

Wolfram Jäger, Maik Erler

Faserbewehrtes Kellermauerwerk (FBKM)

**Textile Bewehrung in der Lagerfuge
von gemauerten Kellerwänden zur
Erhöhung der Tragfähigkeit gegen
Erddruck**

F 3152

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

2019

ISBN 978-3-7388-0369-3

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

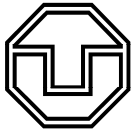
Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung



ABSCHLUSSBERICHT

Faserbewehrtes Kellermauerwerk (FBKM)

Titel: **„Textile Bewehrung in der Lagerfuge von gemauerten Kellerwänden zur Erhöhung der Tragfähigkeit gegen Erddruck“**

Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-15.46

Auftraggeber: **Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)**
Deichmanns Aue 31-37
53179 Bonn

Auftragnehmer: **Technische Universität Dresden**
Fakultät Architektur
Lehrstuhl Tragwerksplanung
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger
01062 Dresden

Projektleiter: **Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger**

Bearbeiter: **Dipl.-Ing.(FH), Dipl.-Kfm. Maik Erler**

Datum: **30.11.2018**

Das Forschungsprojekt wird mitfinanziert / gefördert durch:

Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband

der Deutschen Ziegelindustrie e.V.

Reinhardtstraße 12-16
10117 Berlin

Dreßler Bau GmbH

Chemnitzer Str. 50
01187 Dresden

Eder Ziegelwerk Freital

Wilsdruffer Straße 25
01705 Freital

Heidelberger Kalksandstein

Baustoffwerke Dresden GmbH & CO KG

Radeburger Straße 30
01129 Dresden

Heidelberger Betonelemente GmbH & Co. KG

Mühlenstraße 1
06721 Osterfeld OT Roda

HALFEN GmbH

Liebigstrasse 14
40764 Langenfeld

Jäger und Bothe Ingenieure GmbH

Haydnstraße 3
09119 Chemnitz

Prof. Dr. Ing. Jäger Planungs- und Ingenieurbüro für Bauwesen

Wichernstraße 12
01445 Radebeul

OTTO QUAST GmbH & Co. KG Fertigbau Sachsen

Ziegelweg 3
01640 Coswig

PAGEL Spezial – Beton GmbH & CO KG

Wolfsbankring 9
45355 Essen

Preusser-Messtechnik GmbH

Im Schlosspark 11
51429 Bergisch Gladbach

V.FRAAS Solutions in Textile GmbH

Orter Straße 6
95233 Helmbrechts

Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH

Gregor-von-Brück-Ring 9A
14822 Brück

Xella Deutschland GmbH

Landstraße 51
04838 Laußig

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert (Az.: SWD-10.08.18.7-15.46). Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	11
1.1	Problemstellung.....	11
1.2	Zielsetzung	11
2	Arbeitsplan.....	12
2.1	Literaturauswertung und Zusammenstellung.....	12
2.2	Theoretische Untersuchung.....	12
2.3	Experimentelle Arbeiten	12
2.4	Gegenüberstellung	13
2.5	Zusammenfassung und Bemessungsvorschlag.....	13
3	Stand der Technik.....	13
3.1	Kellermauerwerk mit geringer Auflast.....	13
3.2	Ausführung von Kellermauerwerk.....	14
3.3	Normung und Anwendung.....	15
3.3.1	Aktueller Nachweis von Kellermauerwerk	15
3.3.2	Aktueller Nachweis von bewehrten Mauerwerk	18
3.3.3	Verankerung der Bewehrung	20
3.3.4	Relevante Spannungs-Dehnungs-Verläufe	21
3.3.4.1	Spannungs-Dehnungs-Verlauf für Mauerwerk.....	21
3.3.4.2	Spannungs-Dehnungs-Verlauf für Bewehrungsstahl.....	23
3.3.4.3	Spannungs-Dehnungs-Verlauf für Beton.....	23
3.3.5	Bestimmung der Auflagerkräfte bei zweiachsig gespannten Platten	24
3.3.6	Biegebeanspruchtes Mauerwerk	24
3.3.6.1	Charakteristische Biegefestigkeit von Mauerwerk.....	24
3.3.6.2	Nachweis Plattenbiegung	26
3.3.6.3	Berechnung der Schnittkräfte.....	26
3.3.6.4	Erhöhte Biegefestigkeit bei vorgefertigter Lagerfugenbewehrung	27
3.3.7	Schlitze und Aussparungen im Mauerwerk.....	27
3.3.8	Mauerwerksdruckfestigkeit	29
3.3.8.1	Mauerwerksdruckfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen	29
3.3.8.2	Mauerwerksdruckfestigkeit parallel zu den Lagerfugen.....	30
3.3.9	Erddruck	33
3.3.9.1	Vorbemerkungen.....	33
3.3.9.2	Aktiver Erddruck	34
3.3.9.3	Erdruhedruck.....	36
3.3.9.4	Erhöhter aktiver Erddruck	37
3.3.9.5	Erddruck aus vertikalen Linien- und Streifenlasten	37

3.3.9.6	Räumlicher aktiver Erddruck.....	38
3.3.9.7	Verdichtungserddruck	38
3.3.9.8	Silodruck	39
3.3.9.9	Erddruckansatz.....	40
3.4	Faserarten	41
3.5	Textilbeton.....	43
3.5.1	Allgemeines.....	43
3.5.2	Verstärken mit Textilbeton.....	43
3.5.3	Spannungs-Dehnungs-Verlauf textile Bewehrung.....	44
3.5.3.1	Spannungs-Dehnungs-Verlauf textile CFK-Bewehrung	44
3.5.3.2	Spannungs-Dehnungs-Verlauf textile GFK-Bewehrung.....	46
4	Theoretische Untersuchung.....	47
4.1	Vorbemerkungen	47
4.1.1	Verwendete Materialien und Annahmen.....	47
4.1.2	Angenommener Erddruck.....	48
4.1.3	Ausgangsmodell	48
4.2	Untersuchung am Flächenmodell	50
4.3	Untersuchungen am Volumenmodell.....	51
4.3.1	Modellierung unbewehrtes Kellermauerwerk unter Erddruck	51
4.3.2	Modellierung von Kellermauerwerk mit textiler Bewehrung	53
4.3.3	Modellierung mit Textilbewehrung unter realem Erddruck	54
4.4	Textilform	56
4.5	Kostenbetrachtungen textilbewehrtes Mauerwerk	57
5	Experimentelle Untersuchungen	61
5.1	Vorbemerkungen	61
5.2	Gewählte Untersuchungsmaterialien	61
5.2.1	Mauersteine	61
5.2.1.1	Mauersteine für Kleinversuchsreihen	61
5.2.1.2	Mauersteine für Großversuche.....	64
5.2.2	Dünnbettmörtel	66
5.2.3	Bewehrungstextile	67
5.3	Kleinversuche	69
5.3.1	Biegeversuche am textilbewehrten Mauerwerk	69
5.3.1.1	Versuchsaufbau Biegeversuche	69
5.3.1.2	Prüfkörperherstellung Biegeversuche.....	72
5.3.1.3	Versuchsprogramm Biegeversuche.....	73

5.3.1.4	Messtechnik und Messprogramm Biegeversuche	74
5.3.1.5	Gesamtergebnisse Biegeversuche	75
5.3.1.6	Auswertung zu Nr.1 KS-SilkaDM-SG025-unverm. SF.....	76
5.3.1.7	Auswertung zu Nr.2 KS-SilkaDM-SG025-verm. SF	79
5.3.1.8	Auswertung zu Nr.3 KS-SilkaDM-SG200-unverm. SF.....	83
5.3.1.9	Auswertung zu Nr.4 KS-TF10-SG025-unverm. SF.....	87
5.3.1.10	Auswertung zu Nr.5 KS-TF10-SG025-verm. SF.....	91
5.3.1.11	Auswertung zu Nr.6 HLz-MaxitDM-SG025-unverm. SF	95
5.3.1.12	Auswertung zu Nr.7 PB-YtongDM-SG025-unverm. SF	99
5.3.1.13	Auswertung zu Nr.8 PB-YtongDM-SG025-verm. SF	102
5.3.1.14	Auswertung Vergleichsversuche ohne textile Bewehrung	106
5.3.1.15	Vergleich zu unbewehrtem Mauerwerk.....	107
5.3.1.16	Versuchsvergleich	110
5.3.1.17	Zusammenfassung Biegeversuche.....	115
5.3.2	Textilauszugversuche / Verbundversuche	118
5.3.2.1	Versuchsaufbau Auszugversuche	118
5.3.2.2	Prüfkörperherstellung Auszugversuche	120
5.3.2.3	Versuchsprogramm Auszugversuche	121
5.3.2.4	Messtechnik und Messprogramm Auszugversuche	121
5.3.2.5	Ergebnisse und Auswertung Auszugversuche	122
5.3.2.6	Zusammenfassung Auszugversuche	132
5.3.3	Haftscherfestigkeit bei textilbewehrter Lagerfuge	133
5.3.3.1	Versuchsaufbau Haftscherfestigkeitsversuche	133
5.3.3.2	Prüfkörperherstellung Haftscherfestigkeitsversuche	133
5.3.3.3	Versuchsprogramm Haftscherfestigkeitsversuche	134
5.3.3.4	Messtechnik Haftscherfestigkeitsversuche	135
5.3.3.5	Ergebnisse und Auswertung Haftscherfestigkeitsversuche	135
5.3.3.6	Zusammenfassung Haftscherfestigkeitsversuche	142
5.4	Großversuche am realitätsnahen Kellermauerwerk.....	142
5.4.1	Vorbemerkungen zum Großversuchsaufbau	142
5.4.2	Großversuche textilbewehrtes Kellermauerwerk.....	144
5.4.2.1	Versuchsaufbau Großversuch.....	144
5.4.2.2	Versuchsprogramm Großversuch.....	148
5.4.2.3	Lasteinleitung.....	149
5.4.2.4	Messtechnik Großversuch	154
5.4.2.5	Herstellung des Versuchsaufbaus und Versuchsablauf.....	159
5.4.3	Versuch-1 KS-Mw 36,5 cm mit Textileinlage.....	161
5.4.3.1	Herstellung und Ablauf Versuch 1	161
5.4.3.2	Berechnung Versuch 1	163
5.4.3.3	Ergebnisse der Verformungsmessung Versuch 1.....	164
5.4.3.4	Ergebnisse der Erddruckmessungen Versuch 1	166
5.4.3.5	Ergebnisse aus Rückbau Versuch 1.....	168

5.4.3.6	Zusammenfassung Versuch 1	169
5.4.4	Versuch-2 KS-Mw 17,5 cm ohne Textileinlage.....	170
5.4.4.1	Herstellung und Ablauf Versuch 2	170
5.4.4.2	Berechnung Versuch 2	171
5.4.4.3	Ergebnisse der Verformungs- und Dehnungsmessung Versuch 2.....	173
5.4.4.4	Ergebnisse der Erddruckmessungen Versuch 2	177
5.4.4.5	Ergebnisse aus Rückbau Versuch 2.....	180
5.4.4.6	Zusammenfassung Versuch 2	180
5.4.5	Versuch-3 KS-Mw 17,5 cm mit Textileinlage	182
5.4.5.1	Herstellung und Ablauf Versuch 3	182
5.4.5.2	Berechnung Versuch 3	183
5.4.5.3	Ergebnisse der Verformungsmessung Versuch 3.....	185
5.4.5.4	Ergebnisse der Erddruckmessungen Versuch 3	189
5.4.5.5	Ergebnisse aus Rückbau Versuch 3.....	191
5.4.5.6	Zusammenfassung Versuch 3	192
5.4.6	Versuch-4 PB-Mw 17,5 cm ohne Textileinlage.....	194
5.4.6.1	Herstellung und Ablauf Versuch 4	194
5.4.6.2	Berechnung Versuch 4.....	195
5.4.6.3	Ergebnisse der Verformungsmessung Versuch 4.....	196
5.4.6.4	Ergebnisse der Erddruckmessungen Versuch 4	201
5.4.6.5	Ergebnisse aus Rückbau Versuch 4.....	203
5.4.6.6	Zusammenfassung Versuch 4	203
5.4.7	Versuch-5 PB-Mw 17,5 cm mit Textileinlage	204
5.4.7.1	Herstellung und Ablauf Versuch 5	204
5.4.7.2	Berechnung Versuch 5	206
5.4.7.3	Ergebnisse der Verformungsmessung Versuch 5.....	207
5.4.7.4	Ergebnisse der Erddruckmessungen Versuch 5	211
5.4.7.5	Ergebnisse aus Rückbau Versuch 5.....	213
5.4.7.6	Zusammenfassung Versuch 5	213
5.4.8	Gesamtauswertung der Versuche	214
5.4.9	Zusammenfassung Erddruckgroßversuch.....	220
5.5	Großversuche an Ausfachungswänden	223
5.5.1	Vorbemerkungen	223
5.5.2	Aufbau und Ablauf Luftkissenversuch	224
5.5.2.1	Großversuchsaufbau Luftkissenversuch.....	224
5.5.2.2	Lasteinleitung Luftkissenversuch	226
5.5.2.3	Messtechnik und Steuerung der Luftkissenversuche.....	228
5.5.2.4	Aufbau der Versuchswand	229
5.5.2.5	Realisierung von Wandanschlüssen	230
5.5.2.6	Versuchsprogramm Luftkissenversuch	234
5.5.2.7	Versuchsablauf Luftkissenversuch	235

5.5.3	Versuch-6 KS-Mw 24 cm ohne Textil	235
5.5.3.1	Herstellung und Ablauf Versuch 6	235
5.5.3.2	Ergebnisse aus Durchführung von Versuch 6	237
5.5.3.3	Ergebnisse aus Rückbau von Versuch 6	240
5.5.3.4	Nachrechnung von Versuch 6	241
5.5.3.5	Zusammenfassung Versuch 6	243
5.5.4	Versuch-7 KS-Mw 24 cm mit Textil.....	243
5.5.4.1	Herstellung und Ablauf Versuch 7	243
5.5.4.2	Ergebnisse aus Durchführung von Versuch 7	245
5.5.4.3	Ergebnisse aus Rückbau von Versuch 7	249
5.5.4.4	Nachrechnung von Versuch 7	250
5.5.4.5	Zusammenfassung Versuch 7	253
5.5.5	Auswertung der Verankerung	254
5.5.6	Vergleich der Versuche	255
5.5.7	Zusammenfassung der Luftkissenversuche.....	257
5.6	Versuchsbegleitende Prüfungen / Untersuchungen	258
5.6.1	Steinabmessungen	258
5.6.1.1	Steinabmessungen Kalksandsteine	258
5.6.1.2	Steinabmessungen Porenbetonsteine.....	261
5.6.1.3	Steinabmessungen Hochlochziegel.....	263
5.6.2	Steindruckfestigkeitsversuche	264
5.6.2.1	Versuchsaufbau Steindruckfestigkeitsversuche.....	264
5.6.2.2	Versuchsprogramm Steindruckfestigkeitsversuche	265
5.6.2.3	Prüfkörperherstellung Steindruckfestigkeitsversuche.....	266
5.6.2.4	Konditionierung der Steindruckprüfkörper	266
5.6.2.5	Ergebnisse der Steindruckfestigkeitsversuche	267
5.6.3	Mörtelversuche	269
5.6.4	Prüfungen am Hinterfüllungsmaterial.....	270
5.6.4.1	Grundeigenschaften	270
5.6.4.2	Bestimmung der Einbausituation.....	271
5.6.4.3	Bestimmung von Reibungswinkel und Kohäsion.....	273
5.6.5	Verarbeitung, Herstellung und Anwendung textilbewehrter Mauerwerke	275
6	Nachweisvorschlag für textilbewehrtes Mauerwerk	276
6.1	Vorbemerkungen	276
6.2	Grundlagen bewehrtes Mauerwerk	276
6.3	Nachweis eines textilen CFK-Zugbandes im Mauerwerk	285
6.4	Nachweis von CFK-Textilbewehrten Mauerwerk	289
6.5	Nachweis eines textilen GFK-Zugbandes im Mauerwerk	299
6.6	Nachweis von GFK-Textilbewehrten Mauerwerk.....	303

6.7	Nachweis von textilbewehrten Mauerwerk mit Zugbandverstärkung	313
6.8	Abgleich Modell mit Versuch	315
6.9	Nachrechnung und Kalibrierung der Biegekleinversuche.....	316
6.10	Zusammenfassung	325
7	Praktisches Anwendungsbeispiel textilbewehrte Kellerwand	325
8	Entwicklungsmöglichkeiten.....	334
9	Weitere Schritte.....	335
10	Gesamtzusammenfassung.....	335
11	Symbolverzeichnis.....	338
12	Abkürzungsverzeichnis	345
13	Literaturverzeichnis	347
14	Abbildungsverzeichnis	353
15	Tabellenverzeichnis	368
16	Anhang	373
16.1	Rechenwerte für Mauerwerk nach EC6 (aus [1], [2], [3]).....	373
16.2	Biegemomentkoeffiziententabellen	375
16.3	Auflagerkräfte vierseitig gelagerter Platten (aus [51]).....	377
16.4	Rechenwerte zur Ermittlung der horizontalen Mauerwerksdruckfestigkeit	378
16.5	Rechenwerte für die Erddruckberechnung (aus [41])	381
16.6	Bemessungstafel für Textilbetonverstärkung (aus [90])	384
16.7	Bemessungstafel für Stahlbetonbiegebemessung (aus [58])	385
16.8	Bemessungstafeln für Mauerwerksbiegebemessung.....	386
16.9	Werte für Biegefestigkeiten von textilbewehrten Mauerwerk	396
16.10	Ergebnisse der Biegeversuche	399
16.11	Ergebnisse der Textilauszugversuche	403
16.12	Ergebnisse der Haftscherfestigkeitsversuche	409
16.13	Konditionierung der Probekörper für Steindruckversuche	416
16.14	Ergebnisse der Steindruckfestigkeitsprüfungen.....	418
16.15	Bruchbilder zu Steindruckfestigkeitsversuchen.....	424
16.16	Ergebnisse der Mörtelprüfungen	426
16.17	Ergebnisse der Erddruckmessungen	435
16.18	Ergebnisse Erddruckversuch 1.....	454
16.19	Ergebnisse Erddruckversuche 2 (links) und 3 (rechts)	456
16.20	Ergebnisse Erddruckversuche 4 (links) und 5 (rechts)	464

16.21 Ergebnisse Luftkissenversuch (Versuch 6).....	471
16.22 Ergebnisse Luftkissenversuch (Versuch 7).....	476
16.23 Probekörperabmessungen für Haftscherfestigkeitsversuche.....	483
16.24 Ergebnisse Densitometerversuche.....	484
16.25 Eigenschaften Füllsand.....	485
16.26 Brucharten bei Haftscherfestigkeitsversuchen gem. [21].....	490
16.27 Datenblatt Erdruckmessdosen.....	491
16.28 Datenblatt Spannbetonplatten VARIAX V5/250 [109].....	494
16.29 Datenblatt Halfen Maueranschlussanker (aus [110]).....	496
16.30 Datenblatt Erdverdichtungsgerät DPU2540H (aus [111]).....	497
16.31 Densitometer.....	499