzung	134
5.2	Der dynamische Zustand	137
5.2.1	Dynamisches Verhalten bei konstanter Zulaufbelastungen	138
5.2.1.1	Restkonzentration im Belebungs- und Nachklärbecken während eines Betriebszeitintervalls der Anlaufphase	138
5.2.1.2	Einfluß des Rücklaufverhältnisses auf die Restkonzentration in der Anlaufphase	141
5.2.1.3	Einfluß der vollständigen und abgestuften Belüftung auf die Restkonzentration	143
5.2.1.4	Statistische Bewertung des Prozeßablaufs	144
5.2.1.5	Charakterisierung der Inbetriebnahme von biologischen Abwasserreinigungsanlagen auf der Grundlage statistischer Bewertungen	145
5.2.2	Dynamisches Verhalten der Anlage bei veränderlichen Zulaufbelastungen	146
5.2.2.1	Wirkung einer plötzlichen Störung im Zulauf auf die Abbauleistung einer Belebungsanlage	146
5.2.2.2	Wirkung einer regelmäßigen dynamischen Belastung der Anlage auf die erzielbare Substratkonzentration im Ablauf	147

5.2.2.3	Statistische Bewertung des Prozeßverlaufs zur Charakterisierung der Betriebssicherheit bei vollständiger und abgestufter Belüftung	148
5.2.2.4	Wirkung einer regelmäßigen dynamischen Belastung der Anlage mit unterschiedlicher Schwankungsbreite in der Zulaufkonzentration auf die erzielbare Substratkonzentration im Ablauf	149
5.2.2.5	Wirkung einer regelmäßigen dynamischen Belastung der Anlage durch einen veränderlichen Zulaufvolumenstrom auf die Substratkonzentration im Ablauf	150
5.2.2.4	Entwicklung von Regelungs- und Steuerungsstrategien zur Verbesserung der Betriebsstabilität von Abwasserbehandlungsanlagen	151
5.3	Schlußfolgerung	152
5.4	Ausblick	155
6	Anhang	157
6.1	Anhang A	157
6.2	Anhang B	159
6.3	Anhang C	162
6.4	Anhang D	170
6.5	Anhang E	196
6.6	Anhang F	212