

Funktionale Beschichtung von Textilbetonbauteilen

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde

eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von: Ilko Hartung
aus: Jena, Deutschland

eingereicht am: 01.11.2014
mündliche Prüfung am: 16.03.2015

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger
Prof. Dr.-Ing. Stefan Böhm

Forschungsberichte des Instituts für Füge- und Schweißtechnik

Band 39

Ilko Hartung

Funktionale Beschichtung von Textilbetonbauteilen

Shaker Verlag
Aachen 2015

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.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2015

Copyright Shaker Verlag 2015

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3815-6

ISSN 1614-4783

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 in der vorliegenden Arbeit präsentierten Forschungsergebnisse entstanden während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Füge- und Schweißtechnik (ifs) der Technischen Universität Braunschweig. Ein Großteil der Untersuchungsergebnisse wurde im Rahmen eines AiF-Forschungsprojektes (Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen) erarbeitet. Ich bedanke mich bei der AiF für die finanzielle Unterstützung und bei dem Projektpartner, der Durapact Gesellschaft für Faserbetontechnologie mbH, für die gute Zusammenarbeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger, dem Leiter des ifs, danke ich für die Förderung und Betreuung während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter sowie die vielen hilfreichen Hinweise. Für die Übernahme des Koreferats und seinem Interesse an meiner Arbeit danke ich Prof. Dr.-Ing. Stefan Böhm.

Mein Dank gilt darüber hinaus allen Kolleginnen und Kollegen des Instituts sowie Herrn Dr.-Ing. Ulrich Pachow von der Durapact Gesellschaft für Faserbetontechnologie mbH, die mich mit hohem Engagement und viel Fleißarbeit bei den Untersuchungen unterstützt haben. Besonders danken möchte ich meinen studentischen Hilfskräften Christoph Webeler und Jonas Böhmke für ihre absolute Zuverlässigkeit und ihren unermüdlichen Einsatz. Darüber hinaus möchte ich mich bei Herrn Dr. rer. nat. Holger Nebel vom Institut für Bauforschung der RWTH Aachen University sowie bei meinem Vater, Herrn Dr. rer. nat. Horst Hartung, in der Funktion als Referatsleiter „Organische Analytik“ der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) für die Unterstützung bei der Durchführung verschiedener Versuche bedanken. Daneben bedanke ich mich bei meinen Kollegen Frau Elisabeth Stammen und Herrn Dr.-Ing. Michael Frauenhofer, die die vorliegende Arbeit durchgesehen und wertvolle Ideen beigetragen haben.

Diese Arbeit konnte nur durch die Unterstützung meiner Eltern und meiner Frau Rebecca entstehen. Ich bedanke mich sehr herzlich für den Rückhalt, sowohl während meines Studiums als auch in der Zeit der Dissertation. Meiner Frau gilt zudem ein besonderer Dank. Sie hat mich mit unendlicher Geduld motiviert und mit vielen wertvollen Ratschlägen wesentlich zum Gelingen beigetragen.

Bergheim, März 2015

Ilko Hartung

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
2	ANFORDERUNGEN AN DAS BESCHICHTUNGSSYSTEM.....	3
3	STAND DER FORSCHUNG UND TECHNIK	5
3.1	Grundlagen der Adhäsion	5
3.1.1	Mechanische Adhäsion	6
3.1.2	Spezifische Adhäsion	6
3.2	Eigenschaften poröser Materialien.....	9
3.2.1	Grundlagen der Porosität	9
3.2.2	Transportvorgänge in porösen Materialien	11
3.3	Definition von Beschichtungsarten.....	14
3.4	Applikation von Beschichtungsmaterialien	16
3.4.1	Vorbehandlung	16
3.4.2	Auftragsverfahren	17
3.5	Beschichtung von porösen Oberflächen	20
3.5.1	Beschichtung von Betonoberflächen	21
3.5.1.1	Porenstruktur und Transportvorgänge in Beton	21
3.5.1.2	Schädigungsmechanismen und Beschichtungssysteme	23
3.5.1.3	Untersuchungen zur Beschichtung von Normalbetonoberflächen	25
3.5.2	Beschichtung von Holzoberflächen.....	26
3.5.2.1	Porenstruktur und Transportvorgänge in Holz.....	26
3.5.2.2	Schädigungsmechanismen und Beschichtungssysteme	27
3.6	Fazit	28
4	MOTIVATION UND ZIELSETZUNG	29
5	VERSUCHSGRUNDLAGEN UND -DURCHFÜHRUNG	31
5.1	Experimentelle Vorgehensweise	31
5.2	Probenherstellung.....	31
5.3	Charakterisierung mechanischer Eigenschaften	32
5.3.1	Statischer Elastizitätsmodul des Textilbetons.....	32
5.3.2	Beschichtungsmaterialien	32
5.3.2.1	Zugfestigkeit, Elastizitätsmodul und Bruchdehnung.....	32
5.3.2.2	Shore-Härtemessung	32
5.3.3	Beschichtete Textilbetonoberflächen	32
5.3.3.1	Fallprüfung.....	32
5.3.3.2	Kratzprüfung	33
5.3.3.3	Reibprüfung	34

5.4	Thermische Analyse.....	35
5.4.1	Dynamische Differenzkalorimetrie	35
5.4.2	Beanspruchung durch trockene Hitze	36
5.5	Physikalische und chemische Eigenschaften.....	38
5.5.1	Dichte.....	38
5.5.2	pH-Wert	38
5.5.3	Leitfähigkeit	38
5.5.4	Rheologie	38
5.6	Prüfung zur Dichtheit.....	39
5.6.1	Wasseraufnahme	39
5.6.2	Widerstandsfähigkeit gegenüber kalten Flüssigkeiten.....	39
5.7	Visuelles Bewertungsverfahren der Beschichtungsqualität	41
5.8	Analyse von Oberflächenkennwerten.....	42
5.8.1	Topografische Eigenschaften	42
5.8.2	Oberflächenenergie.....	44
5.9	Untersuchungen mittels bildgebender Verfahren.....	45
5.9.1	Rasterelektronenmikroskopie	45
5.9.2	Lichtmikroskopie.....	46
5.10	Analytische Verfahren	46
5.10.1	Energiedispersive Röntgenspektroskopie	46
5.10.2	Summenparameteranalytik	46
5.10.2.1	Gesamter organischer Kohlenstoff	46
5.10.2.2	Gesamter gebundener Stickstoff	47
5.10.3	Massenspektrometrische Hochleistungsflüssigchromatographie.....	48
5.11	Probenalterung.....	49
5.11.1	Freibwitterung und Analyse der Klimadaten.....	49
5.11.2	Sonnensimulation und Analyse der Strahlungsintensitäten.....	52
6	GRUNDLEGENDE UNTERSUCHUNG ZUR BESCHICHTUNG VON TEXTILBETONOBERFLÄCHEN	53
6.1	Analyse der Textilbetoneigenschaften.....	53
6.1.1	Textilbetonrezepturen	53
6.1.2	Chemische Zusammensetzung der Feinbetonoberfläche	54
6.1.3	Analyse der Porosität	55
6.2	Auswahl von Beschichtungsmaterialien	58
6.2.1	Chemische Basis.....	58
6.2.2	Zusatzstoffe.....	65
6.3	Validierung und Optimierung von Beschichtungssystemen.....	66
6.3.1	Eignung der Beschichtungsmaterialien hinsichtlich der Oberflächenqualität..	67
6.3.2	Analyse der Widerstandsfähigkeit gegenüber kalten Flüssigkeiten	70

6.3.3	Einfluss des Applikationsverfahrens	71
6.3.4	Einfluss der Vorbehandlung	73
6.3.5	Einfluss der Feinbetonrezeptur	74
6.4	Fazit	75
7	WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN BESCHICHTUNG, FEINBETONOBERFLÄCHE UND ÄUßEREN EINFLÜSSEN.....	77
7.1	Analyse der Einflüsse auf die resultierende Schichtdicke	78
7.1.1	Rheologische Eigenschaften der Beschichtungsmaterialien	78
7.1.2	Untersuchung des Trocknungsverhaltens	80
7.1.3	Analyse der resultierenden Schichtdicken und Eindringtiefen	82
7.2	Oberflächenbeschaffenheit beschichteter Textilbetonoberflächen	86
7.2.1	Einfluss der Beschichtung auf die Oberflächentopografie.....	87
7.2.2	Einfluss produktionstechnischer Randbedingungen auf die Oberflächentopografie	89
7.2.3	Einfluss der Beschichtung auf die Oberflächenenergie.....	91
7.3	Analyse der Dichtheit gegenüber Flüssigkeiten	94
7.3.1	Einfluss der Beschichtung auf die Dichtheit von Textilbetonoberflächen	94
7.3.2	Schädigungsmechanismus von unbeschichteten und beschichteten Feinbetonoberflächen durch Säuren.....	97
7.4	Untersuchung der mechanischen und thermischen Eigenschaften beschichteter Oberflächen	100
7.4.1	Einfluss der Beschichtung auf die Widerstandsfähigkeit bei punkt- förmigen Beanspruchungen	100
7.4.2	Einfluss der Beschichtung auf die Widerstandsfähigkeit gegen Abrieb.....	104
7.4.3	Einfluss der Beschichtung auf die thermische Widerstandsfähigkeit.....	109
7.5	Untersuchung der Migration polymerer Beschichtungsbestandteile.....	114
7.5.1	Summenparameteranalyse der Migration polymerer Beschichtungs- bestandteile.....	114
7.5.2	Migration von Isophorondiain aus Epoxidharzbeschichtungen.....	117
7.6	Analyse des Alterungsverhaltens	119
7.6.1	Analyse der Alterung infolge einer einjährigen Freibewitterung.....	119
7.6.2	Evaluierung der UV-Beständigkeit	121
7.7	Fazit	123
8	BAUPRAKTISCHE VERWERTBARKEIT	125
8.1	Beschichtung von Demonstratorbauteilen	125
8.2	Prozesssicherheit der Beschichtungsqualität	126
8.3	Reparaturkonzepte	127
8.4	Fazit	128

9	BEOBACHTUNGEN UND SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	129
9.1	Grundlegende Untersuchung zur Beschichtung von Textilbetonoberflächen	129
9.2	Wechselwirkungen zwischen Beschichtung und Feinbetonoberfläche	130
9.3	Wechselwirkungen zwischen beschichteten Feinbetonoberflächen und äußeren Einflüssen	131
9.4	Baupraktische Verwertbarkeit	134
10	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	135
11	LITERATUR.....	137
11.1	Veröffentlichungen	137
11.2	Normative Regelungen und Richtlinien	149
12	ANHANG	153