

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

Band 11/2016

**Mathias Paschen
Peggy Kissmann
Karsten Breddermann**

**Isolationseigenschaften von silikonartigen
Vergusswerkstoffen und Isoliermaterialien
für den Einsatz in der Tiefsee**

Shaker Verlag
Aachen 2016

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.

Copyright Shaker Verlag 2016

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4472-0

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

Vorwort

Die Tiefsee gewinnt auf Grund der dort vorhandenen mineralischen Rohstoffe eine immer größere Bedeutung für die Versorgung der Weltbevölkerung.

Exploration und Förderung dieser Rohstoffe setzen jedoch die Verfügbarkeit von marktreifen, d.h. zuverlässigen, leistungsfähigen und umweltschonenden Unterwassersystemen voraus.

Die enorm hohen Drücke und die niedrigen Temperaturen in der Tiefsee sowie die hohe Salinität des Meerwassers stellen zum Teil extreme Anforderungen an die Unterwassersysteme bzgl. Festigkeit und Dichtheit sowie Korrosionsbeständigkeit und Langzeitstabilität dar. Infolge dieser Belastungen stoßen die so genannten Druckkammersysteme zumeist rasch an ihre Einsatzgrenzen.

So genannte druckneutrale Systeme scheinen eine Alternative zu bieten. Diese sind bzgl. ihres Konzeptes druckkompensierten Systemen ähnlich, bei denen die Baugruppen unmittelbar dem Umgebungsdruck ausgesetzt sind. Bei druckneutralen Systemen wird die Kompensationsflüssigkeit – zumeist Öle oder Leichtbenzin – durch inkompressible Elastomere wie Silikone oder Polyurethan ersetzt.

Obwohl die Pioniere druckneutraler Systeme, wie die ENITECH Energietechnik – Elektronik GmbH [1] über langjährige praktische Erfahrungen im Umgang mit Vergussmaterialien verfügen, fehlen dennoch wissenschaftlich belegbare Erkenntnisse über das Verhalten von silikonartigen Vergussystemen für druckneutrale elektronische Baugruppen und Kabel im seewassergesättigten Zustand über lange Zeiträume in der Tiefsee.

Aus diesem Grunde wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhabens ***Druckneutrale Systeme Tiefsee (DNS)***¹ auch an der Entwicklung wissenschaftlicher Methoden zur sicheren Voraussage von erforderlichen Mindestvergussdicken und notwendigen Isolationsabständen in silikonartigen Vergussystemen für Langzeitmissionen von Unterwassersystemen gearbeitet.

Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in dieser Schrift zusammengefasst.

Ein Schwerpunkt war die Alterung polymerer Vergussmassen unter dem besonderen Aspekt der Aufnahme von Wasser infolge von Diffusion.

Es ist bekannt, dass die Alterung von Polymeren zu unerwünschten Veränderungen elektrischer und mechanischer Eigenschaften führt, die die Funktionsfähigkeit übergeordneter technischer Systeme insgesamt signifikant beeinträchtigen können. Die experimentellen Analysen wie auch die Herbeiführung beschleunigter Materialalterungen wurden auf Grundlage wissenschaftlich bereits validierter Methoden durchgeführt. Parallel dazu wurden auch Betrachtungen zum Haftvermögen von Vergussmassen an Gehäusen angestellt, die aus

¹ Förderkennzeichen 03SX276D

unterschiedlichen Materialien hergestellt waren, eine glatte Oberfläche besaßen und sich unter einem hohen Umgebungsdruck befanden.

Die Untersuchungen fanden vorrangig in Normseewasser nach den Vorschriften der DIN 50905, Teil 4 [27] statt.

Für ausgewählte Untersuchungen kam auch deionisiertes Wasser zur Anwendung. Die Zweckmäßigkeit, deionisiertes Wasser bei diesen Materialanalysen einzusetzen, resultiert aus Erfahrungen, die bei früheren Untersuchungen an ähnlichen Materialien (hier Kabelmantelmaterialien) gewonnen werden konnten. So registrierte Koldrack [3] bei der Verwendung von deionisiertem Wasser eine deutlich höhere Wasseraufnahme der untersuchten Polymere als bei Leitungswasser oder Meerwasser, was sie auf die deutlich unterschiedlichen Ionenkonzentrationen im destillierten Wasser im Vergleich zu den anderen beiden Flüssigkeiten zurückführte.

Bei der Auswahl der zu analysierenden Vergussmassen wurden die Erfahrungen und Empfehlungen der im Projekt mitwirkenden Unternehmen berücksichtigt.

Die gewonnenen Daten und entwickelten Methoden wurden in Form von Grafiken, Tabellen und mathematischen Gleichungen auf Grundlage von Messdaten systematischer Langzeittests unter reproduzierbaren Laborbedingungen erarbeitet.

Die Untersuchungsergebnisse stellen in der vorliegenden Form eine Erweiterung des bisherigen Wissens auf dem Gebiet der Alterung / Langzeitverwendbarkeit von Vergussmassen für marine Anwendungen dar.

Danksagung

An dieser Stelle sei allen am Forschungsvorhaben Beteiligten für die erfolgreiche Mitwirkung gedankt. Namentlich erwähnen möchten wir Herrn Univ.-Prof. Dr. Detlef Behrend, Leiter des Lehrstuhls Werkstoffe für die Medizintechnik, der uns bei der Durchführung der Zugversuche sowohl durch die Bereitstellung entsprechender Messtechnik als auch personell großzügig unterstützte.

Ebenso danken wir den Firmen *ENITECH* Energietechnik – Elektronik GmbH und *EvoLogics* GmbH sowie der *TU Berlin* und dem *Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde* für die partnerschaftliche Zusammenarbeit.

Dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gilt unser Dank für die finanzielle Förderung des Vorhabens.

Unser besonderer Dank gilt der Leiterin des Förderprogramms „Maritime Technologien der nächsten Generation“ beim Projektträger Jülich PtJ, Frau Dipl.-Ing. Elke Pross, für die vertrauensvolle Zusammenarbeit sowohl in der Entwicklungsphase als auch während der Bearbeitung des Vorhabens.

In unseren Dank beziehen wir auch all jene Mitarbeiter des Lehrstuhls Meerestechnik mit ein, die außerhalb ihrer eigenen Forschungs- und Lehrtätigkeit regen Anteil am Fortgang der Untersuchungen hatten.

Rostock im Februar 2016

Mathias Paschen, Peggy Kissmann & Karsten Breddermann

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Aufgaben	1
1.2 Allgemeine Anforderungen an druckneutrale Systeme für den Unterwassereinsatz	2
2 Wasseraufnahme von Haut- und Einbettungsvergüssen	5
2.1 Alterungsvorgänge in Vergussmaterialien	5
2.1.1 Ursachen der Alterung	6
2.1.2 Wasseraufnahme durch Diffusion.....	10
2.2 Probenherstellung	14
2.3 Versuchsbedingungen	17
2.4 Versuchsmethodik	18
2.5 Ergebnisse und Diskussion	20
2.5.1 Wasseraufnahme an verschiedenen Vergussmaterialien	20
2.6 Fehlerbetrachtungen.....	36
3 Elektrische Prüfungen an Vergussmassen	37
3.1 Isolationswiderstandsmessungen an Vergussmaterialien	37
3.1.1 Versuchsaufbau und -durchführung.....	38
3.1.2 Ergebnisse und Diskussion	39
3.2 Schaltungsstruktur zur Isolationswiderstandsmessung von Verguss- massen unter Wasser bei hohem Druck.....	43
3.2.1 Methode.....	43
3.2.2 Ergebnisse und Diskussion	46
4 Drucktests an kompletten Gehäusen	55
4.1 Drucktank und Druckverlauf	55
4.2 Ergebnisse von Untersuchungen im Drucktank	57

4.2.1	Analyse der Materialanbindung zwischen Vergussmasse und angrenzendem Material	57
4.2.2	Komplette Baugruppen und Unterwasserkabel	62
5	Resümee	71
6	Literaturverzeichnis	73