

F 3042

Jürgen Schnell, Andrej Albert, Andreas Dridiger

Ressourcenschonende Reduktion von Bewehrungsstahl in Hochbaudecken

F 3042

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) 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

2017

ISBN 978-3-7388-0077-7

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/bauforschung

Ressourcenschonende Reduktion von Bewehrungsstahl in Hochbaudecken

-Endbericht-

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) gefördert.

(Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-14.17)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell
Prof. Dr.-Ing. Andrej Albert

Projektbearbeiter: Andreas Dridiger (M.Sc.)

Kaiserslautern Juli 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	1
1.1	Projektbegleitung / Wissenschaftlicher Beirat	2
2	Motivation	4
3	Zielsetzung	6
4	Bemessung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach (DIN EN 1992-1-1) in Verbindung mit (DIN EN 1992-1-1/NA)	7
4.1	Allgemeines	7
4.2	Kriechen und Schwinden	7
4.3	Begrenzung der Biegeverformung	7
4.4	Begrenzung der Rissbreiten	7
5	Experimentelle Untersuchungen	10
5.1	Versuchsreihe „Kurzzeitversuche“	10
5.1.1	Gegenstand der Untersuchungen	10
5.1.2	Versuchskörper.....	11
5.1.3	Geometrie der Versuchskörper	12
5.1.4	Biegeschlankheit.....	12
5.1.5	Betondeckung.....	13
5.1.6	Herstellung der Versuchskörper.....	14
5.1.7	Baustoffe	15
5.1.7.1	Betonstahl.....	15
5.1.7.2	Beton	15
5.1.7.3	Betonprüfung	16
5.1.8	Messtechnik.....	19
5.1.9	Belastung.....	19
5.1.9.1	Vertikallast	19
5.1.9.2	Zugbeanspruchung	20
5.1.10	Versuchsaufbau	23
5.1.11	Versuchsablauf.....	25
5.1.11.1	Allgemeines	25
5.1.11.2	Versuchsserie 1	26
5.1.11.3	Versuchsserie 2	27

5.1.11.4	Versuchsserie 3	28
5.1.11.5	Versuchsserie 4	30
5.1.12	Versuchsergebnisse und Versuchsbeobachtungen.....	30
5.1.12.1	Allgemeines	30
5.1.12.2	Zugkraft.....	31
5.1.12.3	Durchbiegung.....	34
5.1.12.4	Reduzierte Bewehrung.....	35
5.1.12.5	Belastungsgeschichte	38
5.1.12.6	Rissbreiten	40
5.1.12.7	Festbetonprüfung	41
5.1.12.8	Theorie III. Ordnung	42
5.2	Versuchsreihe „Dauerstandbiegeversuche“	44
5.2.1	Gegenstand der Untersuchungen	44
5.2.2	Versuchskörper.....	44
5.2.3	Geometrie der Versuchskörper	45
5.2.4	Biegeschlankheit.....	45
5.2.5	Betondeckung.....	45
5.2.6	Herstellung der Versuchskörper.....	45
5.2.7	Baustoffe	45
5.2.7.1	Betonstahl.....	45
5.2.7.2	Beton	47
5.2.7.3	Betonprüfung	47
5.2.8	Messtechnik.....	50
5.2.9	Vertikallast	50
5.2.10	Versuchsaufbau.....	51
5.2.11	Versuchsergebnisse und Versuchsbeobachtungen.....	52
5.3	Dauerstandzugversuche	55
5.3.1	Gegenstand der Untersuchungen	55
5.3.2	Versuchskörper.....	55
5.3.3	Geometrie der Versuchskörper	55
5.3.4	Betondeckung.....	55
5.3.5	Herstellung der Versuchskörper.....	55
5.3.6	Baustoffe	56
5.3.6.1	Betonstahl.....	56
5.3.6.2	Beton	57
5.3.6.3	Betonprüfung	57
5.3.7	Messtechnik.....	58
5.3.8	Versuchsaufbau und -durchführung	59

5.3.9	Versuchsergebnisse und Versuchsbeobachtungen.....	60
6	Theoretische Untersuchungen	63
6.1	Allgemeines	63
6.2	Materialmodell für Beton	63
6.2.1	Beton unter Druckspannungen.....	63
6.2.2	Beton unter Zugspannungen.....	64
6.2.3	Langzeitverhalten von Beton.....	67
6.2.3.1	Kriechen (Relaxation).....	68
6.2.3.2	Schwinden	70
6.3	Materialmodell für Bewehrungsstahl	70
6.4	Modell für Verbundverhalten zwischen Bewehrung und Beton	71
6.5	FEM-Rechenmodell	72
6.5.1	Strukturelemente.....	72
6.5.2	Bewehrungselemente	73
6.5.3	Abbildung von gerissenem Beton.....	75
6.6	Numerische Lösungsverfahren	76
6.7	Nachrechnung von Bauteilversuchen	79
6.7.1	Nachrechnung der Versuchsreihe „Kurzzeitversuche“	79
6.7.1.1	Modelle	79
6.7.1.2	Ergebnisse der Versuchsnachrechnungen	84
6.7.2	Nachrechnung der Versuchsreihe „Dauerstandbiegeversuche“	88
6.7.3	Nachrechnung der Versuchsreihe „Dauerstandzugversuche“	88
6.7.3.1	Modell	89
6.7.3.2	Ergebnisse der Versuchsnachrechnung	91
6.7.4	Zusammenfassung der Versuchsnachrechnungen	93
6.8	Parameterstudie.....	94
6.8.1	Grundsystem	94
6.8.2	Einfluss der Bewehrung auf die zentrische Zwangskraft unter kombinierter Beanspruchung.....	95
6.8.3	Betonalter beim Belastungsbeginn (Kriechen)	98
6.8.4	Material- und Systemparameter	99
6.8.5	Durchlaufplatten mit feldweise unterschiedlichen Stützweiten.....	101
7	Näherungsverfahren.....	106
8	Anwendungsbeispiel	112

8.1	Rissbreitenbegrenzende Bewehrung nach (DIN EN 1992-1-1) in Verbindung mit (DIN EN 1992-1-1/NA) und (DIN EN 1992-1-1/NA/A1)	112
8.2	Rissbreitenbegrenzende Bewehrung für eine kombinierte Beanspruchung aus Last und zentrischem Zwang.....	113
8.3	Nichtlineare Finite-Elemente-Berechnung	115
9	Zusammenfassung und Ausblick	117
10	Literatur	120
	Anhang A.....	123
	Gegenüberstellung der Verläufe der Biegemomente für Versuchsserie 1	124
	Belastung $\Delta g_k = 1,50 \text{ kN/m}^2$ und $q_k = 3,20 \text{ kN/m}^2$	124
	Belastung $\Delta g_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$ und $q_k = 7,00 \text{ kN/m}^2$	125
	Gegenüberstellung der Verläufe der Biegemomente für Versuchsserie 2 bzw. 3	126
	Belastung $\Delta g_k = 1,50 \text{ kN/m}^2$ und $q_k = 3,20 \text{ kN/m}^2$	126
	Belastung $\Delta g_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$ und $q_k = 7,00 \text{ kN/m}^2$	128
	Gegenüberstellung der Verläufe der Biegemomente für Versuchsserie 4	130
	Belastung $\Delta g_k = 1,50 \text{ kN/m}^2$ und $q_k = 3,20 \text{ kN/m}^2$	130
	Belastung $\Delta g_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$ und $q_k = 7,00 \text{ kN/m}^2$	131
	Anhang B.....	134
	Übersicht der Versuchslasten bei den Kurzzeitversuchen	135
	Schal- und Bewehrungspläne der Bauteile im Rahmen der Kurzzeitversuche.....	137
	Übersichtspläne der bei den Kurzzeitversuchen verwendeten Messtechnik.....	165
	Anhang C.....	179
	Versuchsserie 1.....	180
	Versuch VK-01-S1.....	180
	Versuch VK-02-S1.....	182
	Versuch VK-03-S1.....	184
	Versuch VK-04-S1.....	186
	Versuch VK-05a/b-S1.....	188
	Versuchsserie 2.....	191
	Versuch VK-01-S2.....	191
	Versuch VK-02a/b-S2.....	193
	Versuch VK-03-S2.....	196
	Versuch VK-04-S2.....	198

Versuch VK-05-S2.....	200
Versuch VK-06-S2.....	202
Versuch VK-07-S2.....	204
Versuch VK-08-S2.....	206
Versuch VK-09-S2.....	208
Versuch VK-10-S2.....	210
Versuch VK-11-S2.....	212
Versuchsserie 3.....	214
Versuch VK-01-S3.....	214
Versuch VK-02-S3.....	216
Versuch VK-03a/b-S3.....	218
Versuch VK-04-S3.....	221
Versuch VK-05-S3.....	223
Versuchsserie 4.....	225
Versuch VK-01-S4.....	225
Versuch VK-02a-S4.....	227
Versuch VK-02b-S4.....	229
Versuch VK-03-S4.....	231