

7 Pilotanwendungen von Textilbeton für Verstärkungen im Brückenbau

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Feix;

Dipl.-Ing. Dr. Mario Hansl

Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Massivbau
und Brückenbau

7.1 Hintergrund

Im gesamten österreichischen Straßenverkehrsnetz sind derzeit knapp 30.000 Brücken mit einer Gesamtfläche von ca. 10 Mio. m² unter Verkehr [1]. Der Großteil dieser bestehenden Brückenfläche wurde in den Jahren von 1965 bis 1985 errichtet und weist somit heute ein Alter von 30 bis 50 Jahren auf. Verbunden mit dem hohen Alter der Bauwerke lassen sich vermehrt Abnutzungserscheinungen an den vorhandenen Abdichtungssystemen und Mängel in der bestehenden Bausubstanz, insbesondere durch fortgeschrittene Bewehrungskorrosion, feststellen. Erschwerend kommt hinzu, dass sich die Nutzung unserer Infrastruktur speziell in Bezug auf den Straßenverkehr in den vergangenen Jahrzehnten stark verändert hat. So stiegen die Verkehrszahlen des gesamten Straßenverkehrs in Österreich bezogen auf das Jahr 1980 – also jenem Zeitpunkt, an dem der Großteil des heutigen Brückenbestandes bereits errichtet worden war – heute bereits auf den 2,3-fachen Wert an [2]. Noch brisanter stellt sich die Lage im Bereich des Schwerverkehrs dar. Besonders deutlich lässt sich dies am Beispiel der jährlichen Güterverkehrsmenge am Brennerpass, der Teil einer der wichtigsten Transitrouten Europas ist, zeigen. Lag der Wert im Jahr 1980 noch bei ca. zehn Millionen Tonnen, so kann heute ein dreimal so hoher Wert von ca. 30 Millionen Tonnen pro Jahr verzeichnet werden [2].

Aufgrund des hohen Alters der bestehenden Bausubstanz und der steigenden Verkehrszahlen und -lasten werden sich in Zukunft speziell im Straßenbrückenbau die Aufgaben vermehrt vom Neubau in den Bereich der Verstärkung und Instandsetzung umlagern. Die Aufgabe der Forschung besteht nun darin, neue Materialien und Methoden zu entwickeln, mit denen die auf uns zukommenden Verstärkungs- und Instandsetzungsaufgaben technisch innovativ, kosteneffizient, res-

sourcenschonend und vor allem dauerhaft gelöst werden können. Eines dieser neuen Materialien, welches in den vergangenen Jahren diesbezüglich großes Potential gezeigt hat, ist der sogenannte Textilbeton, z. B. [3], [4]. Textilbeton (bzw. textiltbewehrter Beton) ist ein Verbundwerkstoff bestehend aus Beton und technischen Hochleistungsfasern, die zu gitterartigen Strukturen verarbeitet und in die Betonmatrix als Bewehrung eingebettet werden. Der wesentliche Unterschied zum herkömmlichen stahlbewehrten Beton besteht darin, dass die verwendete textile Bewehrung korrosionsresistent ist, d. h. dass auf die sonst übliche große Betondeckung zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit verzichtet werden kann. Textilbeton lässt sich daher in sehr geringen, bisher im Betonbau unerreichten Querschnittsstärken ausführen. Eine weitere herausragende Eigenschaft von Textilbeton ist die hohe mechanische Beanspruchbarkeit unter Zugbelastung, die sich auf den Einsatz hochwertiger Fasermaterialien, wie beispielsweise alkaliresistenten Glases oder Kohlenstoff (Carbon), begründet. Aufgrund dieser besonderen Eigenschaften eignet sich Textilbeton hervorragend zur nachträglichen Verstärkung bestehender Betonstrukturen. Der Textilbeton wird dabei in Form einer dünnen Schicht auf die Oberfläche des bestehenden Betonbauteils aufgetragen. Wird der Textilbeton in der Zugzone eines Bauteils aufgetragen, wirkt die textile Bewehrung als zusätzliche Komponente zur Aufnahme von Zugkräften, wodurch die Tragfähigkeit des Querschnitts deutlich erhöht werden kann. Die prinzipielle Wirksamkeit dieser Verstärkungsmethode konnte bereits in zahlreichen Forschungsarbeiten und bei verschiedenen Pilotprojekten bestätigt werden [5-10].

Bisher standen allerdings dabei vor allem Verstärkungsanwendungen für Bauteile des Hochbaus im Vordergrund der wissenschaftlichen Untersuchungen. Die Universität Innsbruck hat sich in Kooperation mit der Firma STRABAG im Rahmen des Forschungsprojektes *Instandsetzen und Verstärken von Bestandsbrücken mittels direkt befahrbarer, textiltbewehrter Aufbeton* mit der Erweiterung des Anwendungsgebietes textiltbewehrter Betone auf den Bereich des Straßenbrückenbaus und damit auf nicht vorwiegend ruhende Beanspruchungen beschäftigt. Im vorliegenden Beitrag wird ein Über-

blick über die dabei durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen gegeben und von ersten Pilotanwendungen an realen Brückenbauwerken berichtet, die zu Forschungszwecken bereits durchgeführt werden konnten.

7.2 Verstärkungskonzept

Das vorgeschlagene Verstärkungskonzept beruht auf dem in [11] beschriebenen Prinzip der nachträglichen Querschnittsergänzung mittels einer auf der Oberseite der bestehenden Fahrbahnplatte aufgetragenen und mit dieser schubfest verbundenen, textilbewehrten Spezialbetonschicht. Die schubfeste Verbindung zwischen dem alten und dem neuen Beton wird dabei durch eine entsprechende Rauigkeit der Altbetonoberfläche erzielt, die durch Anwendung des Hochdruckwasserstrahlverfahrens (HDW-Verfahren) hergestellt wird. In Anlehnung an die konventionelle Aufbetonverstärkung wird die beschriebene Spezialbetonschicht als *textilbewehrter Aufbeton* bezeichnet. Als textile Bewehrung wird ein offenmaschiges Carbonfasergelege eingesetzt. Der wesentliche Grund für den Einsatz der Carbonfaser als Bewehrungsmaterial liegt in deren hoher Beständigkeit im alkalischen Milieu des Betons und den herausragenden mechanischen Eigenschaften der Faser unter ruhender als auch unter nicht ruhender Belastung.

Aufgrund des Einsatzes qualitativ hochwertiger Betone und der risseverteilenden Wirkung der oberflächennah positionierten textilen Bewehrung übernimmt der textilbewehrte Aufbeton zusätzlich zur verstärkenden Wirkung eine Schutzfunktion für die bestehende Fahrbahnplatte. Dadurch ist es möglich, dass auf eine herkömmliche Abdichtung und einen zusätzlichen Fahrbahnbelag völlig verzichtet werden kann. Die möglichen Anwendungsfelder des textilbewehrten Aufbetons sind daher nicht nur im Verstärkungsbereich sondern auch im reinen Instandsetzungsbereich anzusiedeln.

Das Prinzip der beschriebenen Verstärkungsmethode wird anhand des in Bild 7.1 dargestellten Brückenquerschnitts vor (a) und nach (b) dem baulichen Eingriff dargestellt.

Der textilbewehrte Aufbeton kann in zwei Varianten, entsprechend den Darstellungen in Bild 7.2, ausgeführt werden. Bei der Ausführungsvariante a) handelt es sich um die sogenannte *hybride* Variante mit einer konventionell bewehrten Unterbetonschicht und einer textilbewehrten Deckschicht mit

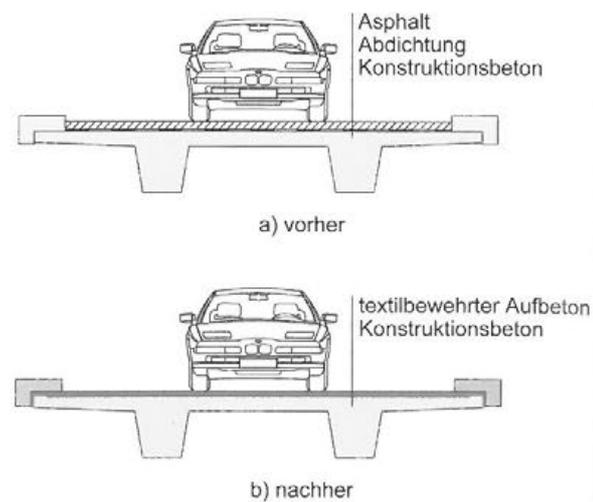


Bild 7.1: Konzept der Instandsetzung und Verstärkung mittels textilbewehrten Aufbetons [7]

einer konstanten Stärke von ca. 2 cm. Die Unterbetonschicht dient zum einen als Ausgleichsschicht, um das ursprüngliche Niveau der bestehenden Gradienten zu erreichen, zum anderen bietet die Unterbetonschicht die Möglichkeit einer zusätzlichen Verstärkung. Außerdem lässt sich mit der konventionell bewehrten Unterbetonschicht das erforderliche Straßengefälle, welches dem raschen Abfließen des Oberflächenwassers dient, herstellen. Bei der Ausführungsvariante b), die als *Leichtbauvariante* bezeichnet werden kann, wird auf die bestehende Fahrbahnplatte ausschließlich eine ca. 2 cm starke Textilbetonschicht aufgetragen.

Die wesentliche Stärke der Verstärkungsmethode mittels textilbewehrtem Aufbeton liegt nach Ansicht der Autoren darin begründet, dass auf herkömmliche, verschleißanfällige Abdichtungssysteme verzichtet werden kann, wodurch ein monolithischer Brückenquerschnitt entsteht, der

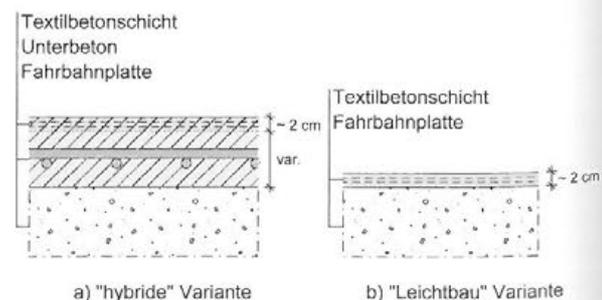


Bild 7.2: Ausführungsvarianten des textilbewehrten Aufbetons [7]

sich durch eine hohe Dauerhaftigkeit auszeichnet. Die Brückenkonstruktion ist dadurch weniger schadensanfällig und die Instandsetzungsintervalle können vergrößert werden. Darüber hinaus verringert sich aufgrund des Verzichtes auf einen zusätzlichen Fahrbahnbelag, der in der Regel in Form einer statisch unwirksamen Asphaltsschicht hergestellt wird, die ständige Auflast der Konstruktion. Ein weiterer wesentlicher Vorteil der textilbewehrten Aufbetonverstärkung gegenüber der konventionellen Aufbetonverstärkung ergibt sich aus der Möglichkeit, trotz Verstärkung die bestehende Straßengradiente zu erhalten, wodurch die Übergänge zur bestehenden Straße mit nur geringem Aufwand hergestellt werden können. Die vorgeschlagene Verstärkungsmethode mittels textilbewehrtem Aufbeton wirft allerdings auch neue wissenschaftliche Fragen auf, die bisher aufgrund des vorrangigen Einsatzes im Bereich des Hochbaus nur einen geringen Stellenwert einnahmen. Es handelt sich dabei in erster Linie um Fragen zum Verhalten des Textilbetons unter jenen Einflüssen, die sich aus der speziellen Anwendung im Brückenbau ergeben, die folgenderweise formuliert werden können:

- Wie wirken sich die ungünstigen Umwelteinflüsse bei Brückenbauwerken (z. B. Frost-Tausalz) auf Textilbeton aus?
- Was bedeutet die direkte Befahrbarkeit für die eingesetzten Materialien?
- Weist textilbewehrter Aufbeton eine ausreichende Wasserundurchlässigkeit im rissefreien und im gerissenen Zustand auf?
- Wie wirkt sich der Einfluss der zyklischen Belastung auf das Trag- und Verformungsverhalten von Textilbeton aus?

7.3 Wissenschaftliche Vorarbeiten

Zur Klärung der offenen Fragen, die sich aus der speziellen Anwendung des Textilbetons im Brückenbau ergeben, wurden an der Universität Innsbruck experimentelle und theoretische Untersuchungen durchgeführt. Die durchgeführten experimentellen Untersuchungen können in drei wesentliche Versuchsphasen eingeteilt werden, die im Folgenden zusammenfassend beschrieben werden.

7.3.1 Versuchsphase 1

Im Rahmen der ersten Versuchsphase wurden Betone entwickelt, die für die spezielle Anwendung im Brückenbau geeignet sind. Die Zusammensetzungen und Eigenschaften der entwickelten Betone wurden dabei im ersten Schritt auf Basis normativer Regelungen für direkt befahrbare Betone im Straßenbrückenbau und unter Berücksichtigung der Anforderungen für die Anwendung als Matrixkomponente im Textilbeton gewählt. In einem zweiten Schritt wurden die Betone in Versuchsmischungen hergestellt, deren Frisch- und Festbetoneigenschaften untersucht, bewertet und optimiert. Als Ergebnis dieser ersten Phase konnten Rezepturen von drei geeigneten Betonsorten definiert werden, deren wesentliche Bestandteile und Eigenschaften in Tabelle 7.1 zusammengefasst sind. Die Bezeichnung der Betone besteht aus den drei Buchstaben TBM (Abk. für Textilbetonmatrix) und einer nachgestellten Zahl, die dem Größtkorndurchmesser des Zuschlages in Millimeter entspricht. Jene Betone, die als zusätzlichen Bestandteil Kurzfasern enthalten, sind zusätzlich mit dem Buchstaben F sowie dem Volumenanteil der Fasern in Promille gekennzeichnet.

7.3.2 Versuchsphase 2

In der zweiten Versuchsphase wurden die speziell entwickelten Betone mit einer an der TU Dresden entwickelten und am Markt verfügbaren textilen Carbonfaserbewehrung (Typ SIGRATX Grid 600) kombiniert und in Form kleinformatiger Textilbetonproben untersucht. Die Untersuchungen umfassten bereits etablierte Versuche wie die Ermittlung des Delaminationswiderstandes, die Untersuchung des Verbundverhaltens zwischen Beton und Textil sowie die Untersuchung des einaxialen Zugtragverhaltens von Textilbeton. Darüber hinaus wurden Untersuchungen durchgeführt, die für die spezielle Anwendung des Textilbetons im Brückenbau von Bedeutung sind, wie die Untersuchung des Einflusses von Frost-Tau-Wechselbeanspruchungen auf Textilbeton, die Untersuchung des Rissverhaltens von Textilbeton und die Untersuchung des Einflusses zyklischer Lastbeanspruchung mit hohen Lastwechselzahlen auf das Tragverhalten von Textilbeton. In dieser zweiten Versuchsphase wurden jene Versuchsmethoden angewandt, die für die Ermittlung der grundlegenden Kennwerte von Textilbeton in [12] empfohlen werden und mittlerweile als Standardmethoden breite Akzeptanz erfahren.

Tabelle 7.1: Entwickelte Betone [7]

Bestandteil	Mischung		
	TBM2	TBM4	F15-TBM2
Größtkorn in [mm]	2 mm	4 mm	2 mm
Anrechenbarer Bindemittelgehalt in [kg/m ³]	470	450	800
Zusätzliche Bestandteile	Mikrosilika	Mikrosilika	Mikrosilika PVA-Kurzfasern

7.3.3 Versuchsphase 3

Im Rahmen der dritten Versuchsphase wurden Traglastuntersuchungen an großformatigen Stahlbetonprobekörpern durchgeführt, die nachträglich mit textilbewehrten Verstärkungsschichten ergänzt wurden. Die Untersuchungen umfassten Vierpunktbiegeversuche an plattenförmigen Proben und einaxiale Zugversuche an stabförmigen Proben. Der Fokus der dritten Versuchsphase lag in der experimentellen Ermittlung des erzielbaren Verstärkungsgrades, der Untersuchung des Rissverhaltens und der Untersuchung des Einflusses zyklischer Lasteinwirkungen mit hohen Lastwechselzahlen auf das Tragverhalten der Proben. In Bild 7.3 sind die geometrischen Parameter der in den beiden Versuchsreihen untersuchten Probekörperarten skizziert.

7.3.4 Wesentliche Erkenntnisse

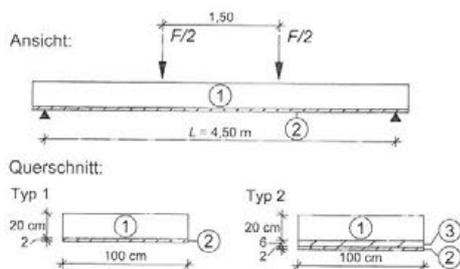
Die Ergebnisse der durchgeführten experimentellen Untersuchungen weisen darauf hin, dass die zunächst für Anwendungen im Hochbau untersuchte Methode zur nachträglichen Verstärkung bestehender Stahlbetonbauteile durch das oberflächliche Auftragen textilbewehrter Betonschichten auch im Straßenbrückenbau unter den dabei herrschenden Bedingungen erfolgreich und effektiv eingesetzt werden kann. Mit bereits etablierten Untersuchungsmethoden konnten Ergebnisse erzielt werden, die den Ergebnissen anderer Forschungseinrichtungen entsprechen und das charakteristische Verhalten textilbewehrter Betone bestätigen. Die hinsichtlich der speziellen Anwendung im Brückenbau entwickelten und optimierten Betone können daher für den Einsatz als Matrixkomponente im Textilbeton als geeignet betrachtet werden.

Wissenschaftliches Neuland wurde mit den Untersuchungen jener Einflüsse betreten, die für die spezielle Anwendung des Textilbetons im Brückenbau von Bedeutung sind und bei der bisherigen Entwicklung des Textilbetons für die Anwendung im Hochbau vernachlässigt werden konnten. Dabei handelt es sich in erster Linie um die Untersuchung des Einflusses von Frost-Tau-Wechselbeanspruchungen auf den Delaminationswiderstand und die Untersuchung des Einflusses von zyklischen Lastbeanspruchungen mit hohen Lastwechselzahlen auf das Trag- und Rissverhalten von einaxial zugbeanspruchten Textilbetonschichten. In den folgenden Abschnitten werden ausgewählte Ergebnisse der durchgeführten experimentellen Untersuchungen präsentiert. Für weitere Informationen und detaillierte Beschreibungen der durchgeführten Arbeiten wird auf [11] verwiesen.

7.3.4.1 Traglaststeigerung

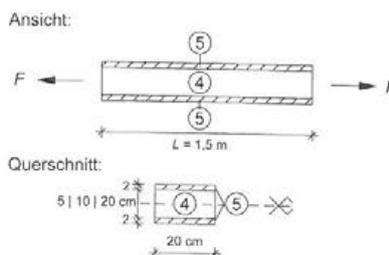
Die signifikante Traglaststeigerung bestehender Stahlbetonbauteile durch die nachträgliche Querschnittsergänzung mit textilbewehrten Betonen wurde bereits in zahlreichen Untersuchungen nachgewiesen [5-10] und kann auch mit den Ergebnissen der an der Universität Innsbruck durchgeführten Untersuchungen wiederholt bestätigt werden. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die Größe der Traglaststeigerung in erster Linie vom Verhältnis der Querschnittsflächen der nachträglich ergänzten textilen Bewehrung und der bestehenden Stahlbewehrung beeinflusst wird. Besonders anschaulich lässt sich dieser Zusammenhang mit dem in Bild 7.4 dargestellten Ergebnis der einaxialen Zugversuche zeigen, die im Rahmen der Versuchsphase 3 mit variierenden Bewehrungsverhältnissen durchgeführt wurden. Es ist zu erkennen, dass der erzielbare Verstärkungsgrad (Verhältnis der Traglasten der nachträglich verstärkten und der nicht verstärkten Proben) mit der Zunahme

Vierpunktbiegeversuche



- ① Stahlbetongrundkörper, $\rho = 0,77\%$
 ② Textilbeton, $\rho = 0,51 \mid 0,9\%$
 ③ konventionell bewehrter Unterbeton, $\rho = 1,3\%$

Einaxiale Zugversuche



- ④ Stahlbetongrundkörper, $\rho = 1,55\%$
 ⑤ Textilbeton, $\rho = 0,52 \mid 0,73 \mid 1,46\%$

Bild 7.3: Geometrie der untersuchten Probekörper für Vierpunktbiegeversuche (links) und für einaxiale Zugversuche (rechts) [7]

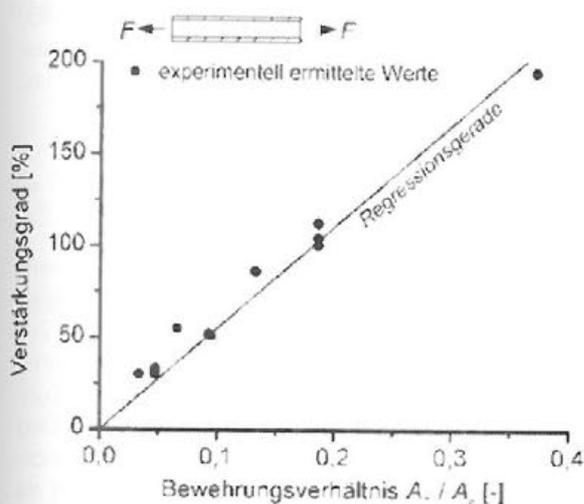


Bild 7.4: Ergebnis der Traglaststeigerungen bei einaxialen Zugversuchen an nachträglich mit Textilbeton verstärkten Stahlbetonelementen [7]

me des Verhältnisses von A_T / A_S annähernd linear anwächst. Der dargestellte Zusammenhang lässt sich somit für die untersuchten Materialien vereinfacht mit einem konstanten Faktor nach folgender Gleichung beschreiben:

$$F_{u, \text{verstärkt}} \approx 5,5 \cdot \frac{A_T}{A_S} \cdot F_{u, \text{unverstärkt}}$$

Mit:

- A_T Querschnittsfläche der textilen Bewehrung
 A_S Querschnittsfläche der Stahlbewehrung
 F_u Traglast

7.3.4.2 Frostbeständigkeit

Im Rahmen der Versuchsphase 2 wurden erste Untersuchungen zur Frostbeständigkeit textilbewehrter Betone durchgeführt. Dabei wurden wassergesättigte Textilbetonproben 50-mal einer Frost-Tau-Wechselbeanspruchung mit Temperaturen von -25 °C bis $+25\text{ °C}$ ausgesetzt. Währenddessen wurden Referenzproben, die unter gleichen Bedingungen hergestellt wurden, im Normklima bei 20 °C gelagert. Anschließend wurden die Proben in Haftzugversuchen nach [13] untersucht und der jeweilige Delaminationswiderstand festgestellt. Das Ergebnis der Untersuchung des Delaminationswiderstandes ist in Bild 7.5 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die Proben, die einer wiederholten Frostbelastung ausgesetzt wurden, im Mittel geringfügig höhere Delaminationswiderstände aufweisen als die Referenzproben, wobei der Unterschied statistisch nicht signifikant ist. Darüber hinaus kann festgestellt werden, dass die Streuung der Widerstandswerte der vorbelasteten Proben im Vergleich zu den Referenzproben deutlich geringer ausfällt.

7.3.4.3 Zyklische Lastbeanspruchung

Die Untersuchungen zum Einfluss zyklischer Lastbeanspruchungen auf das Tragverhalten textilbewehrter Aufbetone wurden in der zweiten Versuchsphase im Rahmen einaxialer Zugversuche an zentrisch bewehrten Textilbetonproben nach [12] und in der dritten Versuchsphase im Rahmen der in Bild 7.3 dargestellten Vierpunktbiegeversuche an nachträglich mit Textilbeton verstärkten Stahlbetonplatten durchgeführt. Bei der untersuchten zyklischen Lasteinwirkung handelte es sich um sinus-

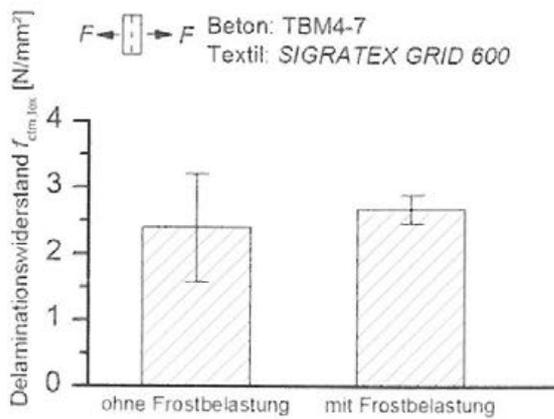


Bild 7.5: Ergebnis der Untersuchung zur Frostbeständigkeit von Textilbeton [7]

förmige Schwellbeanspruchungen, die in der textilen Bewehrung Zugspannungen auf Gebrauchslastniveau hervorriefen.

Es kann festgestellt werden, dass durch die zyklischen Belastungen Verformungszunahmen der Proben verbunden mit einem Zuwachs der Rissbreiten auftraten. Es zeigt sich allerdings, dass die Verformungszuwächse mit steigenden Lastwechselzahlen abnehmen, die absoluten Verformungen der Proben scheinen sich somit einem konstanten Endwert anzunähern. Die zyklische Belastungsphase wurde im Allgemeinen nach einer Lastwechselzahl von einer Million beendet. Im Anschluss wurde zur Ermittlung der Resttragfähigkeit die Prüflast erhöht, bis das Versagen der Proben eintrat. Die Messwerte, die in dieser letzten Belastungsphase aufgezeichnet wurden, zeigen dabei ein unerwartetes Ergebnis. Im Vergleich zu unter gleichen Bedingungen hergestellten Referenzproben, die unter statischen Belastungen untersucht wurden, verhielten sich die zyklisch vorbelasteten Proben signifikant steifer und wiesen zum Teil höhere Traglasten auf. Ähnliches wurde für Querkraftverstärkungen aus Textilbeton bei Balken bereits in [14] festgestellt. Besonders ausgeprägt zeigt sich dieses Phänomen bei den Ergebnissen der einaxialen Zugversuche, für die stellvertretend eines der ermittelten Spannungs-Dehnungsdiagramme in Bild 7.6 dargestellt ist. Das Ergebnis der Vierpunktbiegeversuche ist in Form eines Kraft-Durchbiegungsdiagrammes in Bild 7.7 dargestellt. Eine mögliche Ursache für das beobachtete Phänomen wird in einer durch die zyklische Belastung bedingten Veränderung der Verbundverhältnisse zwischen den einzelnen Bestandteilen des Verbundwerkstoffs und einer damit verbundenen besseren Ausnutzung der textilen Bewehrung

vermutet. Welche Prozesse dabei allerdings im Detail ablaufen, ist gegenwärtig noch nicht geklärt und ist Gegenstand laufender Forschung.

7.4 Pilotanwendungen

Die im vorliegenden Beitrag vorgestellte Methode zur Verstärkung bestehender Fahrbahnplatten konnte bereits im Rahmen zweier Pilotprojekte an realen Brückenbauwerken angewandt und damit einem Praxistest unterzogen werden. Ziel der Pilotanwendungen war die Klärung ausführungsrelevanter Fragen zur Herstellung textilbewehrter Aufbetone sowie die Gewinnung von Erkenntnissen zum Verhalten der Textilbetonschicht unter realen Umwelt- und Verkehrseinwirkungen. Die Ausführungsarbeiten wurden von der Firma STRABAG, die als Projektpartner an der Entwicklung des textilbewehrten Aufbetons maßgeblich beteiligt ist, durchgeführt.

7.4.1 Pilotprojekt Einfeldbrücke

Die erste Pilotanwendung von textilbewehrtem Aufbeton zur Verstärkung einer bestehenden Brückenfahrbahnplatte erfolgte im Jahr 2012 im Zuge der Generalsanierung eines Brückenbauwerks nahe der Stadt Innsbruck im österreichischen Bundesland Tirol [15]. Diese erste Pilotanwendung wurde bewusst in einer frühen Phase der Entwicklung (nach ca. zwei Jahren) gewählt, wodurch es möglich war, die dabei erlangten Erkenntnisse und Erfahrungen zur praktischen Ausführung in die weiteren Entwicklungsphasen und die dabei durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen einfließen zu lassen. Beim verstärkten Tragwerk handelt es sich um eine zweiseitig gelagerte, schiefwinklige Platte mit einer effektiven Stützweite von 10,52 m und einer Breite von 8,30 m. Die Platte liegt auf zwei Widerlagerwänden auf, die auf Streifenfundamenten gegründet sind. Laut Bestandsplanung wies die bestehende Fahrbahnplatte eine Stärke von 45 cm mit einer 9 cm starken Asphalt-schicht auf. Die Verkehrsfläche besteht aus zwei Fahrstreifen mit einer Breite von je 3,50 m. Die Brücke wurde im Jahr 1973 errichtet und wies somit zum Zeitpunkt des baulichen Eingriffs im Jahr 2012 ein Alter von 39 Jahren auf. In Bild 7.8 ist eine Skizze des bestehenden Bauwerks dargestellt.

Der textilbewehrte Aufbeton wurde in der sogenannten hybriden Variante ausgeführt. Entsprechend der Beschreibung in Kapitel 7.2 besteht die-

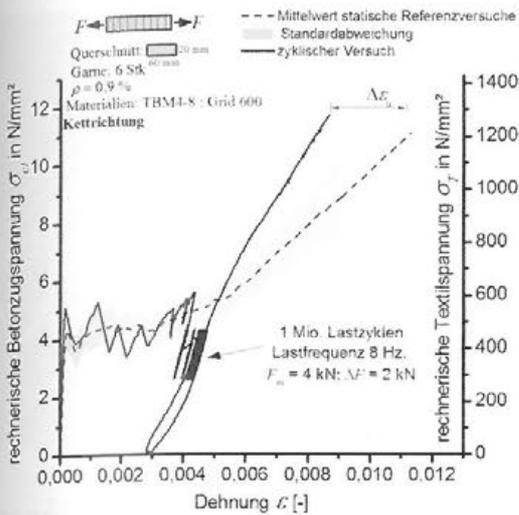


Bild 7.6: Einfluss zyklischer Lasten auf die Traglast bei einaxialen Zugversuchen [7]

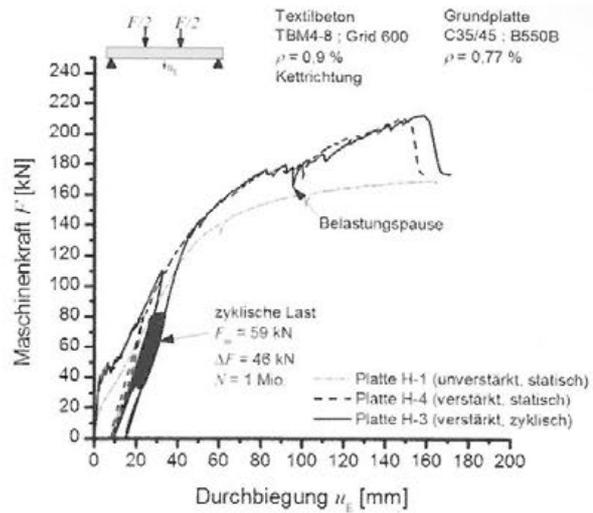


Bild 7.7: Untersuchung des Einflusses zyklischer Lasten auf die Traglast im Rahmen der Vierpunktbiegeversuche [7]

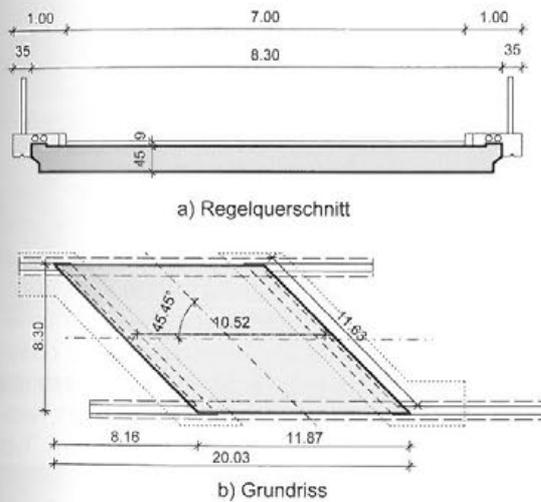


Bild 7.8: Bestand Einfeldbrücke [7]

se aus einem konventionell bewehrten unteren Aufbetonteil und der textilbewehrten oberen Betondeckschicht. Der Aufbeton wurde auf der gesamten Fahrbahnplatte auf eine Fläche von knapp 100 m² aufgetragen. Die Ausführungsarbeiten erfolgten in zwei Bauabschnitten (BA), wobei stets ein Fahrstreifen mit einer Breite von minimal drei Metern zur Aufrechterhaltung des Verkehrs zur Verfügung stand. Die durchgeführten Arbeiten beinhalteten den Abtrag von Asphalt, Abdichtung und Randbalken, das Aufrauen der Altbetonoberfläche mittels des HDW-Verfahrens, die Herstellung der konventionell bewehrten Unterbeton-

schicht und schließlich die Herstellung der Textilbetonschicht. Abschließend wurden im letzten Schritt die neuen Kappen in Ortbetonbauweise hergestellt und die Geländer montiert.

Die konventionell bewehrte Unterbetonschicht hat eine planmäßige Stärke von 6 bis 12 cm. Die Textilbetonschicht wurde mit einer Stärke von zwei Zentimeter ausgeführt und einlagig mit einem Carbonfasergelege der Firma SGL des Typs SIGRAT-EX Grid 600 bewehrt. Die Herstellung der Textilbetonschicht erfolgte im Laminierverfahren. Im ersten Arbeitsgang wurde dabei eine planmäßig einen Zentimeter starke Betonschicht flächig aufgetragen. Die textile Bewehrung wurde anschließend in den frischen Beton eingelegt, händisch leicht eingerüttelt und mit einer zweiten Betonschicht mit einer Stärke von wiederum einem Zentimeter überdeckt. Abschließend wurde die noch frische Betonoberfläche zugunsten einer höheren Fahrbahngriffigkeit mit einem Besenstrich versehen und einer fachgerechten Nachbehandlung unterzogen. Die Textilbetonschicht konnte mit einer Leistung von durchschnittlich 15 Quadratmetern pro Stunde hergestellt werden. Die größte Herausforderung bei der Ausführung der Textilbetonschicht stellte die großflächige Herstellung der dünnen Betonschichten dar. Der dünn aufgetragene Beton neigte aufgrund der geringen Schichtstärke zur raschen Austrocknung. Ein schneller Arbeitsfortschritt und die fortlaufende Qualitätskontrolle des Betons durch entsprechendes Fachpersonal waren daher für den erfolgreichen Einbau der

Textilbetonschicht von besonderer Bedeutung. Die in Bild 7.9 bis Bild 7.14 dargestellten Fotos zeigen Eindrücke der durchgeführten Arbeiten bei der Herstellung der Textilbetonschicht.

7.4.2 Pilotprojekt Mehrfeldbrücke

Bei dem im Zuge des zweiten Pilotprojektes verstärkten Bauwerk handelt es sich um ein Brückentragwerk, das sich in der Gemeinde Seefeld in Tirol in Österreich befindet. Die Brücke wurde im Jahr 1974 erbaut und wies somit zum Zeitpunkt des baulichen Eingriffs im Jahr 2014 ein Alter von 40 Jahren auf. Das Tragwerk ist als schiefwinkliger Rahmen mit V-Stützen und einer darauf punktgelagerten Fahrbahnplatte ausgebildet. Die Fahrbahnplatte ist mit einem Radius von 150 m in der Fahrbahnachse gekrümmt und überspannt drei Felder. Die Länge der Brücke beträgt ca. 30 m und die Breite ca. 14 m. Die Spannweiten der beiden Randfelder betragen jeweils 8 m. Das Mittelfeld überspannt eine Weite von 12 m. Die Lagerung der Fahrbahnplatte erfolgt ausschließlich über die insgesamt acht V-Stützen, die zu je vier Auflagerepunkten in zwei Achsen mit einem Abstand von ca. 20 m zusammengefasst sind. Widerlager sind keine vorhanden. Den Übergang zwischen Bauwerk und Straße bilden Schleppplatten, die an den Enden der Fahrbahnplatte auf Konsolen gelagert sind. Die Stärke der Fahrbahnplatte beträgt planmäßig 50 cm. Die Stärke der bestehenden Asphalttschicht ist in der Bestandsplanung mit 14 cm eingetragen. In Bild 7.15 ist eine Skizze des bestehenden Tragwerks dargestellt.

Analog zur ersten Pilotanwendung wurde auch im Rahmen des zweiten Projektes der textilbewehrte Aufbeton in der sogenannten *hybriden* Variante mit einer konventionell bewehrten unteren Aufbetonschicht und der textilbewehrten oberen Deckschicht ausgeführt. Der Aufbeton wurde über die gesamte Fahrbahnplatte auf eine Fläche von ca. 400 m² aufgetragen. Analog zum ersten Pilotprojekt wurden die Ausführungsarbeiten wiederum in zwei Bauabschnitten (BA) durchgeführt, wobei stets ein Fahrstreifen mit einer Breite von minimal 3,5 m für den laufenden Verkehr zur Verfügung stand. In einem ersten Schritt wurden der bestehende Fahrbelag, die Abdichtung und die Randbalken abgetragen. Die Oberfläche der Fahrbahnplatte wurde gereinigt und unter der Anwendung des HDW-Verfahrens aufgeraut. Anschließend wurde die konventionell bewehrte Unterbetonschicht mit einer planmäßigen Stärke

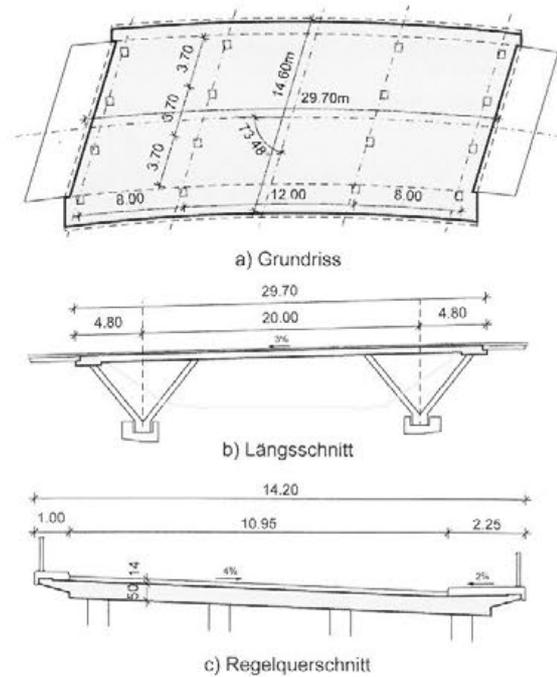


Bild 7.15: Bestand Mehrfeldbrücke

von 12 cm hergestellt. Die Oberfläche der Unterbetonschicht wurde nach einer Aushärtezeit von 24 Stunden wiederum mit dem HDW-Verfahren aufgeraut. Die Textilbetonschicht wurde schließlich mit einer planmäßigen Stärke von zwei Zentimeter ausgeführt. Zugunsten einer besseren risseverteilenden Wirkung wurde die Textilbetonschicht mit zwei textilen Bewehrungslagen bewehrt, wobei wiederum ein Textil der Firma SGL vom Typ SIGRATEx Grid 600 zum Einsatz kam. Die Herstellung der Textilbetonschicht erfolgte wie beim ersten Projekt im Laminierverfahren, wobei das Auftragen der einzelnen Betonschichten mittels einer für die spezielle Anwendung adaptierten Abziehböhlle erfolgte, wodurch im Vergleich zur ersten Pilotanwendung trotz zweilagiger Bewehrungsführung ein deutlich schnellerer Arbeitsfortschritt erzielt werden konnte. So konnte die Textilbetonschicht mit einer durchschnittlichen Leistung von ca. 60 Quadratmeter pro Stunde hergestellt werden. Die Oberfläche der Textilbetonschicht wurde, wie auch beim ersten Projekt, zur Gewährleistung einer ausreichenden Griffigkeit mit einem Besenstrich versehen. Die in Bild 7.16 bis Bild 7.21 dargestellten Fotos zeigen Eindrücke der Ausführungsarbeiten zur Herstellung der direkt befahrbaren Textilbetonschicht.



Bild 7.9: Verlegen der textilen Bewehrung (BA1) [7]
(Foto: Mario Hansl)



Bild 7.10: Ausbildung der Arbeitsfuge (BA1) [7] (Foto: Mario Hansl)



Bild 7.11: Auftragen des Verdunstungsschutzes (BA1) [7] (Foto: Mario Hansl)



Bild 7.12: Einrütteln der textilen Bewehrung (BA2) [7] (Foto: Mario Hansl)



Bild 7.13: Herstellung des Besenstrichs (BA2) [7]
(Foto: Mario Hansl)



Bild 7.14: Detailausbildung im Kappenbereich (BA2)
(Foto: Mario Hansl)



Bild 7.16: Gesamtübersicht Herstellung Textilbeton (BA1) (Foto: Gerhard Umfer)



Bild 7.17: Arbeiten mit Abziehbohle (BA1) (Foto: Mario Hansl)



Bild 7.18: Ausbildung der Arbeitsfuge (BA1) (Foto: Mario Hansl)



Bild 7.19: Gesamtübersicht, Herstellung Textilbetonschicht (BA2) (Foto: Mario Hansl)



Bild 7.20: Verlegen der textilen Bewehrung (BA2) (Foto: Mario Hansl)



Bild 7.21: Herstellung des Besenstrichs (BA2) (Foto: Mario Hansl)

7.5 Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund des hohen Alters der bestehenden Bausubstanz sowie steigender Verkehrslasten wird speziell im Straßenbrückenbau künftig eine erhöhte Nachfrage nach neuen Methoden zur Verstärkung und Instandsetzung bestehender Bauteile erwartet. Eine vielversprechende Lösung für die auf uns zukommenden Herausforderungen bietet der innovative Verbundwerkstoff Textilbeton. Die im Hochbau bereits vielfach untersuchte Methode zur nachträglichen Verstärkung bestehender Stahlbetonbauteile mittels einer auf der Betonoberfläche aufgetragenen und mit dieser schubfest verbundenen Textilbetonschicht zeigt für den Erhalt der bestehenden Bausubstanz großes Potential und trägt somit wesentlich zu einem nachhaltigen Umgang mit der gebauten Umwelt bei. In den bisher durchgeführten Forschungsarbeiten lag der Fokus allerdings in Folge der begrenzt zur Verfügung stehenden monetären und personellen Ressourcen im Allgemeinen in der Anwendung von Textilbeton zur nachträglichen Verstärkung bestehender Stahlbetonbauteile des klassischen Hochbaus und damit im Bereich vorwiegend ruhender Lasten. Mit dem im vorliegenden Beitrag beschriebenen wissenschaftlichen Untersuchungen konnten erste richtungsweisende Ergebnisse zur Erweiterung der neuen Technologie auf den Bereich der Biegeverstärkung im Brückenbau und damit den Bereich der nicht ruhenden Belastung erzielt werden.

Im Allgemeinen kann auf Basis der bis heute bekannten Ergebnisse festgestellt werden, dass die Methode zur nachträglichen Verstärkung bestehender Stahlbetonbauteile durch das oberflächliche Auftragen textilbewehrter Betonschichten auch im Straßenbrückenbau unter den dabei herrschenden Bedingungen, insbesondere dem Einfluss der zyklischen Belastung, erfolgreich und effektiv eingesetzt werden kann. Aus bisher ungeklärten Gründen konnten durch den Einfluss der zyklischen Belastung zum Teil sogar positive Effekte auf das Tragverhalten von Textilbeton bzw. von mit Textilbeton verstärkten Stahlbetonbauteilen festgestellt werden. Den Ausgangspunkt der wissenschaftlichen Untersuchungen stellte das Konzept zur Instandsetzung und Verstärkung bestehender Fahrbahnplatten durch die nachträgliche Querschnittsergänzung mittels direkt befahrbarer, textilbewehrter Aufbetone dar. Zur Untersuchung der praktischen Ausführbarkeit und der Methoden zur Herstellung von Textilbeton unter Baustellenbedingungen wurde das beschriebene Verstärkungskon-

zept bereits in zwei Pilotanwendungen an realen Brückenbauwerken einem Praxistest unterzogen. Als besondere Herausforderung stellte sich dabei der großflächige Einbau der dünnen Betonschichten im Laminierverfahren heraus. Im Rahmen des zweiten Pilotprojektes wurde unter der Anwendung einer speziell angepassten Abziehbohle eine *halbmaschinelle* Einbaumethode entwickelt, die eine effiziente Herstellung der Textilbetonschicht mit einer qualitativ hochwertigen Fahrbahnoberfläche ermöglichte. Die ursprüngliche Frage, ob die untersuchte Instandsetzungs- und Verstärkungsmethode von Fahrbahnplatten mittels direkt befahrbarer, textilbewehrter Aufbetone zum angestrebten Ziel führt und künftig zum Erhalt bestehender Bausubstanz im Bereich der Straßenbrücken eingesetzt werden kann, lässt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht abschließend klären.

Nach Ansicht der Autoren ist es für die weiteren Entwicklungsphasen notwendig, die ersten Ergebnisse zum Verhalten textilbewehrter Verstärkungsschichten unter zyklischen Lasten sowie unter Frost-Tau-Wechselbeanspruchungen im Rahmen weiterer, vertiefender Forschungsarbeiten mit entsprechenden experimentellen Untersuchungen abzusichern. Ein weiterer wesentlicher Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Frage, ob die textilbewehrte Aufbetonschicht die erforderliche Abdichtungs- und Schutzfunktion dauerhaft erfüllen kann und welches Schadensrisiko innerhalb eines definierten Zeitraums in Abhängigkeit von der auftretenden Rissbreite durch Korrosion der vorhandenen oberflächennahen Stahlbewehrung im Bestandsbauteil besteht. Hinsichtlich der textilen Gelege, deren Eigenschaften und Dimensionen über Jahre hinweg für Anwendungen im Hochbau entwickelt und optimiert wurden, sind für den Brückenbau weitere Anpassungen wie z. B. die Erhöhung der verfügbaren Bewehrungsquerschnittsfläche erforderlich.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich herzlich bei ihrem Forschungspartner, der Firma STRABAG, dem Amt der Tiroler Landesregierung, der TVFA Innsbruck sowie der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) für die Mitarbeit, Unterstützung und Förderung im Rahmen des Projektes *Instandsetzen und Verstärken von Bestandsbrücken mittels direkt befahrbarer, textilbewehrter Aufbetone*.

7.6 Literaturverzeichnis

- [1] HORVATITS, J.; EICHINGER-VILL, E. M.: Beurteilung der Tragfähigkeit bestehender Straßenbrücken in Österreich. In: Feix, J.; Andreatta, A. (Hrsg.): Tagungsband zu den Innsbrucker Bautagen 2013 am 2. Juli 2013 in Innsbruck, Innsbruck: Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Massivbau und Brückenbau, 2013, S. 175-195
- [2] Amt der Tiroler Landesregierung, SG Verkehrsplanung (Hrsg.): Verkehr in Tirol – Bericht 2012, 2013, siehe auch URL: www.tirol.gv.at/themen/verkehr/verkehrsplanung/publikationen/
- [3] JESSE, F.; CURBACH, M.: Verstärken mit Textilbeton. In: Bergmeister, K.; Fingerloos, F.; Wörner, J.-D. (Hrsg.): Beton-Kalender 2010, Berlin: Ernst & Sohn, 2009, S. 457-565
- [4] BRAMESHUBER, W. (HRSG.): Report 36: Textile Reinforced Concrete – State-of-the-Art Report of RILEM TC 201-TRC. RILEM Publications, 2006
- [5] BRÜCKNER, A.: Querkraftverstärkung von Bauteilen mit textildbewehrtem Beton. Diss., TU Dresden, 2007
- [6] ORTLEPP, R.; CURBACH, M.: Verstärken von Stahlbetonstützen mit textildbewehrtem Beton. Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009) 10, S. 681-689
- [7] SCHLADITZ, F.; LORENZ, E.; CURBACH, M.: Biegetragfähigkeit von textildbetonverstärkten Stahlbetonplatten. Beton- und Stahlbetonbau 106 (2011) 6, S. 377-384
- [8] WEILAND, S.: Interaktion von Betonstahl und textiler Bewehrung bei der Biegeverstärkung mit textildbewehrtem Beton. Diss., TU Dresden, 2010
- [9] SCHLADITZ, F.; CURBACH, M.: Torsion tests on textile-reinforced concrete strengthened specimens. Materials and Structures 45 (2012) 1-2, S. 31-40
- [10] EHLIG, D.; SCHLADITZ, F.; FRENZEL, M.; CURBACH, M.: Textilbeton – Ausgeführte Projekte im Überblick. Beton- und Stahlbetonbau 107 (2012) 11, S. 777-785
- [11] HANSL, M.: Textilbewehrte Betone zur Instandsetzung und Verstärkung von Fahrbahnplatten aus Stahlbeton. Diss., Universität Innsbruck, 2014
- [12] LORENZ, E.; SCHÜTZE, E.; SCHLADITZ, F.; CURBACH, M.: Textilbeton – Grundlegende Untersuchungen im Überblick. Beton- und Stahlbetonbau 108 (2013) 10, S. 711-722
- [13] ORTLEPP, R.: Untersuchungen zur Verbundverankerung textildbewehrter Feinbetonverstärkungsschichten für Betonbauteile. Diss., TU Dresden, 2007
- [14] BRÜCKNER, A.; WELLNER, S.; ORTLEPP, R.; SCHEERER, S.; CURBACH, M.: Plattenbalken mit Querkraftverstärkung aus Textilbeton unter nicht vorwiegend ruhender Belastung. Beton- und Stahlbetonbau 108 (2013) 3, S. 169-178
- [15] FEIX, J.; HANSL, M.: Zur Anwendung von Textilbeton für Verstärkungen im Brückenbau. In: Universität der Bundeswehr München (Hrsg.): Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau – Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Keuser. Heft 12/4, S. 289-295

