

Matthias Pahn, Christian Caspari

Lückenforschung Faserkunststoffbewehrung (FKB)

Untersuchung des Langzeitverbundverhaltens von
Bewehrung aus faserverstärktem Kunststoff

F 3227

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

2021

ISBN 978-3-7388-0631-1

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

Lückenforschung Faserkunststoffbewehrung (FKB)

Untersuchung des Langzeitverbundverhaltens von
Bewehrung aus faserverstärktem Kunststoff
(SWD-10.08.18-17.62))

Gefördert durch:



Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Matthias Pahn

Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. Christian Caspari

Kaiserslautern, September 2020

Inhaltsverzeichnis

1. Motivation	5
2. Problemstellung	5
3. Zielsetzung	6
4. Grundlagen	8
4.1. <i>Verbundverankerung</i>	8
4.1.1. Verbundverhalten profilierter Bewehrungsstäbe in Beton	8
4.1.1.1. Ableiten des Verbundgesetzes auf Basis von Versuchsergebnissen	10
4.1.2. Einfluss konstruktiver Parameter auf die Verbundtragfähigkeit	11
4.1.2.1. Einfluss der Betonfestigkeit	11
4.1.2.2. Einfluss des Stabdurchmessers	12
4.1.2.3. Einfluss der Verbundlänge	12
4.1.2.4. Einfluss der Betondeckung	14
4.1.2.5. Einfluss der Querbewehrung	15
4.1.2.6. Einfluss von Querdruck auf den Verbundbereich	16
4.1.2.7. Einfluss einer langandauernden Belastung	17
4.1.2.8. Einfluss des Probekörperaufbaus	18
4.1.3. Bemessung der Endverankerungslänge	20
4.1.3.1. Bemessung der Endverankerungslänge nach [DIN EN 1992-1-1]	21
4.1.3.2. Bemessung der Endverankerungslänge nach [prEN 1992-1-1-D4]	22
4.1.3.3. Statistische Bewertung der Bemessungsansätze	23
4.1.4. Herleitung der Bemessungsverbundspannung	25
4.1.4.1. Methode nach Claude	25
4.1.4.2. Methode nach Martin	27
4.1.4.3. Definition des rechnerischen Bruchzustands	27
4.2. <i>Faserkunststoffbewehrung</i>	29
4.2.1. Zusammensetzung faserverstärkter Kunststoffe	30
4.2.1.1. Verstärkungsfaser	30
4.2.1.2. Kunststoffmatrix	31
4.2.2. Schädigungsverhalten faserverstärkter Kunststoffe	31
4.2.2.1. Faserbruch	33
4.2.2.2. Zwischenfaserbruch	33
4.2.3. Schädigungsverhalten infolge Langzeitbeanspruchung	33
4.2.3.1. Schädigung des FVK infolge Materialalterung	33
4.2.3.2. Schädigung des FVK infolge Kriechen	34
4.2.3.3. Schädigungsinteraktion infolge Materialalterung und Kriechen	34
4.2.3.4. Prüfung des zeitabhängigen Materialverhaltens von FKB	34
4.3. <i>Verbundverankerung von FKB</i>	37
4.3.1. Verbundtragverhalten unter Kurzzeitbeanspruchung	37
4.3.2. Verbundtragverhalten unter Langzeitbeanspruchung	41
4.4. <i>Resümee</i>	44
5. Experimentelle Untersuchung des Verbundverhaltens unter Kurzzeitbeanspruchung	45
5.1. <i>Gegenstand der Untersuchung</i>	45
5.1.1. Betoneigenschaften	45
5.1.2. Voruntersuchung	47
5.2. <i>Versuchsprogramm</i>	48
5.3. <i>Versuchsaufbau und -durchführung</i>	49
5.4. <i>Versuchsergebnisse</i>	50

6.	Experimentelle Untersuchung der Verbundtragfähigkeit unter Kurzzeitbeanspruchung	52
6.1.	<i>Versuchsprogramm</i>	52
6.2.	<i>Probekörper</i>	52
6.3.	<i>Versuchsaufbau und –durchführung</i>	55
6.4.	<i>Versuchsergebnisse</i>	56
6.4.1.	Einfluss der Betonfestigkeit	56
6.4.2.	Einfluss der Betondeckung	58
6.4.3.	Einfluss Stabdurchmesser	60
6.4.4.	Einfluss Verankerungslänge	61
6.4.5.	Einfluss der Querbewehrung	62
6.4.6.	Einfluss Querdruck	64
7.	Experimentelle Untersuchung des Verbundtragverhaltens unter Langzeitbeanspruchung	67
7.1.	<i>Versuchsprogramm</i>	67
7.2.	<i>Versuchsaufbau und –durchführung</i>	67
7.3.	<i>Versuchsergebnisse</i>	69
7.3.1.	Versagensbild der Bewehrung nach Langzeitverbundbeanspruchung	70
7.3.2.	Zeitabhängiger Schlupf	73
7.3.3.	Standzeit in Abhängigkeit der Verbundspannung	74
7.3.4.	Sicherstellung der prognostizierten zeitabhängigen Verbundfestigkeit	77
8.	Modell zur Bestimmung des Verbundspannungsverlaufs und der Bemessungsverbundspannung	79
8.1.	<i>Berechnung des Verbundspannungsverlaufs entlang der Verankerungslänge</i>	80
8.2.	<i>Einfluss des Verbundkriechens auf den Verbundspannungsverlauf</i>	82
8.3.	<i>Definition des Bruchzustands</i>	84
8.4.	<i>Ableiten der Bemessungsverbundspannung auf Basis der mittleren Verbundspannung im Bruchzustand</i>	85
9.	Bemessung der Endverankerungslänge	86
9.1.	<i>Anpassen der Bemessungsgleichung der Verankerungslänge für FKB</i>	87
9.1.1.	Einfluss des Stabdurchmessers auf die Verbundtragfähigkeit	88
9.1.2.	Einfluss der Betondeckung auf die Verbundtragfähigkeit	88
9.1.3.	Einfluss der Querbewehrung auf die Verbundtragfähigkeit	89
9.1.4.	Einfluss der maximalen Umschnürungswirkung auf die Verbundtragfähigkeit	89
9.1.5.	Bemessungsgleich der Verankerungslänge für FKB unter Kurzzeitbeanspruchung	89
9.2.	<i>Anpassen des Grundmaßes der Verankerungslänge für FKB</i>	91
9.2.1.	Bestimmen des stabspezifischen Verbundgesetzes	91
9.2.2.	Herleitung der mittleren Verbundspannung im rechnerischen Bruchzustand	92
9.2.3.	Ableitung des Grundmaßes der Verankerungslänge α_{ls}	94
9.2.4.	Bewertung des angepassten Bemessungsansatzes	95
9.2.5.	Angepasste Bemessungsgleichung der Endverankerungslänge l_{bd}	97
9.3.	<i>Bestimmung der Mindestverankerungslänge zur Sicherstellung der Verbundtragfähigkeit über den gesamten Bemessungszeitraum</i>	98
9.3.1.	Herleitung der Verbundkriechzahl	98
9.3.2.	Ableitung einer zeit- und temperaturabhängigen Verbundfestigkeit im rechnerischen Bruchzustand	99
9.3.3.	Bestimmung der Mindestverankerungslänge $\alpha_{ls, min}$ zur Berücksichtigung des Langzeitverbundverhaltens	100
9.4.	<i>Bemessungsansatz der Endverankerungslänge für FKB</i>	102
9.5.	<i>Bemessungsbeispiel</i>	103

10. Fazit und Ausblick	106
A. Literatur	110
B. Anhang	116
<i>B.1. Betonfestigkeiten</i>	<i>116</i>
<i>B.2. Verbundspannungs-Schlupf Beziehungen der Beam-End Tests</i>	<i>119</i>
<i>B.3. Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse und dem angepasster Bemessungsansatz</i>	<i>124</i>
<i>B.4. Messdaten der Langzeitverbunduntersuchungen</i>	<i>126</i>

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

(Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-17.62)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.