

Oliver Fischer, Thomas Lechner, Martin Mensinger,
Joseph Ndogmo, Günter Seidl, Mislav Stambuk

**Entwicklung dünnwandiger,
flächenhafter Konstruktionselemente
aus UHPC und geeigneter
Verbindungstechniken zum Einsatz im
Hoch- und Industriebau**

F 2912

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2014

ISBN 978-3-8167-9285-7

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

Lehrstuhl für Massivbau
Institut für Baustoffe und Konstruktion
Technische Universität München

Abschlussbericht

Entwicklung dünnwandiger, flächenhafter Kon- struktionselemente aus UHPC und geeigneter Verbindungstechniken zum Einsatz im Hoch- und Industriebau

Prof. Oliver Fischer
Dipl.-Ing. Thomas Lechner
Prof. Martin Mensinger
Dr. Joseph Ndogmo
Dr. Günter Seidl
Dipl.-Ing. Mislav Stambuk

München, den 28.02.2014

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert.

(Aktenzeichen: SF-10.08.18.7-11.14 / II 3-F20-10-1-132)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt beim Autor.

DANKSAGUNG

Das vorliegende Projekt wurde seitens des BBR begleitet durch:

Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. (FH) Michael Brüggemann

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung
Deichmanns Aue 31-37
53179 Bonn

Als Mitglieder des wissenschaftlichen Beirats stellten sich zur Verfügung:

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach

Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
Helmholtzstr. 10
01069 Dresden

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell

Technische Universität Kaiserslautern
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktionen
Paul-Ehrlich-Straße
Gebäude 14
67663 Kaiserslautern

Dr.-Ing. Walter Streit

Büchting + Streit AG
Gunzenlehstr. 22
80689 München

Die Forschungsnehmer und Autoren dieses Berichts bedanken sich bei Herrn Dr. Brüggemann für die Unterstützung bei diesem Projekt. Weiterhin sei den Mitgliedern des wissenschaftlichen Beirats für die konstruktive Unterstützung gedankt.

Die Forschungsarbeit wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert (SF – 10.08.18.7-11.14 / II 3-F20-10-1-132). Zusätzlich erfolgte eine Unterstützung durch die Firmen Max Bögl GmbH und Hentschke Bau GmbH, wofür sich die Forschungsnehmer ebenfalls bedanken möchten.

Inhalt

1	EINLEITUNG	1
1.1	Vorbemerkung	1
1.2	Motivation.....	1
1.3	Methodik	3
2	STAND DER TECHNIK.....	4
2.1	Ultrahochleistungsbeton (UHPC).....	4
2.1.1	Allgemeines zum UHPC.....	4
2.1.2	Ausgangsstoffe.....	5
2.1.3	Festbetoneigenschaften	9
2.1.4	Hinweise zur Wirtschaftlichkeit und den Lebenszykluskosten.....	18
2.2	Verbunddübelleisten	19
2.2.1	Entwicklung der kontinuierlichen Verbundmittel.....	19
2.2.2	Aktuelle Bemessungsgrundsätze.....	20
2.2.3	„Liegende“ Verbunddübelleisten	26
2.3	Alternative Verbindungstechniken	27
2.3.1	Lokale Krafteinleitung und Verbindung mittels Implantaten	27
2.3.2	Fügen von UHPC-Bauteilen mit Epoxidharz.....	27
2.3.3	Fügen von UHPC-Bauteilen mit RPC	29
2.3.4	Bewertung der nicht-mechanischen Verbindungstechniken	30
3	KONSTRUKTION DER WANDELEMENTE VOR DEM HINTERGRUND BAUPRAKTISCHER ANFORDERUNGEN	31
3.1	Anwendungsgebiete	31
3.2	Konstruktion der Wandelemente	32
3.3	Baupraktische Spezifikationen	35
3.3.1	Lastannahmen	36
3.3.2	Beanspruchungen in der Verbunddübelleiste.....	36
3.3.3	Beanspruchung der Wandscheiben	37
3.3.4	Konstruktive Randbedingungen.....	38
3.3.5	Bauphysikalische Anforderungen	38
3.3.6	Anforderungskatalog.....	40
3.4	Anwendungsbeispiel: Aufstockung einer historischen Zigarrenfabrik	41
4	UNTERSUCHUNG VON VERBUNDDÜBELLEISTEN IN DÜNNEN UHPC-SCHEIBEN	45

4.1	Verbundmittel in UHPC.....	45
4.2	Experimentelle Untersuchungen	46
4.2.1	Versuchskörper	47
4.2.2	Versuchsaufbau und –durchführung	51
4.2.3	Versuchsergebnisse und Auswertung	52
4.2.4	Untersuchungen bei nicht-ruhender Belastung	59
4.2.5	Untersuchungen zu Push-Out-Körpern mit Randeinfassung	62
4.3	Ergebnisse der optischen Messungen.....	64
4.4	Numerische Untersuchungen.....	68
4.4.1	Nichtlineare Finite Elemente Berechnungen	68
4.4.2	Materialmodellierung von Beton	71
4.4.3	Modellbildung in ABAQUS	74
4.4.4	Ergebnisse der Finite Elemente Berechnungen	78
4.5	Numerische Formoptimierung	82
4.5.1	Grundlagen zur Strukturoptimierung	82
4.5.2	Ablauf einer Formoptimierung	83
4.5.3	Formoptimierung der Stahldübel	85
4.6	Einfluss eines nachträglichen Verschweißens	90
4.6.1	Vorbereiten der Versuchskörper	90
4.6.2	Durchführung der Schweißversuche	93
4.6.3	Ergebnisse der Thermoelemente.....	93
4.6.4	Ergebnisse der Thermographie	96
4.6.5	Auswertung und Schlussfolgerungen der Schweißversuche.....	97
5	STABILITÄTSVERHALTEN DÜNNER SCHEIBEN AUS UHPC.....	100
5.1	Beulversuche in der Literatur.....	100
5.1.1	Beuluntersuchungen mit normal- und hochfestem Beton	100
5.1.2	Beuluntersuchungen mit UHPC.....	102
5.2	Finite Elemente Simulation der Beulversuche mit UHPC	105
5.2.1	FE-Berechnungen anderer Forscher	105
5.2.2	Eigene FE-Berechnungen	106
5.3	Ermittlung des Einspanngrades von dünnen Scheiben aus UHPC mit Verbunddübelleisten.....	110
5.3.1	Vordimensionierung durch eine FE-Simulationen	110
5.3.2	Versuchsaufbau und Messtechnik.....	111
5.3.3	Herstellung der Versuchskörper	112
5.3.4	Versuchsdurchführung und -ergebnisse.....	117
5.3.5	Ermittlung des Einspanngrades.....	127
5.3.6	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.....	130
5.3.7	Nachrechnungen der Versuche zur Ermittlung des Einspanngrades mit ABAQUS	130

5.4	Tragfähigkeit dünner Scheiben ohne Öffnungen - Bemessungsvorschlag	134
5.5	Einfluss von Öffnungen auf die Stabilität.....	136
5.5.1	Numerische Berechnungen	136
5.5.2	Empfehlungen für verschiedene Öffnungstypen.....	138
6	DIMENSIONIERUNG DER WANDELEMENTE UND ANSCHLUSSKONSTRUKTIONEN.....	139
6.1	Tragfähigkeit von Wandelementen aus UHPC	139
6.2	Verbunddübelleisten in Wandelementen aus UHPC	139
6.2.1	Filigrane Wände mit geringer Beanspruchung	140
6.2.2	Wände mit höheren Beanspruchungen.....	140
6.3	Öffnungen in Wandelementen aus UHPC	140
7	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	141
	LITERATUR.....	144
	ANHANG A – VERSUCHSSKIZZEN UND PLÄNE	A-1