

ZUGTRAGVERHALTEN VON TEXTILBETONBAUTEILEN MIT MEHRLAGIGER BEWEHRUNG AUS NATURFASERN

Katrin ZECHERLE ^{*a}, Marcus RICKER ^a, Jan BINDE ^b und Jana WINKELMANN ^b

^a *Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Hochschule Biberach, 88400 Biberach/Riß, Deutschland*

^b *Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI, 38106 Braunschweig, Deutschland*

** Corresponding Author: Katrin Zecherle, zecherle@hochschule-bc.de*

Abstract. Im Rahmen eines durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Forschungsprojekts wird das Tragverhalten von Betonbauteilen, die mit Textilien aus Flachfasern bewehrt sind, unter einachsiger Zugbeanspruchung untersucht. Da bisher keine Erkenntnisse zum Zugtragverhalten des nachhaltigen Bewehrungsmaterials in Betonbauteilen vorliegen, wurde auf Basis der Erfahrungen von Textilbeton mit synthetischen Fasern eine geeignete Betonrezeptur und Probekörpergeometrie entwickelt. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der ersten Dehnkörperversuche mit einer mehrlagigen Bewehrung (ungetränkte Drehergewebe mit Bewehrungsquerschnitt von $107 \text{ mm}^2/\text{m}$) vorgestellt. Die Kraft-Weg-Diagramme lassen eine Unterteilung der Kurven in drei Hauptbereiche zu: Zustand I (ungerissenes Bauteil), Zustand IIa (fortschreitende Rissbildung) und Zustand IIb (abgeschlossenes Rissbild). Eine deutliche Laststeigerung im Vergleich zu Zugversuchen am reinen Betonquerschnitt konnte erreicht und ein verteiltes Rissbild mit mehreren Rissen beobachtet werden. Das Verbund- und Zugtragverhalten des nachhaltigen Bewehrungsmaterials aus Naturfasern ähnelt dem in der Literatur beschriebenen Tragverhalten von Betonbauteilen mit einer textilen Bewehrung aus synthetischen Fasern.

Keywords: Textilbeton, Naturfaserbewehrung, Betonbau

1 EINLEITUNG

Nachhaltigere Bauweisen und der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen spielen im Bauwesen eine immer zentralere Rolle. Im Betonbau haben u.a. nicht-metallische Bewehrungen an Relevanz gewonnen. Ein großer Vorteil liegt dabei in der reduzierten Korrodierbarkeit, bei vergleichbar hoher Zugfestigkeit wie Betonstahl. Bei gleicher Tragfähigkeit können so die Bewehrungsquerschnitte reduziert, das notwendige Nennmaß der Betonüberdeckung minimiert und somit Zement eingespart werden. Darüber hinaus haben Naturfasern gegenüber synthetisch hergestellten Fasern (z.B. Carbon-, Glasfasern) den Vorteil, dass der CO_2 -Ausstoß während des Herstellprozesses geringer ist. Bewehrungstextilien aus nachwachsenden Ressourcen ermöglichen einen nachhaltigeren Stoffkreislauf [1] und haben Vorteile hinsichtlich

des Arbeits- und Gesundheitsschutzes [2]. Im Rahmen des vorgestellten DBU-Projektes soll insbesondere das Zug- und Verbundtragverhalten von Betonbauteilen mit einer textilen Bewehrung aus Naturfasern untersucht werden. Die Ergebnisse der ersten Dehnkörperversuche werden in diesem Beitrag vorgestellt.

2 EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

2.1 VERWENDETE MATERIALIEN

Da übliche Betonmischungen nach DIN EN 206 [3] aufgrund der begrenzten Öffnungsweite der verwendeten Textilien für dieses Projekt nicht verwendet werden konnten, wurde basierend auf dem Beton FA-1200-01 [4] ein Mörtelbeton entwickelt. Die neue Mischung (Tabelle 1) erreichte im Mittel eine Druckfestigkeit von 37 MPa und eine Biegezugfestigkeit von etwa 6,7 MPa, was einer mittleren zentrischen Zugfestigkeit von knapp 3 MPa entspricht.

Die untersuchten Textilien bestehen aus Flachfasern, die als Drehergewebe mit einer Doppelgreifer-Webmaschine mit Jacquard-Aufsatz hergestellt wurden. Das Gewebe besteht aus Schussfäden (Feinheit=1500tex) und Kettfäden (Steh- und Dreherfaden mit je 500tex). Das für die Vorversuche verwendete Textil hatte eine Öffnungsweite von 10 mm in Schuss- und Kettrichtung, woraus sich ein Bewehrungsquerschnitt von etwa 107 mm²/m ergibt (vgl. Abbildung 1). Für die Vorversuche wurden ungetränkte Textilien verwendet, welche eine Zugfestigkeit von etwa 352,3 MPa (experimenteller Mittelwert der Garnzugversuche nach ASTM D 2256 / DIN EN ISO 2062 [5]) erreichten. Um eine größere Bruchlast als die Risszuglast des Betons zu erreichen, wurden zwei (NI-10/10-1500-2-x) und drei (NI-10/10-1500-3-x) Textillaugen als Bewehrung vorgesehen.

Tabelle 1: Mischungskomponenten des Betonmörtels

Bestandteile	(kg/m ³)
CEMI I 52,5 R	210
Sand 0/1	668
Quarzmehl 0,04-0,15	468
Kalksteinmehl	455
Silikastaub	35
Fließmittel	6
Wasser	280



Abbildung 1: Ungetränktes Drehergewebe aus Flachfasern.

2.2 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Für die Zugversuche wurden in Anlehnung an [6] Dehnkörper konzipiert. Die Abmessungen der Versuchskörper können Abbildung 2 entnommen werden. Im Vergleich zu [6] wurde die

Stegdicke der Körper auf 15 mm erhöht, da die Textilien aus Naturfasern dicker als vergleichbare Textilien aus synthetischen Fasern sind. Die Messlänge für die Dehnungsmessung wurde auf 580 mm festgelegt.

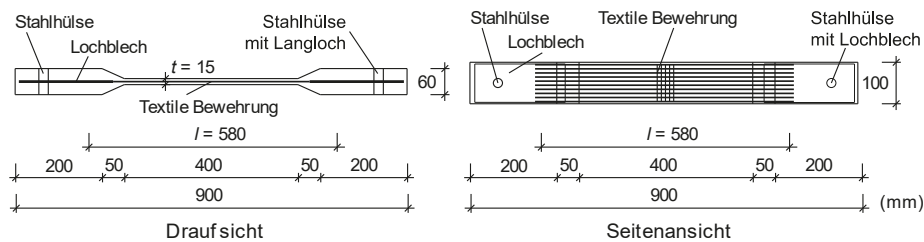


Abbildung 2: Geometrie der Dehnkörper (Kettfäden sind in der Ansicht in Dehnkörpermitte nur angedeutet).

Der Bewehrungsquerschnitt bei zwei Lagen betrug ca. $21,4 \text{ mm}^2$, woraus sich ein geometrischer Längsbewehrungsgrad von $\rho_l = 1,4\%$ ergab. Bei drei Bewehrungslagen betrug der Textilquerschnitt ca. $32,1 \text{ mm}^2$ ($\rho_l = 2,1\%$). Für den zentrischen Einbau der Textilien in der Schalung sind diese in den Randbereichen auf Lochbleche aufgeklebt und mittels der beiden Stahlhülsen vor dem Betonieren gespannt worden. Zusammen mit den Probekörpern wurden unbewehrte Referenzdehnkörper und Prismen ($l \times b \times h = 160 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$) für die Betoncharakterisierung hergestellt. Die Probekörper wurden am Tag nach dem Betonieren ausgeschalt und bis zum 7. Tag unter Wasser gelagert. Danach wurden die Probekörper unter konstanten Bedingungen gelagert (20°C , 60% relative Luftfeuchtigkeit) und am 28. Tag geprüft.

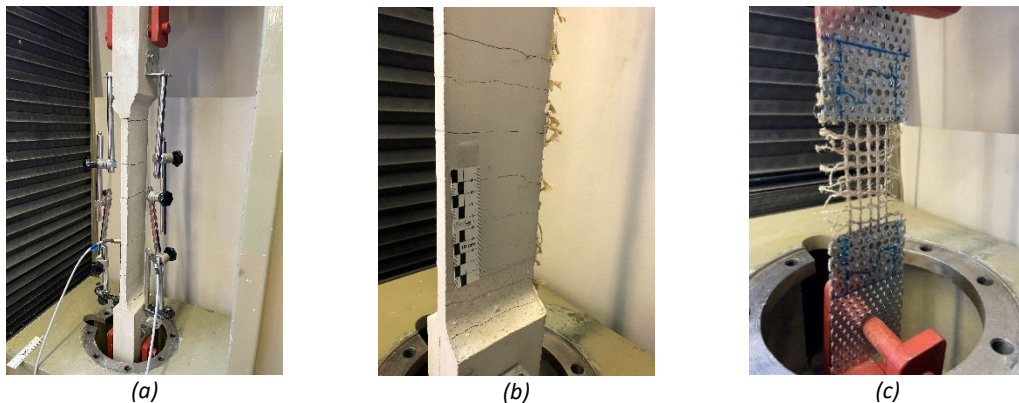


Abbildung 3: Zugversuche an Dehnkörpern (a) Rissbild (b) und Zugversuche an Textilstreifen (c).

Während der Versuche wurden die Kraft und die Verformungen mit einer Kraftmessdose bzw. zwei seitlich an den Dehnkörpern angebrachten induktiven Wegaufnehmern kontinuierlich aufgezeichnet (Abbildung 3 (a)). Um die Zugfestigkeit der verwendeten Textilien abzuschätzen, wurden Zugversuche nach EN ISO 13934-1 [7] an Textilstreifen mit einer Breite von 50 mm und einer Messlänge von 200 mm durchgeführt (Abbildung 3 (c)).

3 VERSUCHSERGEBNISSE UND DISKUSSION

In den Zugversuchen an den Textilstreifen ergab sich eine maximale Zugkraft von 1,331 kN bei einer maximalen Verformung von 4,42 mm (Maschinenweg). Das entspricht einer Bruchspannung von etwa 250 MPa. Die unbewehrten Dehnkörper versagten etwa bei Erreichen der zentrischen Zugspannung des Betons spröde. Es bildete sich schlagartig ein Riss durch den gesamten Querschnitt aus. Die gemessene Kraft der bewehrten Dehnkörper ist in den Diagrammen in Abbildung 4 über die gemittelten Werte der beiden Wegaufnehmer aufgetragen. Anhand der Diagramme lassen sich zwei wesentliche Aussagen ableiten: Zum einen ergab sich bei den Einzelversuchen jeweils ein ähnlicher Verlauf der Last-Verformungs-Kurven, wobei ähnliche Bruchlasten und maximale Verformungen erreicht wurden. Außerdem konnte die Bruchlast der dreilagig bewehrten Dehnkörper um etwa 50% bezogen auf die zweilagig bewehrten Versuchskörper gesteigert werden. Zum anderen lassen sich die Kurvenverläufe in drei, für einen bewehrten Dehnkörper typische Bereiche einteilen: Zustand I (ungerissen), Zustand IIa (fortschreitende Rissbildung), Zustand IIb (abgeschlossenes Rissbild). Nach Abschluss der Rissbildung konnte eine lineare Laststeigerung beobachtet werden, bis es schließlich zu einem Abfallen der Kraft kam, was aus dem Reißen des Textils resultierte. Da es kurz vor dem Versagen des Textils zu einem Auseinanderziehen der Stapelfasern kommt, war das Bruchverhalten nicht vollständig spröde. Es handelt sich somit um ein sukzessives Versagen der Einzelgarne. In allen Versuchen konnte ein verteiltes Rissbild mit mehreren Rissen mit nahezu gleichen Rissbreiten beobachtet werden (Abbildung 3 (b)).

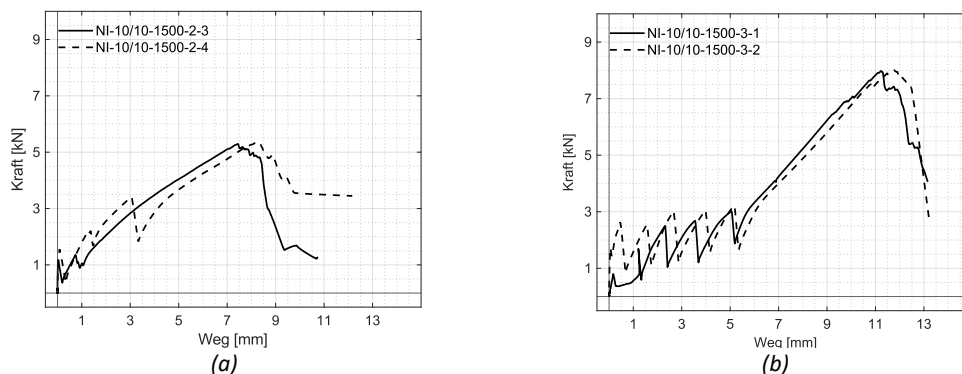


Abbildung 4: Kraft-Weg-Diagramme der Zugversuche von zwei- (a) und dreilagig (b) bewehrten Dehnkörpern.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorgestellten Vorversuche zum einaxialen Zugtragverhalten von Betonbauteilen mit einer textilen Bewehrung aus Naturfasern bestätigen durch ihr verteiltes Rissbild, dass bei der Verwendung von ungetränkten Geweben ein gutes Verbundverhalten erreicht werden kann. Ähnlich wie bei Stahlbeton- oder Textilbetonbauteilen mit einer Bewehrung aus synthetischen Fasern können die Last-Verformungs-Kurven in drei wesentliche Bereiche eingeteilt

werden (Zustand I, Zustand IIa und Zustand IIb). Es kommt schließlich zum Versagen des Verbundkörpers durch das Reißen der textilen Bewehrung. Im Vergleich zum reinen Betonquerschnitt kann die Versagenslast deutlich gesteigert und die textile Bewehrung aus Naturfasern bis zur Zugfestigkeit ausgenutzt werden. Durch die Erhöhung der Anzahl der Bewehrungslagen wurde eine proportionale Steigerung der Versagenslast erreicht.

5 DANK

Die Autoren danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU, Az. 35830/01-25) für die Förderung des Forschungsprojektes. Der Dank geht auch an *Sika Deutschland GmbH, sh_minerals GmbH, a+b Asphalt- und Betonmischwerke GmbH & Co. KG* und insbesondere an die *Schwenk Zement GmbH & Co. KG* für die zur Verfügungstellung der Materialien und fachliche Unterstützung, sowie an Herrn Felix Trah, M.Eng., der im Rahmen seiner Masterarbeit intensiv an den präsentierten Untersuchungen mitgearbeitet hat.

6 LITERATUR

- [1] M. Raupach, J. Orłowski, T. Büttner et al., „Epoxy-impregnated textiles in concrete – load bearing capacity and durability“ in *Hegger, J.; Bramshuber, W.; Will, N.: Textile Reinforced Concrete, RILEM Publications S.A.R.L., Bagnaux, France, 2006, S. 77-88.*
- [2] D. Kehren, S. Plitzkow, A. Meyer-Plath, „Carbonfasern als Quelle alveolengängiger Fasern. Arbeitsschutz bei der Behandlung faserhaltiger Abfälle“ in *Tagung: Aufbereitung und Verwertung carbonfaserhaltiger Abfälle, Umweltbundesamt, 20.09.2019.*
- [3] DIN EN 206:2017-01: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Deutsche Fassung EN 206:2013 + A1:2016, Ausgabe Januar 2017.
- [4] M. Molter, „Zum Tragverhalten von textilbewehrtem Beton. Dissertation Fakultät Bauingenieurwesen, RWTH Aachen“ in *Schriftenreihe des IMB, Heft 20, Aachen, 2005.*
- [5] DIN EN ISO 2062:2010-04: Textilien- Garne von Aufmachungseinheiten – Bestimmung der Höchstzugkraft und Höchstzugkraftdehnung von Garnabschnitten unter Verwendung eines Prüfgeräts mit konstanter Verformungsgeschwindigkeit (CRE) (ISO 2062:2009). Deutsche Fassung EN ISO 2062:2009.
- [6] Bramshuber, W., Hinzen, M. et al., „Recommendation of RILEM TC 232-TDT. Test methods and design of textile reinforced concrete – Uniaxial tensile test: test method to determine the load bearing behavior of tensile specimens made of textile reinforced concrete“ in *Materials and Structures 49 (2016), S. 4923–4927. 2016.*
- [7] DIN EN ISO 13934-1:2013: Textilien – Zugeigenschaften von textilen Flächengebilden – Teil 1: Bestimmung der Höchstzugkraft und Höchstzugkraft-Dehnung mit dem Streifenzugversuch (ISO 13934-1:2013). Deutsche Fassung EN ISO 13934-1:2013.