

**Multifunktionales System zur Reinigung von
Abwässern aus der Leim- und
Klebstoffindustrie: Abtrennung von
Feststoffen und Entfernung gelöster
Bestandteile mittels dotierter Membranen**

Von der Fakultät für Naturwissenschaften
der Universität Paderborn
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften
Dr. rer. nat.

genehmigte Dissertation

von
Joachim Kleine
aus
Paderborn

Paderborn, April 2003

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von Mai 1997 bis April 2003 im Department Chemie der Universität Paderborn angefertigt.

Referent: Prof. Dr. H.-J. Warnecke
Korreferent: Prof. Dr. G. Fels

Tag der Abgabe: 23. April 2003
Tag der mündlichen Prüfung: 16. Mai 2003

TC-Schriftenreihe

Band 15

Joachim Kleine

**Multifunktionales System zur Reinigung von
Abwässern aus der Leim- und Klebemittelindustrie:
Abtrennung von Feststoffen und Entfernung
gelöster Bestandteile mittels dotierter Membranen**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag
Aachen 2003

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2003

Copyright Shaker Verlag 2003

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-1851-3

ISSN 1433-6499

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Herrn Prof. Dr. Hans-Joachim Warnecke möchte ich für die interessante Themenstellung, die bei der Bearbeitung gewährten Freiräume und auch für die Gelegenheit, das rein Fachliche übersteigende Lebenserfahrung zu sammeln, danken.

Herrn Prof. Dr. Gregor Fels danke ich für die Übernahme des Korreferates sowie für die Zusammenarbeit auf dem Gebiet der oxidativen Aufbereitung von Eluatwässern.

Maik Hinrichs danke ich für die im Rahmen seiner Diplomarbeit gewonnenen Erkenntnisse und für die auch darüber hinaus geleistete Unterstützung meiner Arbeit.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Dr. Klaus-Viktor Peinemann für die Zusammenarbeit. Sein persönliches Engagement hat die Herstellung der dotierten Membranen ermöglicht. Auch allen involvierten Mitarbeitern des GKSS Forschungszentrums in Geesthacht danke ich für die Kooperation und die freundliche Aufnahme bei meinen Besuchen dort.

Herrn Prof. Dr. Claus Schuster und Thomas Vieth danke ich für die Einweisung in den für mich neuen Bereich der Fällung/Flockung sowie die Möglichkeit, in Meschede in einem freundlichen Umfeld die entsprechenden Untersuchungen durchzuführen.

Weiterhin gilt mein Dank Herrn PD Dr. Dieter Bothe für die Einführung in die mathematische Modellierung und die tatkräftige Unterstützung.

Der Weidmüller-Stiftung danke ich für die im Rahmen eines Promotionsstipendiums gewährte finanzielle Unterstützung.

Natürlich wäre meine Promotionszeit nicht dieselbe gewesen ohne Dirk, Hermann, Kristin, Martin und Oliver. Auf ihren Rat und ihre freundschaftliche Zusammenarbeit konnte ich mich zu jeder Zeit verlassen und an unsere Gespräche, auch abseits rein chemischer Themen, werde ich mich immer gern erinnern.

Schließlich müssen hier auch alle anderen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter genannt werden, die bei Problemen immer ansprechbar sind und insgesamt für eine angenehme Arbeitsatmosphäre in der Halle NW sorgen.

Last, but not least, will ich meinen Eltern für die jahrelange Unterstützung in jeder Hinsicht während Studium und Promotion danken. Sie haben einen großen Anteil an dem Erreichten.

„Wer sich nicht mehr wundern oder in Ehrfurcht verlieren kann, der ist seelisch bereits tot.“

Albert Einstein

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Aufgabenstellung	1
2	Stand der Technik	3
2.1	Halbleiter-Photokatalyse	3
2.1.1	Advanced Oxidation Processes (AOPs)	3
2.1.2	Photokatalytische Oxidation	4
2.1.3	Mechanismen der Photokatalyse	10
2.1.4	Kinetische Beschreibungen	12
2.1.5	Photokatalytische Reaktoren	13
2.2	Reaktive Membranen in der Abwasseraufbereitung	16
2.2.1	Membrananlagen	16
2.2.2	Membranreaktoren	17
2.2.3	Katalytische Membranen	17
2.3	Aufbereitung von Klebstoffabwässern	19
2.3.1	Abwässer aus der Leim- und Klebmittelindustrie	19
2.3.2	Gegenwärtiges Verfahren	20
2.3.3	Flockung - Fällung - Flotation	21
3	Entfernung partikulärer Bestandteile	27
3.1	Voruntersuchungen	27
3.2	Planung der realen Verfahrensschritte	33
3.3	Abtrennung der Feststoffmasse im Dekanter	33
3.4	Nachbereitung des Klarlaufs durch eine Flotation	37
3.5	Zusammenfassung	39
4	Abbau gelöster organischer Komponenten	43
4.1	Material und Methoden	43
4.1.1	Chemikalien und Reagenzien	43
4.1.2	Analytik	43
4.2	Membranherstellung und Modulkonzipierung	44
4.2.1	Membranmaterial	45
4.2.2	Herstellung der dotierten Membranen	46
4.2.3	Konfiguration der Membranen	47

4.2.4	Konstruktion eines photokatalytisch aktiven Membranmoduls	50
4.3	Abbau synthetischer Abwässer	51
4.3.1	Versuchsaufbau	51
4.3.2	Abbau von 4-Chlorphenol	51
4.3.3	Einfluss des pH-Wertes	53
4.3.4	Einfluss der Ausgangskonzentration	55
4.3.5	Einfluss des gelösten Sauerstoffs	58
4.3.6	Vergleich verschiedener Titandioxid-Präparate	59
4.3.7	Abbau anderer Ausgangsverbindungen	60
4.3.8	Vergleich anfänglicher Abbaugeschwindigkeit mit Literaturdaten	62
4.4	Mathematische Modellierung	63
4.4.1	Aufstellen der Modellgleichungen	63
4.4.2	Lösung der Gleichungen	66
4.5	Leim- und Klebemittelabwässer	75
4.5.1	Zustand der Abwässer nach der Vorbehandlung	75
4.5.2	Photokatalytische Behandlung im Membranreaktor	75
4.5.3	Reinigung durch Adsorption der Organik	77
5	Zusammenfassung und Ausblick	81