

## **KURZBERICHT**

### **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**

## 1 Titel

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

## 2 Anlass / Ausgangslage

Der erfolgreiche Nachweis erddruckbelasteter Kellerwände aus Mauerwerk mit geringer Auflast gestaltet sich häufig schwierig. In solchen Fällen muss die Kellerwand den Erddruck auch in horizontaler Richtung abtragen. Da jedoch die Biegetragfähigkeit von unbewehrten Mauerwerk parallel zur Lagerfuge gering ist, steht hier die Möglichkeit der Verwendung einer textilbewehrten Lagerfuge mit Langfasern aus alkaliresistentem Glas oder Carbon.

## 3 Gegenstand des Forschungsvorhabens

Genutzte Materialien:

Im Projekt wurden Kohlefasertextile und alkaliresistente Glasfasertextile untersucht. Als Mauersteine kamen unterschiedliche Formate der Steinarten Kalksandstein, Porenbeton und Hochlochziegel zum Einsatz. Es wurde ausschließlich Dünnbettmauerwerk geprüft.

Als erster Schritt wurden die folgenden Kleinversuche durchgeführt:

Es wurden Biegeversuche in Form von bewehrten Biegebalken geplant. Grundlage dafür ist ein repräsentativer Ausschnitt aus dem Mauerwerk, mit einer Zugzone (eine bewehrte Lagerfuge) und einer Druckzone (jeweils eine halbe Steinhöhe ober- und unterhalb der Lagerfuge). Um diese Geometrie darstellen zu können, wurden Biegeträger aus halbhohen Steinen mit einer dazwischen liegenden textilbewehrten Lagerfuge hergestellt. Zur Gewährleistung der Mauerwerksmechanik wurden die Steine versetzt vermauert. Die Versuche wurden als 4-Punkt-Biegeversuch durchgeführt (Bild 1). Bei allen Versuchskörpern mit textiler Bewehrung konnten sehr deutliche Erhöhungen der einaxialen Biegetragfähigkeit, im Vergleich zu unbewehrtem Mauerwerk erreicht werden (Faktor 5 bis 10, je nach verwendeter Materialkombination).

Angelehnt an DIN EN 846-2 wurden Textilauszugsversuche zur Bestimmung der charakteristischen Verbundfestigkeit geplant und durchgeführt (Bild 2). Dafür wurden Versuche mit und ohne Auflast angesetzt. Es ließen sich bei allen untersuchten Materialkombinationen gute bis sehr gute Verbundfestigkeiten nachweisen.

Die Bestimmung der Haftscherfestigkeit für Mauerwerk ist in DIN EN 1052-3 geregelt. Für die Versuche wurde das Verfahren B ohne Seitenlast gewählt (Bild 3). Es ist keine Trennschichtwirkung eingetreten. Bei allen durchgeführten Versuchen wurde der übliche Wert der Haftscherfestigkeit für Dünnbettmörtel von  $0,22 \text{ N/mm}^2$  erreicht oder übertroffen.

Nach den Kleinversuchen folgten Großversuchsaufbauten:

Es wurden Großversuche an textilbewehrtem, realitätsgetreuem Kellermauerwerk ( $2,5 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ ) durchgeführt und der Belastung aus Erddruck ausgesetzt (Bild 4). Die Versuche umfassten dabei unterschiedliche Wanddicken mit und ohne textiler Einlage. Es zeigte sich ein zweiachsiger Lastabtrag an den Versuchswänden. Der Lastabtrag erfolgt vertikal über die Bogenwirkung, horizontal über die Biegefestigkeit des Mauerwerkes bzw. die erhöhte Biegefestigkeit durch textilbewehrte Lagerfugen.

Auf Grund der Unschärfen mittels Belastung durch Erddruck, sowie der nicht planmäßigen Steuerbarkeit bzw. beliebiger Lasterhöfbarkeit, wurden weitere Versuche mit maschineller Lasteinleitung (Luftdruckkissen) durchgeführt (Bild 5 und 6). Diese Luftkissenversuche entsprechen

dabei dem Anwendungsfall von Ausfachungsmauerwerk unter Windlasten am ehesten. Da aber für den Erddruck von einem über die Höhe gleichverteilten Lastangriff für die Bemessung ausgegangen werden kann, sind die Luftkissenversuche auch auf diesen Fall übertragbar. Der Versuchsaufbau basiert auf einem geschlossenen Luftdrucksystem. Es ist damit möglich, eine genau definierte, gleichverteilte Flächenlast auf die Versuchswände aufzubringen. Die einwirkende Kraft lässt sich dabei grundsätzlich beliebig steigern und sehr genau messen. Es zeigt sich ein zweiachsiger Lastabtrag an den Versuchswänden. Die textile Bewehrung entfaltet mit zunehmender Verformung ihre volle Wirksamkeit, wodurch in der Folge deutlich größere Kräfte aufgenommen werden können. Die wesentliche Lastaufnahme erfolgt im Bereich der Bruchlinien, wo eine ausreichende Verformung anliegt, um die Biegetragwiderstände des Materials zu aktivieren.

Bemessung und Modellierung:

Es wurden, auf Grundlage von Spannungs-Dehnungs-Beziehungen, eine Reihe unterschiedlicher Bemessungsformeln und Bemessungstabellen für relevante Bemessungsfälle erstellt, die für die praktische Anwendung zur Verfügung gestellt werden können. Anhand der durchgeführten Kleinversuchsreihen konnten damit kalibrierte Biegefestigkeiten parallel zur Lagerfuge für unterschiedliche Wanddicken berechnet werden.

Abschließend wurde ein volldiskretes FE-Modell mittels der Simulationssoftware ANSYS erstellt (Bild 7). Die Lager- und Stoßfugen wurden dafür mit dem nicht linearen Kontakt „reibungsbefahet“ simuliert, d. h. ein Aufklaffen der Fugen wird möglich. Innerhalb der Lagerfugen wurde die textile Bewehrung berücksichtigt.

## 4 Fazit

Es hat sich gezeigt, dass die Vielzahl möglicher Eingangsparameter Einfluss auf die erreichbare Tragfähigkeit einer in der Lagerfuge textilbewehrten Mauerwerkswand hat. Für KS- und PB-Mauerwerk konnten Biegefestigkeiten im Versuch ermittelt werden. Das erarbeitete Vorgehen ist auf andere Materialkombinationen übertragbar. Die Berechnung der Biegetragfähigkeit mittels Biegemomentkoeffiziententabellen nach DIN EN 1996-1-1 liefert gut angenäherte, auf der sicheren Seite liegende, Werte und kann für die Bemessung herangezogen werden. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Biegefestigkeiten für den Fall geringer Auflasten mit textiler Bewehrung in der Lagerfuge mindestens verdoppelt werden können.

## 5 Eckdaten

Kurztitel:	FBKM
Projektleiter:	Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger
Bearbeiter:	Dipl.-Ing.(FH), Dipl.-Kfm. Maik Erler
Gesamtkosten:	257.800,48 €
Anteil Bundeszuschuss:	132.905,18 €
Projektlaufzeit:	36 Monate

## 6 BILDER/ ABBILDUNGEN



Bild 1 CFK-Textilbewehrter Biegebalken aus Kalksandsteinen

Bild von Maik Erler, Bild01.jpg



Bild 2 Textilauszugversuch von CFK-Textil aus Porenbetonlagerfuge mit Auflast

Bild von Maik Erler, Bild02.jpg

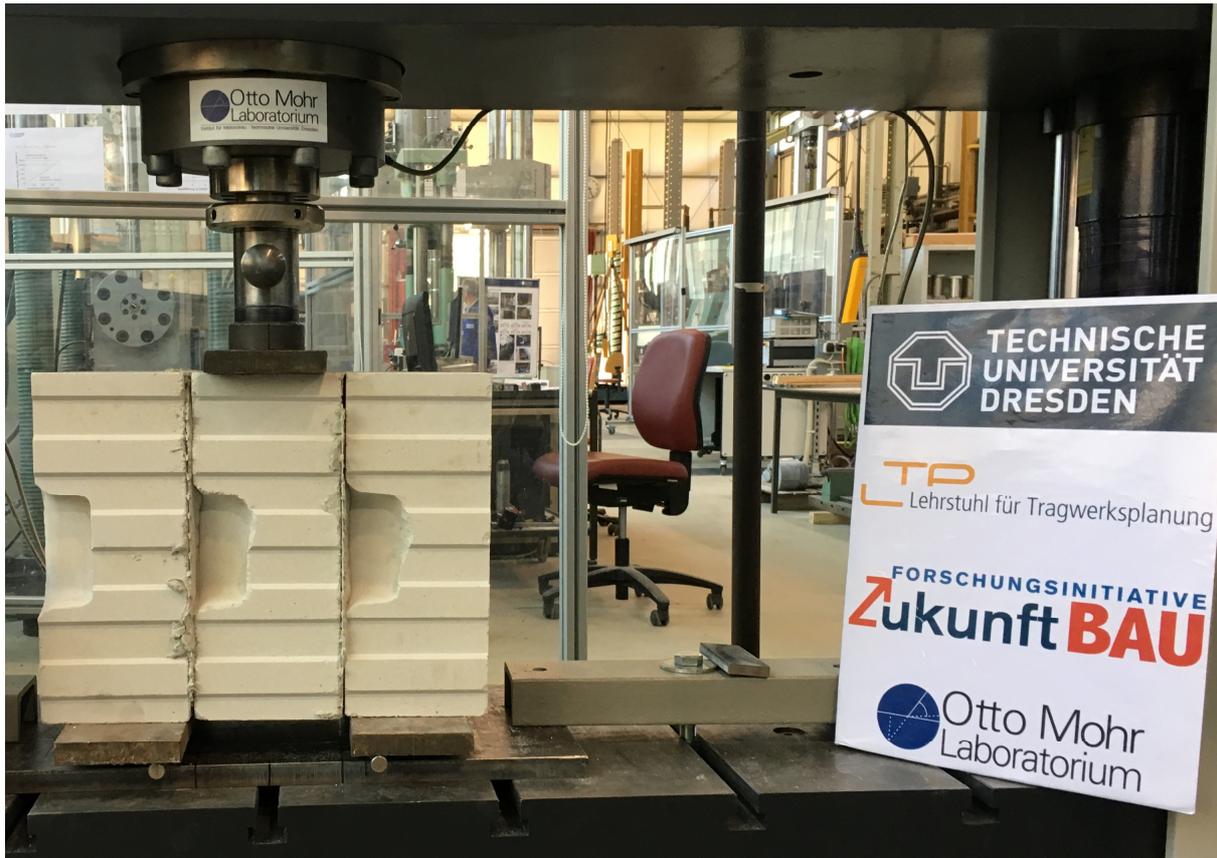


Bild 3 Versuchsaufbau der Haftscherfestigkeitsversuche mit textiler Bewehrung in der Lagerfuge  
Bild von Maik Erler, Bild03.jpg



Bild 4 Großversuchsaufbau eines textilbewehrten Kellermauerwerkes unter Erddruck nach Versuchsdurchführung  
Bild von Maik Erler, Bild04.jpg



Bild 5 Prüfraumen Luftkissenversuch ohne Versuchswand (Im Einbauzustand füllen die Luftkissen den Zwischenraum voll aus)

Bild von Maik Erler, Bild05.jpg

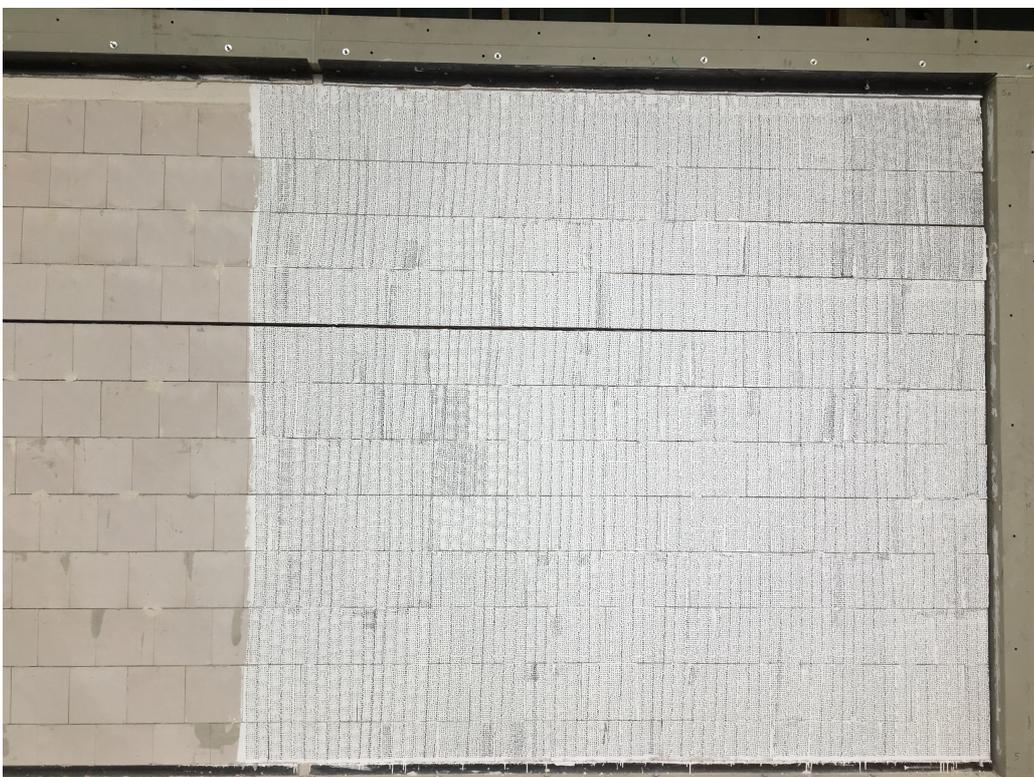


Bild 6 Versuchsaufbau 24 cm KS Versuchswand mit CFK-Textileinlage

Bild von Maik Erler, Bild06.jpg

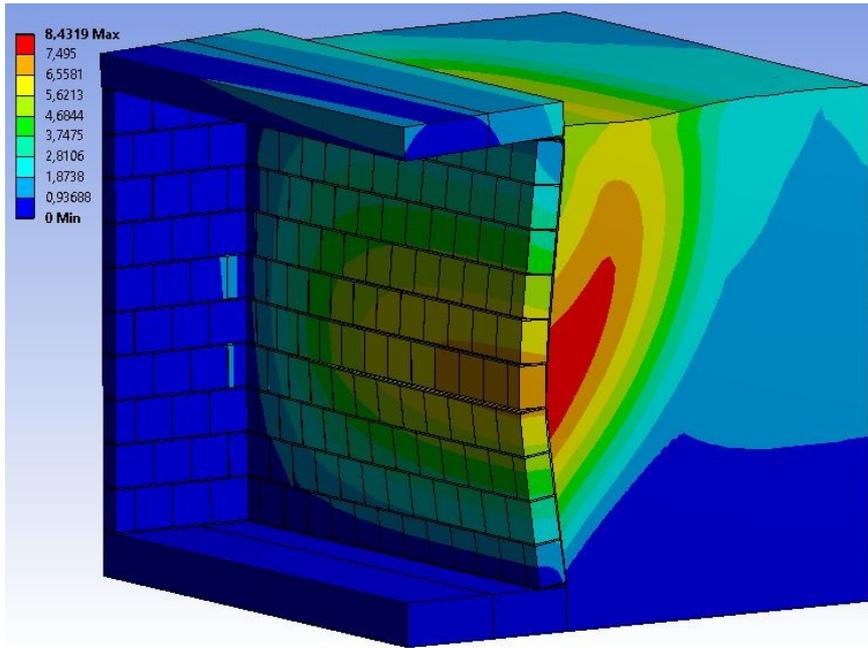


Bild 7 Simulation eines Kellermauerwerks unter realem Erddruck  
Bild von Maik Erler, Bild07.jpg