

Michael Herrmann, Werner Sobek

Entwicklung gewichtsoptimierter funktional gradierter Elementdecken

F 2945

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

2015

ISBN 978-3-8167-9513-1

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

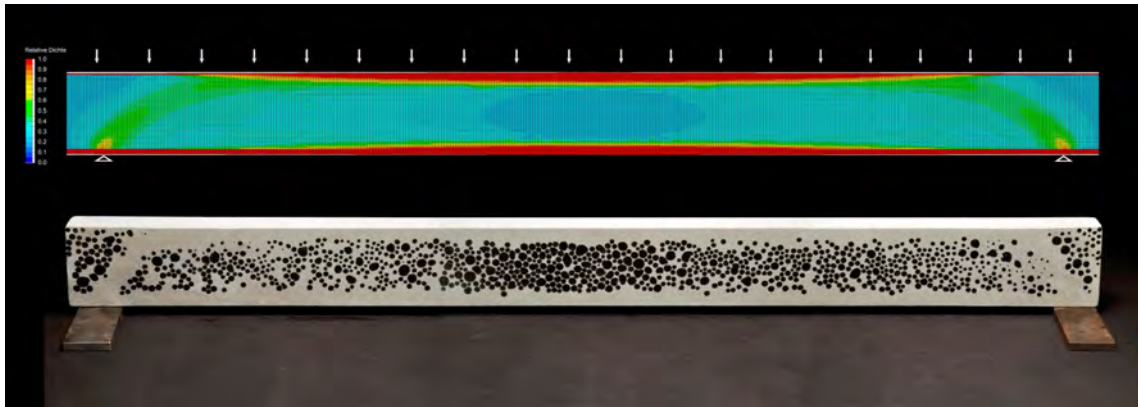
E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

Abschlussbericht

Entwicklung gewichtsoptimierter funktional gradierter Elementdecken



Universität Stuttgart

Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr.h.c. Werner Sobek

Verfasser:

Dipl.-Ing. Michael Herrmann

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr.h.c. Werner Sobek

Stuttgart, Juni 2014

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	8
1 Einleitung	9
1.1 Problemstellung	9
1.2 Projektziele	10
1.3 Arbeitsprogramm	11
2 Entstehung der Gradientenwerkstoffe und -betone	13
2.1 Stand der Forschung	13
2.2 Anwendungsbereiche von Gradientenbeton	14
2.2.1 Grundlagen	14
2.2.2 Funktional gradierte Decken	15
2.2.3 Funktional gradierte Außenwände	15
2.3 Herstellungsverfahren für Bauteile aus gradiertem Beton	17
2.3.1 Einleitung.....	17
2.3.2 Schichtweises Gießen	17
2.3.3 Gradientensprühetechnik	18
2.3.4 Entwicklungsphasen der Gradientenbetontechnologie	19
3 Weiterentwicklung der Gradientenbetonmischungen	21
3.1 Ausgangssituation Gradientenbetonmischungen	21
3.2 Weiterentwicklung der Kernmischung KLM.....	23
3.3 Materialparameter Gradientenbetonmischungen	26
4 Bemessung und analytische Betrachtungen zum Tragverhalten gradiertes Betonbauteile	28
4.1 Allgemeines Tragverhalten	28
4.2 Biegung	31
4.3 Querkraft	32
4.4 Schubkraftübertragung in Fugen	33
4.4.1 Nachweis der Schubkraftübertragung in Fugen nach EC 2	33
4.4.2 Analytisches Modell der Schubspannungen in der Längsfuge infolge Schwindens	34
4.5 Querschnittswerte im Zustand I und II	36
5 Versuche an gradierten Bauteilen	38
5.1 Skalierte Versuche	38
5.1.1 Skalierung, Geometrie und Randbedingungen.....	38
5.1.2 Versuche zur Biegetragfähigkeit	39

5.1.3	Versuche zum Querkrafttragverhalten.....	42
5.2	Versuche der Hauptausführung.....	48
5.2.1	Ziele und Auslegung der Versuche	48
5.2.2	Normative Grundlagen und Randbedingungen der Versuche.....	49
5.2.3	Versuchsaufbau und Prüfablauf	50
5.2.4	Versuchsserien und Ergebnisse.....	52
5.3	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.....	63
6	Numerische Betrachtungen zum Tragverhalten gradiertes Betonbauteile	65
6.1	Nichtlineare Materialtheorie.....	65
6.1.1	Einleitung	65
6.1.2	Materialmodell Beton.....	65
6.1.3	Materialmodell Bewehrungsstahl und textile Bewehrung.....	71
6.2	Materiell nichtlineare Simulation der Versuche	72
6.2.1	Modellbildung.....	72
6.2.2	Materialeingangsparameter	74
6.2.3	Simulation der skalierten Versuche.....	78
6.2.4	Simulation der Versuche der Hauptausführung.....	82
6.2.5	Zusammenfassung der Simulationsergebnisse.....	86
7	Ermittlung des „Gradientenlayouts“ mithilfe numerischer Optimierungsverfahren	88
7.1	Grundlagen der numerischen Optimierung	88
7.2	Mathematische Beschreibung der Optimierungsaufgabe	89
7.3	Lösungsverfahren des Optimierungsproblems	92
7.3.1	Verfahren der mathematischen Programmierung - Approximationsverfahren	92
7.3.2	Optimalitätskriterienverfahren.....	95
7.3.3	Verwendete Lösungsverfahren	96
7.4	Kopplung der Strukturoptimierung an die FEM	96
7.5	Der SIMP-Ansatz in der Topologieoptimierung	97
7.6	„Gradientenlayout“ durch Topologieoptimierung	99
7.7	Materiell nichtlineare Simulation der Optimierungsergebnisse.....	104
7.8	Weiterführende Entwürfe gradiertes Bauteile.....	106
7.9	Zusammenfassung der Optimierungsergebnisse	108
8	Zusammenfassung und Ausblick	109
8.1	Zusammenfassung	109
8.2	Ausblick	111
	Literaturverzeichnis	112

Abbildungsverzeichnis	118
Tabellenverzeichnis	121
Anhang	
A Prüfverfahren	123
A.1 Frischbetonprüfungen	123
A.2 Festbetonprüfungen	123
B Umrechnung von Betonkennwerten	126
B.1 Umrechnung auf die einaxiale Druckfestigkeit	126
B.2 Umrechnung der Betonzugfestigkeit	127
B.3 Rechenwerte der Betondruck- und Betonzugfestigkeit	128
C Materialkennwerte	129
C.1 Premix Betonmischungen	129
C.2 Konsistenz der Mischungen	129
C.3 Mischtablette Premix	130
C.4 Bewehrungsmaterialien	130
D Textile Bewehrung zum Einsatz in gradierten Betonbauteilen	131
D.1 Grundlagen	131
D.2 Zugtragverhalten von Textilbeton	133
D.3 Untersuchte Materialien	135
D.4 Versuche	135
E Auslegung der Versuche in der Hauptausführung	141
F Dokumentation der Versuche der Hauptausführung	148
F.1 Herstellung	148
F.2 Serie 0	148
F.3 Serie 1	150
F.4 Serie 2	152
F.5 Serie 3	156
F.6 Serie 4	158
G Optimalitätskriterienverfahren unter Verwendung des SIMP-Ansatzes	159