

Dipl.-Ing. Lars Heinze, Berlin

**Mikrobiologischer Abbau von  
4-Nitrophenol, 2,4-Dinitro-  
phenol und 2,4-Dinitrotoluol  
in synthetischen Abwässern**

Reihe **15**: Umwelttechnik

Nr. **167**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	- 1 -
2	Bekannte Ergebnisse und Zielsetzungen .....	- 1 -
2.1	4-Nitrophenol .....	- 2 -
2.1.1	Verwendung, Herstellung und chemisch-physikalische Eigenschaften .....	- 2 -
2.1.2	Produktionsmenge und Eintrag in die Umwelt .....	- 3 -
2.1.3	Toxizität .....	- 3 -
2.1.4	Abbau-Mechanismen .....	- 4 -
2.1.5	Umgebungsbedingungen für den mikrobiologischen Abbau .....	- 5 -
2.1.6	Nitrifikation simultan zum Abbau von 4-Nitrophenol .....	- 6 -
2.1.7	Kinetische Untersuchungen zum 4-Nitrophenol-Abbau .....	- 6 -
2.1.8	Umsetzung von 4-Nitrophenol in kontinuierlich betriebenen Systemen .....	- 7 -
2.1.9	Offene Fragen .....	- 7 -
2.2	2,4-Dinitrophenol .....	- 8 -
2.2.1	Verwendung, Herstellung und chemisch-physikalische Eigenschaften .....	- 8 -
2.2.2	Produktionsmengen und Eintrag in die Umwelt .....	- 8 -
2.2.3	Toxizität .....	- 9 -
2.2.4	Abbaumechanismen für 2,4-Dinitrophenol .....	- 9 -
2.2.5	Umgebungsbedingungen für den biologischen Abbau von 2,4-Dinitrophenol .....	- 11 -
2.2.6	Abbau in Batch-Versuchen .....	- 11 -
2.2.7	Kinetische Untersuchungen zum 2,4-Dinitrophenol-Abbau .....	- 11 -
2.2.8	Abbau von 2,4-Dinitrophenol in kontinuierlichen Versuchen .....	- 12 -
2.2.9	Offene Fragen zum aeroben Abbau von 2,4-Dinitrophenol .....	- 12 -
2.3	2,4-Dinitrotoluol .....	- 13 -
2.3.1	Verwendung, Herstellung und chemisch-physikalische Eigenschaften .....	- 13 -
2.3.2	Produktionsmengen und Eintrag in die Umwelt .....	- 13 -
2.3.3	Mikrobieller Abbau .....	- 13 -
2.3.4	Umsetzung in kontinuierlich betriebenen Systemen .....	- 14 -
2.3.5	Offene Fragen .....	- 15 -
2.4	Zielsetzung der eigenen Untersuchungen und Wahl der Versuchsmethoden .....	- 15 -
3	Verwendete Medien, Versuchsanlagen und Messmethoden .....	- 17 -
3.1	Verwendete Medien .....	- 17 -
3.1.1	Substrat-Zusammensetzung für 4-Nitrophenol .....	- 17 -
3.1.2	Substrat-Zusammensetzung für 2,4-Dinitrophenol .....	- 18 -
3.1.3	Substrat-Zusammensetzung für 2,4-Dinitrotoluol .....	- 19 -
3.2	Beschreibung der verwendeten Versuchsanlagen .....	- 19 -
3.2.1	Der Festbett-Umlauf-Reaktor für 4-Nitrophenol und 2,4-Dinitrophenol .....	- 19 -
3.2.2	Miniaturisierter Festbett-Umlauf-Reaktor für 2,4-Dinitrotoluol .....	- 22 -
3.2.3	Fed-Batch- und Batch-Reaktor .....	- 23 -
3.2.4	Biomasse-Vorrats-Reaktor .....	- 24 -

3.3	Chemische und physikalische Messmethoden	- 26 -
3.3.1	Probe-Entnahme, -Aufbereitung und -Konservierung	- 26 -
3.3.2	Photometrische Bestimmung von 4-Nitrophenol und 2,4-Dinitrophenol	- 26 -
3.3.3	Gaschromatographische Bestimmung von 2,4-Dinitrotoluol	- 27 -
3.3.4	Untersuchung der Biomasse	- 27 -
3.3.4.1	Bestimmung der Biomasse als organischer Trockenstoff	- 28 -
3.3.4.2	Bestimmung der Biomasse als Protein	- 28 -
3.3.4.3	Differenzierung der verwendeten Organismen	- 28 -
3.3.4.4	Elektronen-Mikroskopie	- 28 -
3.3.5	Messung des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC)	- 28 -
3.3.6	Bestimmung des anorganisch gebundenen Stickstoffs	- 28 -
3.3.7	Sonstige Messverfahren	- 29 -
4	Reaktionstechnische Grundlagen der Versuchsauswertung	- 29 -
4.1	Modelle zur Beschreibung des Wachstums von Mikroorganismen	- 29 -
4.2	Ermittlung von Ertragskoeffizienten	- 31 -
4.3	Bilanzierungen an den Versuchsanlagen	- 34 -
4.3.1	Bilanzen am Festbett-Umlauf-Reaktor	- 35 -
4.3.1.1	Substrat-Bilanz am Festbett-Umlauf-Reaktor	- 35 -
4.3.1.2	Stickstoff-Bilanz am Festbett-Umlauf-Reaktor	- 36 -
4.3.1.3	Sauerstoff-Bilanz am Festbett	- 36 -
4.3.2	Bilanzierungen an Batch-Reaktoren	- 37 -
4.3.2.1	Auswertung nach Monod bei annähernd konstanter Bakterien-Konzentration	- 37 -
4.3.2.2	Auswertung nach Monod unter Berücksichtigung des Biomasse-Wachstums	- 38 -
4.3.3	Bilanzierung von Versuchen im geregelten Fed-Batch-Reaktor	- 38 -
5	Ergebnisse zum Abbau von 4-Nitrophenol	- 41 -
5.1	Abbau im Festbett-Umlauf-Reaktor	- 41 -
5.1.1	Inbetriebnahme des Festbett-Umlauf-Reaktors	- 41 -
5.1.2	Kontinuierlicher Abbau im Festbett-Umlauf-Reaktor	- 41 -
5.1.2.1	Vereinzelung und Identifizierung der gebildeten Mischkultur	- 42 -
5.1.2.2	Abhängigkeit der Substrat-Umsetzungsgeschwindigkeit im Festbett-Umlauf-Reaktor von der 4-Nitrophenol-Konzentration	- 44 -
5.1.2.3	Vergleich der eigenen Ergebnisse mit Angaben aus dem Schrifttum	- 46 -
5.1.3	Überprüfung der Mineralisierung durch die DOC-Bestimmung	- 47 -
5.1.4	Sauerstoff-Verbrauch im Festbett-Umlauf-Reaktor	- 47 -
5.1.5	Ergebnisse der Stickstoff-Bilanzierung am Festbett-Umlauf-Reaktor	- 49 -
5.1.5.1	Hemmung der Nitrifikation durch 4-Nitrophenol	- 49 -
5.1.5.2	Ermittlung der molaren Stickstoff-Ertragskoeffizienten aus der Element-Bilanz	- 51 -
5.1.5.3	Überprüfung des gemessenen $Y^{\circ}_{O_2/S}$ und Absicherung der verwendeten Element-Bilanz	- 51 -
5.1.6	Berechnung des Ertragskoeffizienten $Y^{\circ}_{B/S}$ aus der Element-Bilanz	- 52 -
5.1.7	Bruttoreaktionsgleichung des Anabolismus und Katabolismus	- 54 -
5.2	Begleitende kinetische Untersuchungen	- 54 -

5.3	Zusammenfassung der Ergebnisse zum Abbau von 4-Nitrophenol .....	- 57 -
6	Ergebnisse zum Abbau von 2,4-Dinitrophenol .....	- 58 -
6.1	Abbau im kontinuierlich betriebenen Festbett-Umlauf-Reaktor .....	- 58 -
6.1.1	Umstellung des Festbett-Umlauf-Reaktors von 4-Nitrophenol auf 2,4-Dinitrophenol .....	- 58 -
6.1.2	Kontinuierlicher Abbau im Festbett-Umlauf-Reaktor .....	- 58 -
6.1.2.1	Beschreibung des Abbaus im Festbett-Umlauf-Reaktor in Abhängigkeit von der Substrat-Konzentration .....	- 62 -
6.1.2.2	Auswertung zweier instationärer Betriebsphasen .....	- 63 -
6.1.2.3	Überprüfung der Mineralisierung durch die DOC-Bestimmung .....	- 67 -
6.1.3	Sauerstoff-Verbrauch im Festbett-Umlauf-Reaktor .....	- 68 -
6.1.4	Stickstoff-Bilanz am Festbett-Umlauf-Reaktor .....	- 69 -
6.1.4.1	Ermittlung der molaren Stickstoff-Ertragskoeffizienten aus der Element-Bilanz .....	- 69 -
6.1.4.2	Überprüfung des ermittelten Ertragskoeffizienten $Y^{\circ}_{O_2/S}$ zur Absicherung der verwendeten Element-Bilanz .....	- 70 -
6.1.5	Berechnung von $Y^{\circ}_{B/S}$ aus den Element-Bilanzen .....	- 71 -
6.1.6	Bruttoreaktionsgleichung des Anabolismus und Katabolismus .....	- 72 -
6.2	Begleitende kinetische Untersuchungen zum Abbau von 2,4-DNP .....	- 73 -
6.2.1	Untersuchungen zum Abbau von 2,4-DNP im Batch-Reaktor .....	- 73 -
6.2.2	Kinetische Untersuchungen zum Abbau von 2,4-Dinitrophenol im Fed-Batch-Reaktor .....	- 74 -
6.3	Zusammenfassung der Ergebnisse zum Abbau von 2,4-DNP .....	- 76 -
7	Ergebnisse zum Abbau von 2,4-Dinitrotoluol .....	- 78 -
7.1	Abbau in Batch-Versuchen .....	- 78 -
7.1.1	2,4-Dinitrotoluol als Stickstoff-Quelle im Batch-Versuch .....	- 78 -
7.1.2	Berechnung von $Y^{\circ}_{B/S}$ aus Batch-Versuchen ohne zusätzliche Stickstoff-Quelle .....	- 79 -
7.1.3	Berechnung von $Y^{\circ}_{O_2/S}$ aus $Y^{\circ}_{NO_2/S}$ .....	- 80 -
7.1.4	Bruttoreaktionsgleichung des Anabolismus und Katabolismus .....	- 82 -
7.1.5	Bestimmung der Abbau-Kinetik .....	- 82 -
7.2	Abbau im kontinuierlich betriebenen miniaturisierten Festbett-Umlauf-Reaktor .....	- 85 -
7.3	Zusammenfassung der Ergebnisse zum Abbau von 2,4-Dinitrotoluol .....	- 86 -
8	Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick .....	- 88 -
Anhang	.....	- 90 -
Literatur	.....	- 95 -