



Verdrehwiderstände bewehrter Elastomerlager

Von der Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
der Ruhr-Universität Bochum zur Erlangung
des Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) genehmigte

Dissertation

von

Tobias Block

Bochum, im August 2010

Schriftenreihe des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau

Herausgeber:
Geschäftsführender Direktor des
Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau
Ruhr-Universität Bochum

Heft 2010-4

Tobias Block

Verdrehwiderstände bewehrter Elastomerlager

Shaker Verlag
Aachen 2010

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.: Bochum, Univ., Diss., 2010

Copyright Shaker Verlag 2010

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9463-2

ISSN 1614-4384

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 vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 2005 bis 2010 während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Ruhr-Universität Bochum. Sie wurde von der Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften als Dissertation angenommen.

Herrn Professor Dr.-Ing. R. Kindmann danke ich für die Betreuung und Unterstützung meiner Arbeit sowie die Möglichkeit, sie an seinem Lehrstuhl durchführen zu können. Des Weiteren gilt mein Dank Herrn Professor Dr.-Ing. R. Breitenbücher für sein Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme des zweiten Berichtes.

Besonders danken möchte ich Herrn Dr.-Ing. W. Hanenkamp. Seine fachliche Kompetenz trug in zahlreichen Diskussionen zum erfolgreichen Gelingen dieser Arbeit bei. Weiterhin gilt mein Dank allen Kollegen des Bereiches Konstruktionsteilprüfung, ohne die die zahlreichen experimentellen Untersuchungen nicht zu bewältigen gewesen wären.

Herrn Dr.-Ing. H. Eggert und Herrn Dipl.-Ing. W. Kauschke möchte ich für die Anregung zu dieser Arbeit und den wertvollen Erfahrungsaustausch danken. Dies gilt in gleicher Weise für Herrn Dipl.-Ing. L. Gerlach von der MPA Karlsruhe für das Ermöglichen der vergleichenden Untersuchungen zu Rückstellmomenten.

Bei den Firmen MAURER SÖHNE, München, und BBR VT INTERNATIONAL, Schwerzenbach, bedanke ich mich herzlich für die Bereitstellung der umfangreichen Versuchsmaterialien.

Nicht zuletzt gebührt mein größter Dank meiner Familie und meiner Frau Peggy, die mir jederzeit den nötigen Rückhalt während der Entstehung dieser Arbeit gegeben haben.

Bochum, im August 2010

Tobias Block

Tag der Einreichung: 16. März 2010
Tag der mündlichen Prüfung: 07. Juni 2010

Fachgutachter: Prof. Dr.-Ing. R. Kindmann
Lehrstuhl für Stahl-, Holz-, und Leichtbau
Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr.-Ing. R. Breitenbücher
Lehrstuhl für Baustofftechnik
Ruhr-Universität Bochum

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung und Zielsetzung	1
1.2	Bezeichnungen	6
2	Bewehrte Elastomerlager und ihre Eigenschaften	9
2.1	Anwendungsbereiche	9
2.2	Herstellung	10
2.3	Molekularer Aufbau und mechanische Eigenschaften	12
2.3.1	Allgemeines	12
2.3.2	Hyperelastizität	12
2.3.3	Mullins Effekt	15
2.3.4	Kriechen und Relaxation	15
2.3.5	Temperatureinfluss	16
3	Experimentelle Untersuchungen	19
3.1	Einleitung	19
3.2	Druckversuche	19
3.2.1	Vorbemerkungen	19
3.2.2	Versuchsaufbau	19
3.2.3	Versuchsprogramm	22
3.2.4	Versuchsergebnisse	24
3.3	Schubversuche	31
3.3.1	Vorbemerkungen	31
3.3.2	Versuchsaufbau	32
3.3.3	Versuchsprogramm	35
3.3.4	Versuchsergebnisse	38
3.4	Verdrehversuche	42
3.4.1	Vorbemerkungen	42
3.4.2	Versuchsaufbau	44
3.4.3	Versuchsprogramm	47
3.4.4	Versuchsergebnisse	48
3.4.5	Validierung der Ergebnisse	65
3.4.6	Tieftemperaturversuche	72
3.5	Relaxationsversuche	77

4	Numerische Untersuchungen	79
4.1	Einleitung	79
4.2	Materialmodelle	79
4.2.1	Elastomer	79
4.2.2	Stahl	92
4.3	Finite-Elemente-Modellierung	94
4.3.1	Bestimmung der Materialkennwerte	94
4.3.2	Elementtypen	101
4.3.3	Modellierung	103
4.4	Numerische Untersuchungen	106
4.5	Vergleichende Betrachtung der experimentellen und numerischen Untersuchungen	111
4.6	Erweiterung der Parameterbereiche	117
5	Berechnungsmodelle	123
5.1	Bisherige Modelle	123
5.2	Erkenntnisse aus Versuchsergebnissen	126
5.3	Entwicklung eines neuen Berechnungsmodells	130
5.3.1	Vorbemerkungen	130
5.3.2	Verdrehbeanspruchungen bei Raumtemperatur	131
5.3.3	Tieftemperatureinfluss	143
6	Zusammenfassung	149
	Anhang	153
	Literatur	167