

Dipl.-Ing. Adrian Saupe, Berlin

**Sequentielle chemisch-
biologische Behandlung von
Modellabwässern mit
2,4-Dinitrotoluol, 4-Nitroanilin
und 2,6-Dimethylphenol unter
Einsatz von Ozon**

Reihe **15**: Umwelttechnik

Nr. **189**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	- 1 -
2	Bekannte Ergebnisse	- 2 -
2.1	Biologischer Abbau der untersuchten Substanzen	- 2 -
2.1.1	Abbau von Nitroaromaten	- 3 -
2.1.1.1	2,4-Dinitrotoluol (2,4-DNT)	- 4 -
2.1.1.2	4-Nitroanilin (4-NA)	- 6 -
2.1.2	Abbau von 2,6-Dimethylphenol (2,6-DMP)	- 8 -
2.1.3	Weiterer Forschungsbedarf	- 12 -
2.2	Ozonisierung	- 13 -
2.2.1	Eigenschaften und technisch-wirtschaftliche Bedeutung von Ozon	- 13 -
2.2.2	Wichtige Einflußparameter bei der Ozonisierung	- 15 -
2.2.3	Reaktionsmechanismen von Ozon	- 17 -
2.2.4	Kinetik der Direkt- und Radikal-Reaktionen	- 19 -
2.3	Filmtheoretische Aspekte der Ozonisierung im heterogenen System	- 21 -
2.3.1	Stoffübergang und Reaktion im Zweifilm-Modell	- 21 -
2.3.2	Praktischer Nutzen filmtheoretischer Betrachtungen bei der Ozonisierung	- 27 -
2.4	Modellierung und Simulation der Ozonisierung	- 30 -
2.4.1	Grundlagen	- 30 -
2.4.2	Reaktionskinetisches Modell	- 31 -
2.4.2.1	Ozonisierung synthetischer Abwässer im <i>heterogenen</i> System	- 31 -
2.4.2.2	Ozonisierung im kontinuierlich betriebenen Rohrreaktor unter <i>homogenen</i> Bedingungen	- 33 -
2.4.3	Zusammenfassende Bewertung der Ansätze zur Modellierung und Simulation	- 34 -
2.4.4	Praxis der Auslegung technischer Ozonisierungsprozesse	- 35 -
2.5	Ozonisierung ausgewählter Aromaten	- 35 -
2.5.1	Nicht-phenolische Nitroaromaten	- 35 -
2.5.1.1	Stickstoffhaltige organische Abbauprodukte	- 37 -
2.5.2	Methylsubstituierte Phenole	- 39 -
2.6	Chemisch-biologische Behandlung	- 41 -
2.6.1	Grundlagen und Anwendungsgebiete	- 41 -
2.6.2	Chemisch-biologische Behandlung von Aromaten	- 43 -
3	Schlußfolgerungen für die Planung der eigenen Untersuchungen ..	- 46 -
4	Versuchsbeschreibung und eingesetzte Stoffe	- 47 -
4.1	Verwendete Lösungen	- 47 -

4.2	Versuche zur Ozonisierung	- 48 -
4.2.1	Batch-Versuche im Rührreaktor	- 48 -
4.2.2	Batch-Versuche in einer Blasensäule und in Schlaufenreaktoren	- 50 -
4.3	Batch-Versuche zur chemisch-biologischen Behandlung	- 51 -
4.4	Kontinuierliche Versuche	- 52 -
5	Meßgrößen und Versuchsauswertung	- 56 -
5.1	Probenahme und Probenaufbereitung	- 56 -
5.2	Meßgrößen	- 56 -
5.2.1	Gaschromatographische Messungen	- 56 -
5.2.1.1	2,4-Dinitrotoluol (2,4-DNT)	- 56 -
5.2.1.2	2,6-Dimethylphenol (2,6-DMP)	- 56 -
5.2.2	Photometrische Messungen	- 57 -
5.2.2.1	4-Nitroanilin (4-NA)	- 57 -
5.2.2.2	Gelöstes Ozon	- 57 -
5.2.2.3	Nitrit und Nitrat	- 58 -
5.2.3	Summenparameter CSB und DOC	- 58 -
5.2.4	Sonstige Meßgrößen	- 58 -
5.3	Auswertung	- 59 -
5.3.1	Spezifischer Ozonbedarf	- 59 -
5.3.2	Substratbilanz	- 60 -
5.3.3	Umsatzkoeffizienten	- 60 -
6	Versuchsergebnisse und Diskussion	- 61 -
6.1	Batch-Ozonisierung	- 61 -
6.1.1	Dinitrotoluol (2,4-DNT)	- 61 -
6.1.2	4-Nitroanilin (4-NA)	- 67 -
6.1.3	Dimethylphenol (2,6-DMP)	- 73 -
6.1.4	Zusammenfassung und Bewertung der Versuche zur Batch- Ozonisierung der drei Modellschadstoffe	- 78 -
6.2	Biologischer Abbau der Oxidationsprodukte	- 80 -
6.2.1	Dinitrotoluol (2,4-DNT) und Nitroanilin (4-NA)	- 80 -
6.2.2	Dimethylphenol (2,6-DMP)	- 83 -
6.2.3	Zusammenfassung der Ergebnisse der chemisch-biologischen Behandlung und Vergleich mit Literaturangaben	- 88 -
7	Ergebnisse und Diskussion der kontinuierlichen Versuche	- 90 -
7.1	Schadstoffelimination durch Ozonisierung	- 90 -
7.1.1	Dinitrotoluol (2,4-DNT) und Nitroanilin (4-NA)	- 90 -

7.1.2	Nitrat-Bildung und Auftreten stickstoffhaltiger organischer Abbauprodukte	- 92 -
7.1.3	Dimethylphenol (2,6-DMP)	- 93 -
7.2	DOC-Abbau durch die kontinuierliche sequentielle chemisch- biologische Behandlung	- 93 -
7.2.1	Dinitrotoluol (2,4-DNT) und Nitroanilin (4-NA)	- 93 -
7.2.2	Dimethylphenol (2,6-DMP)	- 95 -
7.2.3	Vergleich der Ergebnisse für die drei Modellschadstoffe unter Einbeziehung von Literaturangaben	- 96 -
7.3	Biologische Abbaubarkeit der kontinuierlich erzeugten Oxidationsprodukte	- 98 -
7.3.1	Globale Klassifizierung der Oxidationsprodukte	- 98 -
7.3.2	Adaptation der Bakterien-Mischkultur im nachgeschalteten Bioreaktor an den Abbau der 4-NA-Oxidationsprodukte	- 99 -
7.3.3	Cometabolischer Abbau der Nitroaromaten im nachgeschalteten Festbettreaktor	- 100 -
8	Ozon-Einsparpotentiale durch die chemisch-biologische Behandlung	- 102 -
8.1	Möglichkeiten der Ozoneinsparung	- 102 -
8.2	Diskussion der Verfahrensvarianten	- 104 -
9	Zusammenfassung	- 109 -
Anhang A	Berechnungen und Texte	- 112 -
	Konkurrenz-Reaktionen (competition kinetics)	- 112 -
	Ozonbilanz für Batch-Versuche	- 113 -
	Ozonbilanz für kontinuierliche Versuche	- 115 -
Anhang B	Bilder	- 116 -
Anhang C	Tabellen	- 120 -
Literatur	- 140 -