

Beitrag zur Untersuchung des Langzeitverhaltens von Unterwasserkabeln

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieurin (Dr.-Ing.)

der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik
der Universität Rostock



vorgelegt von

Dipl.-Ing. Cindy Koldrack
geb. am 01.10.1981 in Rostock
aus Rostock

Rostock
September 2008

Rostocker Meerestechnische Reihe
herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. habil. Mathias Paschen

Band 4/2009

Cindy Koldrack

**Beitrag zur Untersuchung des Langzeitverhaltens
von Unterwasserkabeln**

Shaker Verlag
Aachen 2009

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Zugl.: Rostock, Univ., Diss., 2008

Copyright Shaker Verlag 2009

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8303-2

ISSN 1868-7636

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Gutachter

- Prof. Dr.-Ing. Mathias Paschen, Universität Rostock, Lehrstuhl für Meerestechnik
- Prof. Dr.-Ing. Gerhard Scharr, Universität Rostock, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/Leichtbau
- Prof. Dr.-Ing. Günter Ackermann, Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Elektrische Energiesysteme und Automation

Prüfungstermin: 25.11.2008

Vorwort und Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Meerestechnik an der Universität Rostock im Rahmen meiner Aktivität im gleichnamigen Forschungsprojekt.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Mathias Paschen für die Betreuung der Promotion, die hilfreichen Diskussionen und Anregungen sowie das stete Interesse am Fortgang der Arbeit.

Den Herren Prof. Dr.-Ing. Gerhard Scharr und Prof. Dr.-Ing. Günter Ackermann danke ich für die Erstellung der Zweitgutachten.

Herrn Dr. Uwe Rudolf von der LEONI AG danke ich für die gute Zusammenarbeit im Forschungsprojekt, für den regelmäßigen fachlichen Austausch sowie die Bereitstellung der zahlreichen Proben durch die Firma LEONI.

Bedanken möchte ich mich auch bei den Mitarbeitern des Lehrstuhls Meerestechnik für die schöne und kollegiale Zeit sowie für die anregenden und interessanten Diskussionen.

Weiterhin bin ich den folgenden Mitarbeitern anderer Lehrstühle und Institute für die Hilfe bei der Durchführung verschiedenster Untersuchungen zu Dank verpflichtet:

- Prof. Klaus-Peter Schmitz, Prof. Detlef Behrend, Dr. Katrin Sternberg und Martina Schröder vom Institut für Biomedizinische Technik für die Möglichkeit der Nutzung der Instituts-Technik, für wertvolle Tipps zur Bearbeitung der Thematik, für die Durchführung der Infrarot-Spektroskopie sowie für die Hilfe bei den Rasterelektronenmikroskop-Analysen
- Dr. Gerd Niedzwiedz vom Lehrstuhl für Meeresbiologie für die Realisierung der Untersuchungen am Künstlichen Riff, für die Tauchsätze und die Unterwasserfotografien

- Stefan Weinreben und Willi Kröger vom Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) für die Kabeluntersuchungen im Druckkessel
- Prof. Gerhard Scharr und Lutz Schlegel vom Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/Leichtbau für die zahlreichen Zugversuche
- Prof. Hermann Seitz vom Lehrstuhl für Fluidtechnik/Mikrofluidik für die Nutzung des Umwelt-Simulations-Schranks
- Prof. Christoph Schick, Dr. Andreas Wurm und Renate Nareyka vom Lehrstuhl Polymerphysik für die Durchführung der Dynamischen Differenzkalorimetrie
- Prof. Kerstin Thurow und Dr. Dirk Gördes vom Lehrstuhl für Automatisierungstechnik/Life Science Automation für die Durchführung der Gaschromatographie-Massenspektrometrie
- Dr. Jochen Lehmann und Dagmar Klasen vom Lehrstuhl für Allgemeine Physikalische Chemie für die Möglichkeit der Dichtebestimmung
- Dr. Christof Schygula vom Lehrstuhl für Aquatische Ökologie für die Bewuchsanalyse der am Künstlichen Riff gelagerten Kabel
- Prof. Peter Leinweber und Dr. Gerald Jandl vom Lehrstuhl für Bodenkunde für die Durchführung der Pyrolyse-Feldionisation-Massenspektrometrie

Besonders bedanken möchte ich mich auch bei meiner Familie für die wertvolle Unterstützung in den letzten Jahren.

Marco danke ich für seine Liebe und dafür, immer für mich dagewesen zu sein.

Rostock, im September 2008

Cindy Koldrack

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	XI
Abkürzungsverzeichnis	XIII
Symbolverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
2 Stand der Wissenschaft und Technik	5
2.1 Wissenschaftliche Publikationen zum Langzeitverhalten von Unterwasser- kabeln	5
2.2 Normen zur Prüfung von Unterwasserkabeln	9
2.3 Zusammenfassung	11
3 Theoretische Grundlagen	13
3.1 Belastungen von Unterwasserkabeln	13
3.1.1 Biologische Belastungen	13
3.1.2 Chemische Belastungen	14
3.1.3 Physikalische Belastungen	15
3.2 Alterung von Polymeren	17
3.3 Diffusion in Polymeren	21
3.3.1 Die Fick'schen Diffusionsgesetze	23
3.3.2 Die Arrhenius-Theorie	29
3.4 Zusammenfassung	34
4 Experimentelle Untersuchungen	37
4.1 Ermittlung der Wasseraufnahme von Kabelisolierungen	37
4.1.1 Untersuchungen an Mantelproben	38
4.1.2 Untersuchungen an Plattenproben	55

4.2	Ermittlung der mechanischen Eigenschaften von Kabelisolierungen	66
4.2.1	Versuchsaufbau	66
4.2.2	Durchführung	67
4.2.3	Ergebnisse	69
4.2.4	Diskussion	71
4.3	Ermittlung der elektrischen Eigenschaften von Kabelisolierungen	74
4.3.1	Untersuchungen an Adern im Wasserbad	75
4.3.2	Untersuchungen an Kabeln im Wasserbad	84
4.3.3	Untersuchungen an Kabeln im Druckkessel	92
4.3.4	Untersuchungen an Kabeln in der Klimakammer	97
4.4	Simulation eines praxisrelevanten Anwendungsfalles: Lagerung von Kabeln in der Ostsee	101
4.4.1	Versuchsaufbau	101
4.4.2	Durchführung	102
4.4.3	Ergebnisse	104
4.4.4	Diskussion	107
4.5	Zusammenfassung	110
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	113
6	Ausblick	117
	Literaturverzeichnis	119