

1	Einleitung	1
2	Biologischer Abbau von Kohlenwasserstoffen	3
2.1	Biologischer Abbau von gesättigten Kohlenwasserstoffen (GKW)	3
2.1.1	Metabolismus des Alkanabbaus	4
2.1.2	Die Bedeutung der Biotenside für den Abbau von Alkanen	5
2.1.2	Kinetik des Abbaus von Alkanen	8
2.2	Biologischer Abbau von aromatischen Kohlenwasserstoffen	14
2.2.1	Biologischer Abbau von alkylierten Benzolen (BTX)	15
2.2.2	Biologischer Abbau von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK)	20
2.2.2.1	Metabolismus des PAK-Abbaus	21
2.2.2.2	Kinetik und Mechanismus des PAK-Abbaus	25
2.2.3	Biologischer Abbau von substituierten Phenolen	29
2.2.3.1	Phenol und methylierte Phenole	32
2.2.3.2	Chlorierte Phenole	35
3	Biologische Verfahren zur Reinigung von Abwässern mit problematischen Inhaltsstoffen	40
3.1	Kontaminierte Grund- und Prozeßwässer der Altlastensanierung	40
3.2	Abwässer der Kohleveredlung	41
3.3	Abwässer der petrochemischen Industrie	44
4	Einsatz von Ozon zur chemischen Oxidation von Wasserinhaltsstoffen	44
4.1	Reaktionsmechanismen des Ozons mit Wasserinhaltsstoffen	45
4.2	Verbesserung des biologischen Abbaus durch Ozonierung	48
4.3	Einsatz von Ozon zur Behandlung von Problemabwässer	49
5	Ziele der eigenen Untersuchungen	53
6	Material und Methoden	54
6.1	Beschreibung der Versuchsanlage	54
6.2	Beschreibung der eingesetzten Grundwässer	60
6.2.1	Öl/Wasser-Emulsion, hergestellt aus Altölkonzentrat vom Pintschgelände (Pintschabwasser)	60
6.2.2	Grundwasser von einem Berliner Gaswerksgelände	60
6.2.3	Synthetisches Abwasser mit substituierten Phenolen	61
6.3	Meßverfahren	63
6.3.1	Probenahme und Aufbereitung	63

6.3.2	Messung des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB)	63
6.3.3	Messung des organischen Kohlenstoffs (TOC)	63
6.3.4	Messung des anorganischen Kohlenstoffs (IC)	63
6.3.5	Messung der Biomassekonzentration	64
6.3.6	Messung der Konzentration der PAK	64
6.3.7	Messung der Konzentration der Phenole	65
6.3.8	Messung der Ammonium-, Nitrit- und Nitratkonzentration	66
6.3.9	Messung der Konzentration des gelösten Sauerstoffs und des Molenbruchs des Sauerstoffs in Zu- und Abluft	66
6.3.10	Messung des Molenbruchs des Kohlenstoffs in Zu- und Abluft	66
6.3.11	Sonstige Meßgrößen	67
6.4	Auswertung	68
6.4.1	Abbaugrad	68
6.4.2	Umsatzgeschwindigkeiten	68
6.4.3	Ertragskoeffizienten	72
6.4.4	Prozeßüberwachung durch On-line-Messungen	73
6.4.4.1	Beschreibung des aeroben Stoffwechsels von Mikroorganismen durch Elementarbilanzen	73
6.4.4.2	Ermittlung der Substrataustrittskonzentration eines Bioreaktors durch die Anwendung von On-line-Meßtechnik	77
7	Ergebnisse und Diskussion	80
7.1	Ergebnisse mit einer Öl/Wasser-Emulsion, hergestellt aus Altölkonzentrat vom Pintschgelände (Pintschabwasser)	80
7.1.1	Inbetriebnahme der Versuchsanlage	80
7.1.2	Erhöhung der hydraulischen Belastung der Versuchsanlage	81
7.1.3	Variation der Schadstoffkonzentration im Zulauf	82
7.1.4	On-line-Überwachung der Versuchsanlage durch die Messung der Sauer- stoffverbrauchs- und Kohlendioxidbildungsgeschwindigkeit	84
7.1.5	Untersuchungen zum Einfluß der Ozonierung auf die Schadstoffreduktion und den nachfolgenden biologischen Abbau	86
7.1.5.1	Einfluß des pH-Wertes auf die Schadstoffreduktion beim Einsatz von Ozon	86
7.1.5.2	Einfluß der Ozondosis auf dem nachfolgenden biologischen Abbau im Batchbetrieb	87
7.1.5.3	Einfluß der Ozonierung auf den nachfolgenden biologischen Abbau in der Versuchsanlage	87
7.1.6	Elimination der PAK in der Versuchsanlage	89
7.1.7	Weitere Untersuchungen zur Klärung der Eliminationsursache der PAK	93
7.1.7.1	Schadstoffelimination durch den Abzug von Überschußschlamm	93
7.1.7.2	Schadstoffelimination durch Strippung	95

VII

7.1.7.3	Schadstoffelimination durch Adsorption an Aktivkoks	98
7.1.8	Vergleich des Betriebs der Versuchsanlage mit unterschiedlichen Trägermaterialien	101
7.1.9	Vergleich verschiedener Trägermaterialien zur Immobilisierung von Mikroorganismen in Airlift-Schlaufenreaktoren	103
7.2	Ergebnisse mit Grundwasser von einem Gaswerksgelände	106
7.2.1	Inbetriebnahme der Versuchsanlage mit GASAG-Grundwasser	106
7.2.2	Stationärer Betrieb der Versuchsanlage	106
7.2.3	Variation des Ozoneintrages in den Ozonreaktor	109
7.2.4	Variation der Verweilzeit	109
7.2.5	On-line-Überwachung der Versuchsanlage durch die Messung der Sauerstoffverbrauchs- und Kohlendioxidbildungsgeschwindigkeit	110
7.3	Ergebnisse mit synthetischem Grundwasser mit methylierten und chlorierten Phenolen	113
7.3.1	Elimination der Phenole in der Versuchsanlage	113
7.3.2	Vergleich der Schadstoffelimination der Einzelstoffe mit Summenparametern (CSB, TOC)	119
7.3.3	On-line-Überwachung der Versuchsanlage durch die Messung der Sauerstoffverbrauchs- und Kohlendioxidbildungsgeschwindigkeit	122
7.3.4	Begleitende Untersuchungen zum Abbau methylierter und chlorierter Phenole	124
7.3.5	Untersuchungen der Oxidation von substituierten Phenolen mit anschließendem biologischen Abbau	126
8	Zusammenfassung	128
	Anhang	130
	Herleitung	131
	Literaturverzeichnis	133
	Tabellen	151