

Inhaltsverzeichnis

Einleitung, Ausgangssituation und Zielsetzung	3
Experimentelle Untersuchungen	3
Allgemeines	3
Ergebnisse zum Tragverhalten der Plattenbalken	4
Ausblick.....	6
Literatur	7

Einleitung, Ausgangssituation und Zielsetzung

Ingenieurbauwerke werden in der Regel für eine Nutzungsdauer von 80 bis 100 Jahren bemessen. In diesem Zeitraum sind Nutzungsänderungen oder auch steigende Verkehrslasten kaum auszuschließen, so dass der planende Ingenieur auf zutreffende Prognosen und Lastmodelle angewiesen ist.

Im Bereich des Brückenbaus ist der rasante Anstieg des Verkehrsaufkommens kaum vorhersehbar. So wurde z. B. die für den Zeitraum von 1998 bis 2015 prognostizierte Steigerung des Güterverkehrs um 76 % bereits im Jahr 2008 erreicht und auch die nächsten Prognosezahlen für das Jahr 2025 sind inzwischen überholt.

Der teilweise unzureichende Zustand der Brückenbauwerke ist aber nicht allein auf die gestiegenen Verkehrslasten zurückzuführen. Auch die frühere Berechnungs- und Bemessungsvorschriften entsprechen zum Teil nicht mehr dem Stand der Technik. Nach den heutigen Anforderungen sind Bauwerke aus dieser Zeit heute oft nicht mehr ausreichend tragfähig.

Ein Beispiel hierfür sind Spannbetonbrücken, die vor dem Jahr 1968 errichtet wurden (HEGGER ET AL. [5]). Der Querkraftnachweis durfte seit den Anfängen des Stahl- und Spannbetonbaus allein durch Einhaltung zulässiger Schubspannungen geführt werden. Eine konstruktive Mindestbewehrung, wie sie im Jahr 1966 mit der BMV-RICHTLINIE [1] eingeführt wurde, war bis dahin nicht vorgeschrieben.

Die Eignung der textilen Bewehrungen zur Querkraftverstärkung eines Bauteils wurde im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 528 „Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung“ intensiv untersucht. Der textilbewehrte Beton hat das Potential, sich auf den Markt als Verstärkungsalternative durchzusetzen, wie auch die ersten Anwendungen zeigen (CURBACH ET AL. [3], SCHLADITZ ET AL. [8]). Voraussetzung ist allerdings, dass der Einsatz des Textilbetons nicht auf Bauteile mit vorwiegend ruhender Beanspruchung beschränkt bleibt. Querkraftverstärkungen werden auch für zyklisch beanspruchte Bauteile gebraucht, zu denen u. a. Brückenbauwerke zählen.

Experimentelle Untersuchungen

Allgemeines

Das DAfStb-Forschungsvorhaben zur Querkrafttragfähigkeit von Textilbetonverstärkungen unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung baut auf die Untersuchungen des DFG-Sonderforschungsbereiches 528 auf. An Plattenbalken mit identischen Abmessungen und Bewehrungen, wie sie bereits im SFB unter statischer Belastung geprüft wurden, sollte der Einfluss einer vorwiegend nicht ruhenden Beanspruchung untersucht werden (Bild 1).

Im Sinne einer Machbarkeitsstudie wurden insgesamt sieben Plattenbalken einer Schwellbelastung von zwei Millionen Lastwechseln unterzogen. Anschließend wurde die Resttragfähigkeit der Probekörper geprüft. Mögliche Auswirkungen der zyklischen Beanspruchungen auf die Tragfähigkeit der Plattenbalken wurden durch Rissbildaufnahmen und die Messung tragfähigkeitsrelevanter Verformungen dokumentiert.

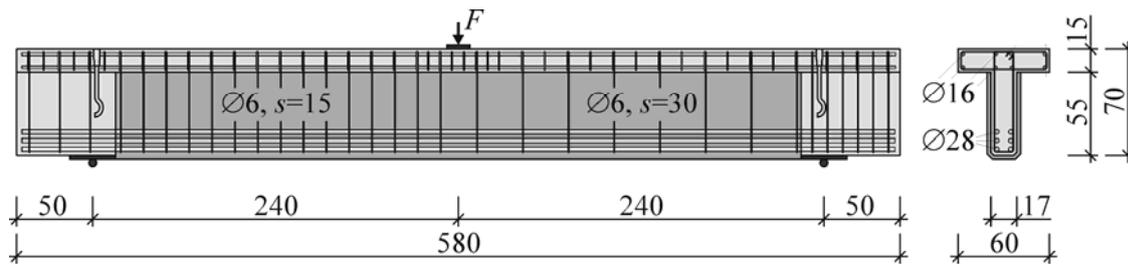


Bild 1: Querschnitt der verstärkten Probekörper und Bewehrungsführung

Um die Tragfähigkeit des Haftverbundes zwischen Steg und Verstärkungsschicht zu prüfen, werden alle verstärkten Probekörper ohne zusätzliche konstruktive Lösungen der Verankerung ausgeführt. Die Verstärkungsschicht endet außerhalb der rechnerischen Biegedruckzone. Das Ablösen der Verstärkungsschicht wird an mehreren Stellen durch die Messung der Relativverschiebungen zwischen Stahlbetonbauteil und Verstärkungsschicht überwacht. Entscheidend ist es, den Beginn des Ablöses zu erkennen, weil dieser den Grenzzustand der Tragfähigkeit des Verbundes kennzeichnet und versagensmaßgebend ist.

Die geprüften Tragfähigkeiten der Plattenbalken werden anschließend rechnerisch nachvollzogen. Mit vorhandenen ingenieurmäßigen Berechnungsmodellen werden die Traganteile der Stahlbügelbewehrung und der textilen Bewehrung bestimmt und als Summe den geprüften Bruchlasten gegenüber gestellt. Ziel dieser Nachrechnung ist es, die Anwendbarkeit des im SFB 528 entwickelten Stabwerkmodells für textilbewehrte Querkraftverstärkungen auf nicht vorwiegend ruhend beanspruchte Bauteile zu prüfen.

Ergebnisse zum Tragverhalten der Plattenbalken

Die Querkrafttragfähigkeit der Plattenbalken war nach dem Aufbringen der Verstärkungsschicht generell höher als die des ursprünglichen Stahlbetonbalkens, obwohl die Verstärkungsschicht allein über den Haftverbund am Steg der Plattenbalken verankert war. Traglastmindernde Einflüsse der Schwellbeanspruchung konnten anhand der geprüften Bruchlasten nicht festgestellt werden. Durch die Nacherhärtung des Betons waren die Bruchlasten der mit 2 Mio. Lastwechseln beanspruchten Plattenbalken höher als im ausschließlich statisch geprüften Referenzversuch, so dass die Auswirkungen der Schwellbeanspruchung möglicherweise kompensiert wurden.

Die photogrammetrisch gemessenen Stegverformungen bestätigen die bereits von MALEK & SAADATMANESH [7] oder BRÜCKNER [2] festgestellte höhere Dehnsteifigkeit des Steges als Folge einer Verstärkung. Die Änderungen der Steifigkeitsverhältnisse im Steg wurden anhand der Rissbreiten oder der Neigung der Hauptstauchungen nachgewiesen. Die Rissbreiten werden durch die textile Bewehrung vor allem bei geringen Bügelbewehrungsgraden erheblich reduziert. Bedeutend sind die geringeren Rissbreiten nicht nur hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit. Bei Gefahr eines Schubdruckversagens, d. h. eines Versagens der Biegedruckzone infolge einschnürender Schubrisse, kann eine Begrenzung der Rissbreiten sogar zu höheren Tragfähigkeiten führen wie die Untersuchungen von BRÜCKNER [2] an Rechteckbalken gezeigt haben.

Der Neigungswinkel der Hauptstauchung ist bei verstärkten Bauteilen sowohl auf gleichem Lastniveau als auch im Bruchzustand steiler als beim unverstärkten Stahlbeton. Auf das Fachwerkmodell der Stahlbügelbewehrung übertragen, bedeutet ein steilerer Stauchungs- bzw. Druckstrebenwinkel, dass die verstärkten Bauteile geringere Lasten über die Stahlbügelbewehrung abtragen als die unverstärkte Referenz. Die Tragfähigkeit der Verstärkung ist folglich größer als der Traglastunterschied zwischen verstärkten und unverstärkten Bauteilen.

Die zyklische Beanspruchung hat weder bei den Rissbreiten noch beim Neigungswinkel der Hauptstauchung zu erkennbaren Auswirkungen geführt. Es wurde keine plastische Zunahme der Rissbreiten zwischen der Anfangs- und der Endbelastung der Plattenbalken festgestellt, so dass von einer Schädigung der Bewehrung oder des Verbundes bisher nicht ausgegangen wird. Auch der Neigungswinkel der Hauptstauchung

Die geprüften Tragfähigkeiten der Plattenbalken wurden mit den Prognosen vorhandener Berechnungsmodelle verglichen. Ausgehend von einem gemeinsamen Lastabtrag der beiden Stegbewehrungen wurden die Traganteile der Stahlbügelbewehrung und der textilen Bewehrung nach dem Fachwerkmodell der DIN 1045-1 [4] bzw. nach dem Modellvorschlag von BRÜCKNER [2] additiv superponiert.

Die rechnerischen Tragfähigkeiten weisen eine systematische Abweichung gegenüber den geprüften Tragfähigkeiten auf (Bild 2). Sowohl die unverstärkten als auch die verstärkten Plattenbalken werden rechnerisch unterschätzt. Die für alle Balken nahezu gleiche Abweichung lässt eine unberücksichtigte Tragwirkung vermuten, die mit den angesetzten parallelgurtigen Fachwerkmodellen nicht erfasst wird. Denkbar wäre der Querkraftanteil eines bogenförmig geneigten Obergurtes, der üblicherweise zu Gunsten einer einfacheren Nachweisführung vernachlässigt wird.

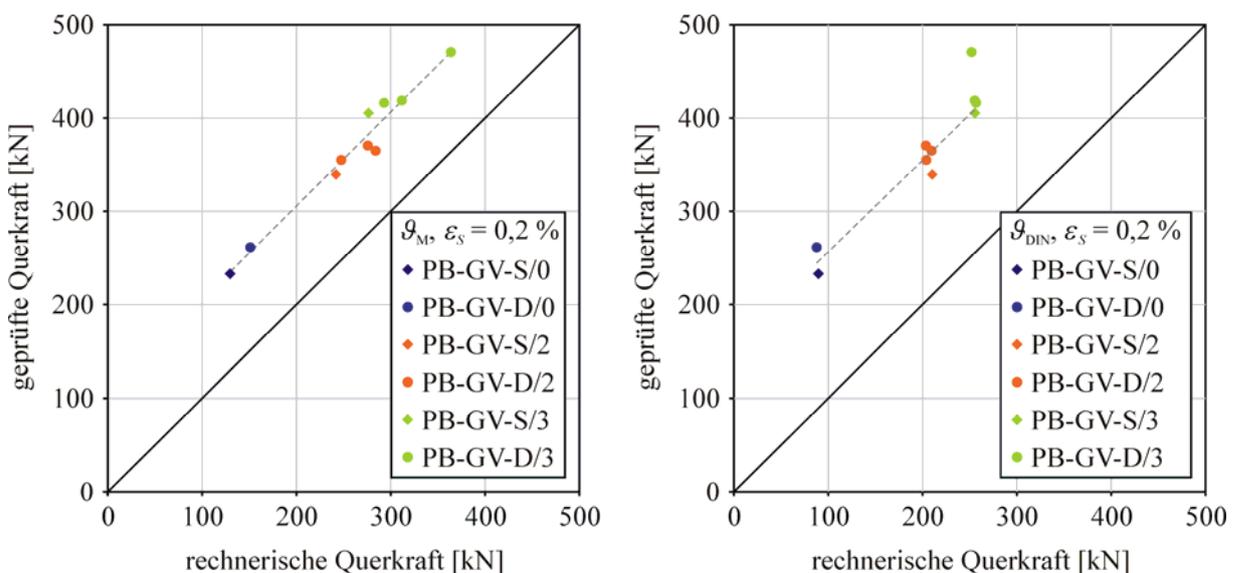


Bild 2: Vergleich von rechnerischer und geprüfter Tragfähigkeit bei Ansatz des gemessenen Druckstrebenwinkels (links) bzw. des Druckstrebenwinkels nach DIN 1045-1 [4] (rechts)

Ausblick

Das Verhalten eines Bauteils unter Querkraftbeanspruchung ist sehr komplex und bis heute selbst für den Stahlbeton nicht eindeutig zu beschreiben. Bei einem verstärkten Bauteil kommen zu den Einflüssen des Stahlbetons noch diejenigen des neuen Verstärkungsmaterials hinzu, so dass weitere Grenzfälle zu prüfen und zu analysieren sind.

Die bisherigen Versuche beschränken sich auf schubbewehrte Bauteile mit minimalen Bügelbewehrungsgrad. Ein höherer Bewehrungsgrad wirkt sich sowohl auf die Rissbreiten als auch auf den Neigungswinkel der Hauptstauchung aus, wie die Untersuchungen dieses Forschungsvorhabens durch den Vergleich der beiden unterschiedlich bewehrten Balkenhälften gezeigt haben. Die Folge eines veränderlichen Neigungswinkels der Hauptstauchung ist nach dem Fachwerkmodell, dass die Querkrafttragfähigkeit der Bauteile nichtlinear mit dem Bügelbewehrungsgrad steigt – eine Theorie die durch weitere Versuche zu belegen ist.

Neben dem Bügelbewehrungsgrad bzw. dem Flächenverhältnis der Stegbewehrung ist auch die Betonfestigkeit von maßgeblichem Einfluss auf die Querkrafttragfähigkeit eines Bauteils, wie bereits frühere Untersuchungen (LEONHARDT & WALTHER [6]) gezeigt haben. Eine mit der Betonfestigkeit steigende Querkrafttragfähigkeit wäre für vorwiegend nicht ruhend beanspruchte Bauteile von Vorteil, da die Auswirkungen einer Schwellbeanspruchung möglicherweise kompensiert werden. Auch an dieser Stelle wären systematische Untersuchungen sinnvoll.

Die Querschnittsform eines Bauteils bestimmt das maßgebende Querkraftversagen. Bei einem Plattenbalken mit ausreichender Tragfähigkeit der Druckstreben tritt das Querkraftversagen in Form eines Zugversagens der Stegbewehrungen ein. Bei einem Rechteckbalken hingegen wird die Tragfähigkeit der Biegedruckzone durch einschnürende Schubrisse beschränkt (Schubdruckversagen). Dieses Versagen wurde unter zyklischer Beanspruchung bislang nicht untersucht. Das Rissbild als Ursache eines Schubdruckversagens wird u. a. durch die Schubslankheit, den Verstärkungsgrad oder auch die Art der Stegbewehrung (Glattstahl, aufgebogenen Längsbewehrungen) beeinflusst.

Eine Schwellbeanspruchung mit einem Dauerlastanteil von 80 % und einer Schwingbreite von 30 % des Gebrauchslastniveaus führte in den experimentellen Untersuchungen des Forschungsvorhabens zu keiner nachweisbaren Schädigung der Plattenbalken. In weiteren experimentellen Untersuchungen sollte die Höhe der Schwellbelastung gesteigert werden, um für spätere praktische Anwendungen der Querkraftverstärkung die Grenzen der ertragbaren zyklischen Beanspruchung aufzuzeigen, da die Verbunduntersuchungen hier einen signifikanten Einfluss gezeigt haben. Eine Erhöhung der Lastwechselzahl bei den Balkenversuchen scheint nach den Ergebnissen dieser Untersuchung nicht erforderlich, jedoch sollte dieser Einfluss in den Verbunduntersuchungen verifiziert werden.

Für praktische Anwendungen der Querkraftverstärkung im Brückenbau ist zudem der Lastfall wechselnder Temperaturen von wesentlicher Bedeutung. Für typische Oberflächentemperaturen von textilbetonverstärkten Bauteilen, die Umwelteinflüssen direkt ausgesetzt sind, im Bereich von ca. -30°C bis 80°C gibt es bislang keine Untersuchungen. Auch der Einfluss aus einer Dauerlast auf mit Textilbeton für Querkraft verstärkte Bauteile muss noch untersucht werden. Gleiches gilt für diese Einflussfaktoren auf das Verbundtragverhalten. Um statistisch abgesicherte Aussagen treffen zu können, sind hier weitere systematische Untersuchungen

erforderlich. Ein weiterer, bislang noch nicht hinreichend untersuchter Parameter ist der Einfluss einer Vorspannung, wie sie bei Brücken üblich ist, auf die erreichbare Verstärkungswirkung von Textilbeton. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Literatur

- [1] BMV-RICHTLINIE: *Zusätzliche Bestimmungen zu DIN 4227 für Brücken aus Spannbeton*. BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR/HAUPTVERWALTUNG DER DEUTSCHEN BAHN (HRSG.), Bonn, 1966
- [2] BRÜCKNER, A.: *Querkraftverstärkung von Bauteilen mit textildbewehrtem Beton*. Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, Dissertation, 2011
- [3] CURBACH, M.; BRÜCKNER, A.; ORTLEPP, R.; WEILAND, S.: *Textildbewehrter Beton – Anwendung für Verstärkung*. In: DAFSTB (HRSG.): *Neue Entwicklungen im Betonbau: Tagungsband der Fachtagung 2007 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung*, Berlin, 2007
- [4] DIN 1045-1: *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion*. Ausgabe August 2008, zurückgezogen
- [5] HEGGER, J.; KARAKAS, A.; PELKE, E.; SCHÖLCH, U.: Zur Querkraftgefährdung bestehender Spannbetonbrücken – Teil I: Grundlagen. *Beton- und Stahlbetonbau* 104 (2009), H. 11, S. 737-746
- [6] LEONHARDT, F.; WALTHER, R.: Schubversuche an einfeldrigen Stahlbetonbalken mit und ohne Schubbewehrung. In: *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton*. Heft 151. Berlin : Ernst & Sohn, 1962
- [7] MALEK, A.; SAADATMANESH, H.: Ultimate Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Web-Bonded Fiber-Reinforced Plastic. *ACI Structural Journal* 95 (1998), No. 4, pp. 391-399
- [8] SCHLADITZ, F.; LORENZ, E.; JESSE, F.; CURBACH, M.: Strengthening of a Barrel-Shaped Roof using Textile Reinforced Concrete. In: *33rd Symposium of the International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE)*, Bangkok, 2009, S. 416-417 – Book of Abstracts and CD-ROM – ISBN 978-3-85748-121-5

