

Dauerhafte Schutzschichten aus Textilbeton für Bauwerksoberflächen im Wasserbau

Für einen dauerhaften Schutz von Bauwerksoberflächen im Wasserbau mit gleichzeitiger Rissüberbrückungsfähigkeit wurde im Rahmen von Forschungsarbeiten am Institut für Bauforschung der RWTH Aachen University eine innovative und dauerhafte Schutzschicht aus Textilbeton entwickelt. Diese ist mit sogenannten technischen Textilien bewehrt und mörtelbasiert. Aufgrund der Verwendung ausgewählter Materialien ermöglicht diese Schutzschicht eine dauerhafte, wasserundurchlässige und rissüberbrückende Instandsetzung. Das Material wird im Folgenden als DURTEX bezeichnet (DURTEX: dauerhafter, wasserundurchlässiger, rissüberbrückender Textilbeton). Die Anwendung kann bei Bauwerken aus verschiedenen Baustoffen, wie z. B. Stahlbeton- oder Natursteinbauwerken, erfolgen [1]. Die vorliegende Veröffentlichung stellt sowohl das Konzept der Schutzschicht aus DURTEX und aktuelle Forschungsergebnisse als auch die praktische Umsetzung an einem Wehrbauwerk des Neckars dar.

Keywords Beton, textilbewehrter; Rissüberbrückung; Dauerhaftigkeit; Erhaltung; Instandsetzung; Oberflächenschutz; Wasserbauwerk

1 Einleitung

Bei Wasserbauwerken können die in der ZTV-W LB 219, Gelbdruck 2012 (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau) geregelten Verfahren für die flächige Instandsetzung der Altbetonklassen A1–A4 verwendet werden. Dazu können Betone, Spritzbeton oder Spritzmörtel eingesetzt werden. Sowohl Beton als auch Spritzbeton müssen in einer Dicke von mehr als 90 mm bewehrt und verankert appliziert werden. Die damit verbundene Vergrößerung des Bauteilquerschnitts kann bei Wasserbauwerken wie z. B. Schleusenwänden oder Wehrbauwerken problematisch sein, da der lichte Raum häufig begrenzt ist. Bei den Altbetonklassen A2–A4 besteht zusätzlich die Möglichkeit, dünnere ($20 \leq d \leq 60$ mm), unbewehrte und nicht verankerte Schichten herzustellen. Bei diesen unbewehrten Spritzbeton- und Spritzmörtelschichten ist zu beachten, dass infolge Rissbewegungen im Untergrund ein Durchschlagen von Rissen und somit das Ziel des Abdichtens von Rissen nicht erreicht wird. Ferner ist dadurch eine Reduzierung der angestrebten Nutzungsdauer zu erwarten.

*) Corresponding author: morales@ibac.rwth-aachen.de

Submitted for review: 09 May 2013

Revised: 09 July 2013

Accepted for publication: 10 July 2013

Textile reinforced concrete layers for a durable protection of building surfaces in hydraulic constructions

An innovative and durable protective layer for concrete surfaces with simultaneous crack-bridging properties was developed during research at the Institute of Building Materials Research, Aachen University. This layer is composed of cement mortar and is reinforced with textile structures. The combination of these materials allows a durable, waterproof and crack-bridging repair. This innovative layer has been named DURTEX (in German DURTEX: durable, waterproof, crack-bridging textile reinforced concrete). The following paper presents the concept behind DURTEX, recent research results and the repair concept on the weir Horkheim.

Keywords textile reinforced concrete; crack bandage; preservation; concrete surface protection; weir; hydraulic construction

Um eine minimale Dicke einer beton- oder mörtelbasierten und bewehrten Schutzschicht realisieren zu können, können sog. technische Textilien als Bewehrungsmaterial verwendet werden. Unter technischen Textilien versteht man biaxiale Gelege aus AR-Glas- oder Carbon-Rovings, die einen Durchmesser von 1–2 mm sowie Maschenweiten zwischen 5 und 20 mm aufweisen (z. B. [1, 2]). Die Kombination von technischen Textilien mit einer zementgebundenen Matrix wird als „Textilbeton“ bezeichnet (z. B. SFB 532, [3]). Die Verknüpfung der Eigenschaften der Schutzschicht „dauerhaft, wasserundurchlässig und rissüberbrückend“ sowie des verwendeten Werkstoffes „Textilbeton“ führt zu der Abkürzung und der im Folgenden verwendeten Bezeichnung DURTEX – dauerhafte, wasserundurchlässige, rissüberbrückende Textilbeton-Schutzschicht [1, 2].

Damit eine Rissverteilung bei gleichzeitig abdichtender Wirkung erreicht wird, muss entlang der Rissflanken ein sogenannter Enthaftungsbereich vorgesehen werden. Mit diesem Enthaftungsbereich wird eine freie Dehnänge in der Schutzschicht realisiert, d. h. in diesem Bereich hat die Schutzschicht keinen bzw. einen geschwächten Verbund zum Untergrund, und die Rissbewegung eines Risses im Substrat kann, je nach verwendeter Bewehrung, in viele kleinere Risse in der Instandsetzungsschicht umgewandelt werden (Bild 1), [1, 2]. Der flächenmäßige Anteil des Enthaftungsbereichs ist dabei allerdings im Vergleich

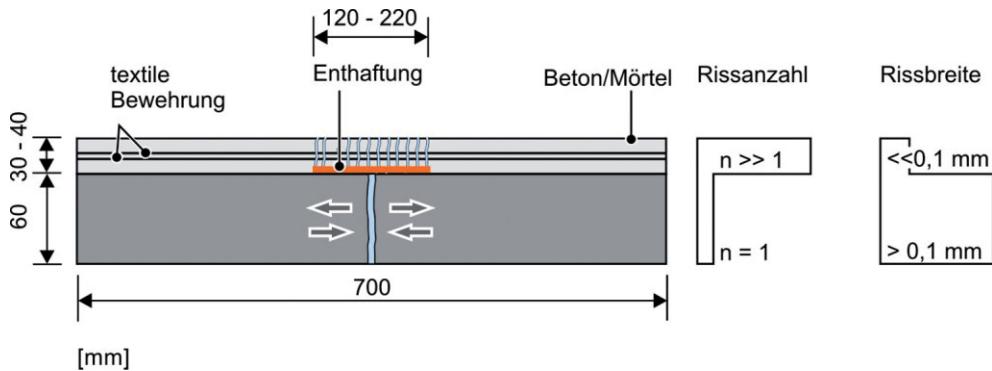


Bild 1 Schematischer Aufbau der textilbewehrten Schutzschicht aus „DURTEX“ mit Darstellung der Rissbreiten sowie der Rissanzahl in der textilbewehrten Schutzschicht und dem Untergrund – Enthaftungsbereich hier überhöht dargestellt
 Schematic drawing of the textile reinforced concrete „DURTEX“ layer; the crack width and the number of cracks on the „DURTEX“ layer and base specimen are presented – the delamination zone is on purpose exaggerated

zu der Gesamtfläche der textilbewehrten Schutzschicht klein, sodass davon ausgegangen werden kann, dass kein negativer Einfluss der lokalen Enthaftung zwischen Untergrund und Schutzschicht auf die Dauerhaftigkeit vorhanden ist – siehe Abschn. 3.

Die Einzelkomponenten der DURTEX-Schutzschicht sind:

- Beton bzw. Spritzmörtel/Spritzbeton,
- Textile Bewehrung,
- Enthaftungsbereich,
- ggf. Verankerung.

2 Materialauswahl

Die Auswahl der Komponenten Beton bzw. Spritzmörtel/Spritzbeton sowie Bewehrung für die Schutzschichten aus DURTEX zur Instandsetzung von Rissen richtet sich

nach den anwendungsspezifischen Anforderungen, d.h. in Abhängigkeit des vorhandenen Untergrundes, den zu erwartenden Rissbewegungen und der Bauteilexposition werden sowohl die Mörtel bzw. der Beton als auch die Bewehrung ausgewählt. Als zementgebundene Matrix werden i. d. R. Beton oder Mörtel mit einem Größtkorn von bis zu 6 mm eingesetzt (z. B. [1, 2]). Die minimal zu realisierende Schichtdicke einer Mörtel- oder Betonlage wird vom Größtkorn bestimmt. Zu beachten ist bei der Auswahl des Mörtels bzw. Betons, dass das Material die Anforderungen an die jeweilige Expositionsklasse der Schutzschicht und die Anforderungen der RL SIB („Instandsetzungs-Richtlinie“, [4]) erfüllt. Je nach Anwendung werden entweder kommerziell verfügbare Systeme oder anwendungsspezifisch entwickelte Mörtel bzw. Betone eingesetzt (z. B. [5, 6]). Üblicherweise werden bei der Anwendung von DURTEX Schichtdicken von 30–35 mm realisiert und als Bewehrung werden ungetränkte und polymergetränkte textile Strukturen auf Basis von AR-Glas und Carbon eingesetzt. Aus beiden Materialien können

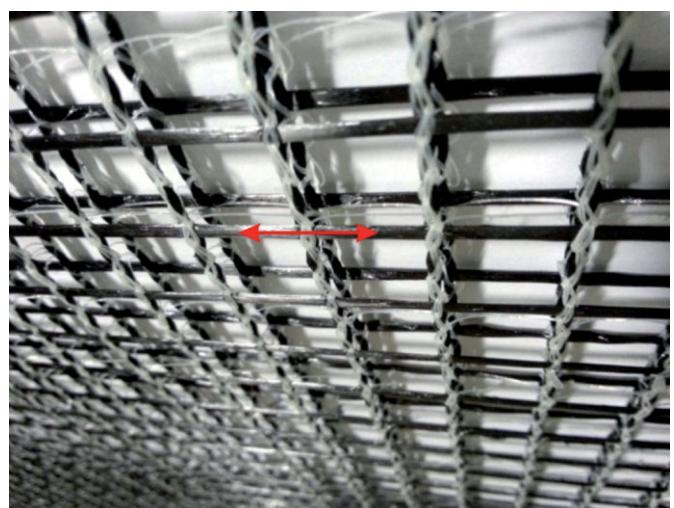


Bild 2 Textile Bewehrung (Haupttragrichtung in rot gekennzeichnet); links: Carbon-2D-Bewehrung (biaxiales Carbongelege mit SBR-Beschichtung); rechts: Carbon-3D-Bewehrung (biaxiales Carbongelege mit Abstandsgewirk und SBR-Beschichtung)
 Textile structures (main load direction is marked in red); left: carbon-2D-textile (2D knitted fabric with SBR Coating); right: carbon-3D-textile (2 independent 2D knitted fabrics connected with yarns in Z direction and a SBR Coating)



Bild 3 Versuchsaufbau und Rissüberbrückungskörper
Test structure and the crack-bridging test specimen

sowohl 2D- als auch 3D-Textilien hergestellt werden. Bild 2 (links und rechts) zeigt sowohl ein 2D-(flächiges) als auch ein 3D- (räumliches) Textil aus Carbon.

Um die Interaktion zwischen Mörtel/Beton sowie Bewehrung quantifizieren zu können, sind umfangreiche Untersuchungen am Verbundsystem erforderlich. Dabei sind sowohl die Tragfähigkeit der textilbewehrten Schutzschicht als auch die Rissüberbrückungsfähigkeit relevant und müssen versuchstechnisch quantifiziert werden. Um eine Quantifizierung der beiden Kennwerte – Tragfähigkeit und Rissüberbrückungsfähigkeit – gezielt zu ermöglichen, sind zwei unterschiedliche Versuchsaufbauten erforderlich. Die Tragfähigkeit der DURTEX wird in einaxialen Zugversuchen wie in [5] untersucht und die ermittelten Bruchlasten werden im Rahmen einer Tragfähigkeitsbemessung weiter verwendet.

Die Rissüberbrückungsfähigkeit von DURTEX wird am ibac mit dem auf Bild 3 dargestellten Versuch quantifiziert. Der Versuchsaufbau basiert dabei auf der Prüfung der Rissüberbrückung von Oberflächenschutzsystemen nach RL SIB, allerdings wurden die Abmessungen an die Materialien angepasst. Die schematische Darstellung des Aufbaus der textilbewehrten Schutzschicht aus DUREX ist in Bild 1 dargestellt.

Ziel des Rissüberbrückungsversuches (Bild 3) ist die Quantifizierung der Rissüberbrückungsfähigkeit der DURTEX-Schicht infolge einer definierten Rissöffnung des Grundkörpers. Indem die Rissöffnung des Grundkörpers in viel kleinere Risse (Ziel: $w \leq 0,1$ mm) umgewandelt wird, ist es möglich, eine aus technischer Sicht ausreichende Wasserundurchlässigkeit der gerissenen Rissüberbrückungsschicht trotz Rissüberbrückung zu erzielen („WU-Richtlinie“, [7] – Selbstheilung bei Rissen mit einer Rissbreite von 0,1 mm bis zu einem Druckgefälle von 25). Hierbei spielt, neben der Bewehrung sowie der verwendeten Matrix, auch der Enthaftungsbereich, eine weitere Komponente der DURTEX-Schicht, eine wichtige Rolle.



Das Ziel der Anordnung des Enthaftungsbereichs ist es, den Verbund zwischen Grundkörper und DURTEX-Schicht und somit die Kraftübertragung zu reduzieren und die freie Dehnlänge der DURTEX-Schutzschicht zu erhöhen, um so eine feine Rissverteilung zu erreichen. Die Breite des zu realisierenden Enthaftungsbereichs wird von den Parametern Mörtel bzw. Beton, textile Bewehrung, Schichtdicke und der zu erwartenden Beanspruchung bestimmt. In den bisher durchgeführten Untersuchungen wurde die Breite des Enthaftungsbereichs zwischen 12 und 22 cm entlang des Risses mit einem mineralischen Spachtel, einer geringer festen Mörtelschicht oder Klebeband realisiert.

Bei der Prüfung der Rissüberbrückungsfähigkeit ist zum einen zu beachten, dass die Verformung des Probekörpers ausschließlich in einer Achse, d. h. senkrecht zum Riss im Grundkörper, erfolgt, und zum anderen, dass bei der Prüfung die Risse auf der Oberfläche der DURTEX-Schicht schwer erkennbar und nur vergleichsweise aufwändig kontinuierlich messbar sind. Abhilfe schafft hier das 3D-Video Vermessungssystem Aramis® der Fa. GOM, welches während der gesamten Prüfung die Verformungen der Proben berührungslos in Echtzeit erfasst. Die Kraft und die Rissöffnung an beiden Seiten des Risses am Grundkörper werden zusätzlich mittels Kraftmessdose bzw. induktiven Wegaufnehmern erfasst. So können in der anschließenden Auswertung die Rissanzahl, Rissabstände und die einzelnen Rissbreiten auf der Oberfläche der DURTEX-Schicht bestimmt werden. Ferner kann die zu jedem Zeitpunkt der Prüfung im Probekörper anliegende Kraft bestimmt und mit der maximalen Tragfähigkeit der DURTEX-Schicht verglichen werden.

Bild 4 veranschaulicht die Rissüberbrückungsfähigkeit der DURTEX-Schutzschicht bei einer einaxialen Verformung für eine Rissöffnung im Grundkörper von 0,5 mm im Bereich oberhalb des Enthaftungsbereichs mittels des beschriebenen Rissüberbrückungsversuches. Das Bild stellt die mit dem Aramis® System ermittelten Verformun-

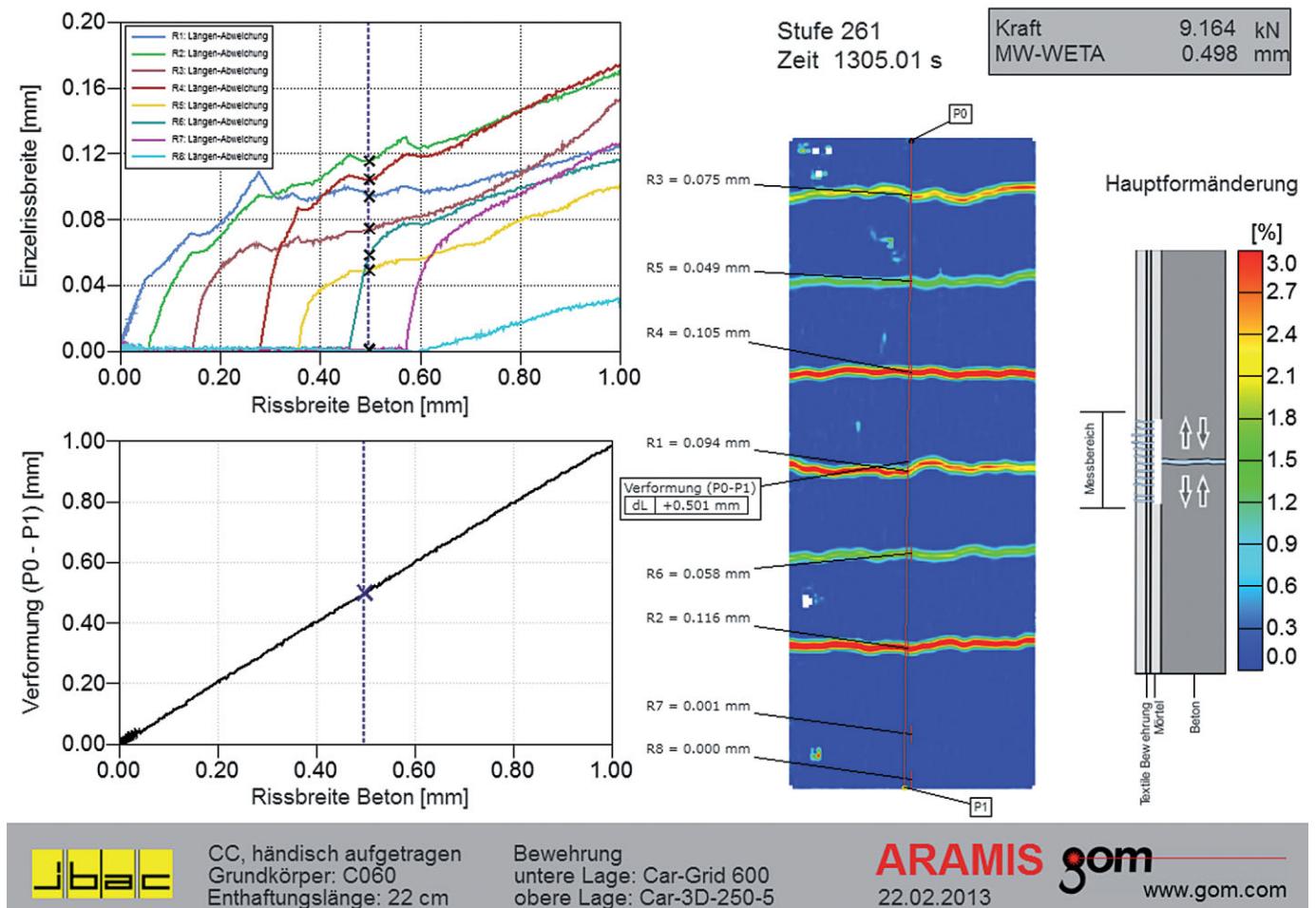


Bild 4 Analyse des Rissüberbrückungsversuches mit ARAMIS[®] bei einer Rissöffnung von 0,5 mm; links oben: Einzelrissbreiten über die Rissöffnung des Untergrundes; links unten: Summe der Risse in der Schutzschicht über der Rissöffnung des Grundkörpers; rechts: Visualisierung der Einzelrisse im Messfeld der Kameras
Analysis of the crack-bridging test with Aramis[®], the recorded crack width is at this presented time 0,5 mm; top left: individual cracks over the crack opening of the concrete body; bottom left: sum of the cracks in the protective layer over the crack opening of the concrete body; right: visualization of individual cracks in the measuring field to the cameras

gen des gesamten Probekörpers (P0–P1) über der Rissöffnung des Grundkörpers, der Einzelrissbreiten über der Rissöffnung des Grundkörpers sowie die einzelnen Risse auf der Probekörperoberfläche, wie sie von dem Kamerasytem erfasst werden, dar.

Bei der gezeigten Probe handelt es sich um eine bewehrte, händisch hergestellte DURTEX-Schicht. Es ist zu erkennen, dass der im Grundkörper (A2 Beton) aufgeweitete Riss über die Enthaftungslänge von 22 cm zunächst in sechs Einzelrisse einer Rissbreite $\leq 0,1$ mm aufgeteilt wird. Dabei entspricht die Summe der Einzelrissbreiten nahezu der des Risses im Grundkörper. Damit wird sowohl das Ziel, den Probekörper nur in einer Achse zu verformen als auch die Umwandlung eines diskreten Risses in viele Einzelrisse erreicht.

3 Umsetzung des DURTEX Konzeptes am Wehr Horkheim

Am Institut für Bauforschung der RWTH Aachen University wurde das Konzept der Schutzschicht aus DURTEX

bereits bei zwei Pilotanwendungen untersucht. Bei den Bauwerken handelte es sich um den Aachener Dom sowie ein Wehrbauwerk des Neckars. Die Anwendung des Konzeptes der Schutzschicht aus DURTEX am Aachener Dom ist unter anderen in [6] beschrieben. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde mittels DURTEX ein vollflächiger Schutz mit rissüberbrückender und wasserundurchlässiger Funktion an dem UNESCO-Weltkulturerbe realisiert.

Die Pilotanwendung am Wehr Horkheim wurde von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) finanziert und vom Institut für Bauforschung der RWTH Aachen University in Zusammenarbeit mit der Fa. StoCretec GmbH realisiert. Das Wehr Horkheim wurde in den Jahren 1927 bis 1929 erbaut und besteht aus Stahlbeton, der zahlreiche Risse mit Rissbreiten zwischen 0,1 und 3,0 mm sowie offene Arbeitsfugen aufweist, was typisch für viele Wasserbauwerke aus dieser Zeit ist [5]. Im Rahmen einer Probeinstandsetzung eines Wehrpfeilers sollte die generelle Machbarkeit der Instandsetzung von Wasserbauwerken mit textilbewehrten Schutzschichten sowohl zur Abdichtung der Risse als auch als Oberflächenschutz untersucht



Bild 5 Die instand gesetzten Flächen 1 bis 7 des Pfeilers 3, Wehr Horkeim; rechts: Detailaufnahme einer Fläche
View of the repaired surfaces 1-7 of the 3rd Pillar, Weir Horkheim; right: detail of one surface after repair

werden. Neben der Herausforderung, die sich aus der großflächigen Anwendung von DURTEX ergeben, war eine weitere Herausforderung, dass die Probeflächen sowohl freibewittert sind als auch teilweise im Bereich der Wasserwechselzone liegen. Ferner wirken im Winter Geschiebefracht sowie Eis auf die Schutzschicht ein [5]. Die Instandsetzung wurde mit einem kommerziell verfügbaren SPCC für sogenannte S-A3 Altbetone (gemäß ZTV-W LB 219) und unterschiedlich getränkten AR- und Carbon-textilien ausgeführt. Es wurden sowohl epoxidharzgetränkte als auch styrol-butadiengetränkte 2D-Textilien verwendet. Die Applikation des SPCC's erfolgte im Trockenspritzverfahren. Die zweilagig textilbewehrte Schutzschicht wurde lagenweise aufgebaut und weist eine Enddicke von ca. 35 mm auf [5].

Der Enthaftungsbereich wurde bei der vorliegenden Anwendung mittels selbstklebender Kunststofffolie, die beidseitig der instand zu setzenden Risse auf dem Untergrund nach der Untergrundvorbereitung appliziert wurde, realisiert. Die Altbetonoberfläche wurde vor der Applikation von der DURTEX-Schutzschicht mit Hochdruckwasserstrahlen entsprechend der ZTV-W LB 219 vorbereitet [5].

Entscheidend für die Prognose der Wirksamkeit der DURTEX-Schutzschicht ist die Kenntnis der Verformungen, die während der Nutzung auftreten. Um diese beurteilen zu können, wurden sowohl interne Dehnungsmessstreifen (DMS) in der DURTEX-Schutzschicht als auch Temperaturfühler eingebaut. Die bereits vorliegenden Messungen zeigen, dass die Schutzschicht aus DURTEX in der Lage ist, die vorhandenen Bewegungen ($\Delta w_{\max} = 0,40 \text{ mm}$) aus dem Betonuntergrund durch Risse so fein in der Schutzschicht zu verteilen, dass mit dem Auge keine Risse auf der Oberfläche erkennbar sind [1, 2]. Untersuchungen an den hergestellten Flächen zwei Jahre nach der Applikation weisen keine sichtbaren Schäden auf. Zurzeit werden weitere vorhandene Messdaten ausgewertet. Aktuell laufende Untersuchungen im Rah-

men des Transferprojektes T09 des SFB 532 am Institut für Bauforschung beschäftigen sich weiter mit dem Verhalten zwischen Bewehrung und Beton bzw. Spritzmörtel/Spritzbeton, um allgemeingültige Bemessungskonzepte für DURTEX-Schichten für die Instandsetzung von Wasserbauwerken zu entwickeln. Ferner wird die Übertragung der Ergebnisse auf Wasserbauwerke mit ansteigendem Wasserdruck untersucht.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Veröffentlichung wurde sowohl das Konzept einer textilbewehrten flexiblen Schutzschicht für die Instandsetzung sich bewegender Risse in Stahlbetonbauwerken erläutert als auch die Umsetzung an einem Pilotprojekt im Wasserbau vorgestellt. Die gewonnenen Erfahrungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Textilbewehrte Schutzschichten aus Beton oder Spritzmörtel/Spritzbeton ermöglichen eine substanzschonende und dauerhafte Instandsetzung von Bauwerksoberflächen im Wasserbau, bei der Rissbewegungen im Betonuntergrund so fein verteilt werden, dass sie technisch wasserundurchlässig werden.
- Das bei der Pilotanwendung installierte Langzeitmonitoring zeigt, dass die Schutzschicht aus DURTEX in der Lage ist, Bewegungen und die Lasten, die aus dem Untergrund auf die Schutzschicht wirken, aufzunehmen und sich dabei reversibel zu verformen.
- Optische Kontrollen der Probeflächen zeigen bisher kein „Durchschlagen“ von Rissen oder eine negative Veränderung der applizierten Schutzschichten.

Des Weiteren wird der Einsatz von Textilbeton zur Instandsetzung von Wasserbauwerken im Rahmen des Transferprojektes T09 (des SFB 532) zusammen mit mehreren Partnern aus Forschung, Verwaltung und Industrie untersucht.

Literatur

- [1] BÜTTNER, T.; RAUPACH, M.: *Des Bauwerks neue Kleider. Funktionsprinzipien und Einsatzmöglichkeiten von Textilbetonschichten zum Schutz von Bauwerken.* Bauen in Bestand 35 (2012), Nr. 6, S. 70–75, ISSN 2192-9504.
- [2] BÜTTNER, T.; RAUPACH, M.: *Dauerhafter Schutz von Bauwerksoberflächen mit Textilbetonschichten – Funktionsprinzipien und Einsatzmöglichkeiten.* 3. Kolloquium Erhaltung von Bauwerken, Stuttgart, 2013.
- [3] BRAMESHUBER, W.: *Proceedings of the International RILEM Conference on Material Science (MATSCI), Vol. I.* 2nd ICTRC Textile Reinforced Concrete, Aachen, 6.-8. September 2010, Bagnoux: RILEM, 2010.
- [4] DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ (Instandsetzungsrichtlinie), Teile 1 bis 4. Ausgabe Oktober 2001.
- [5] ORLOWSKY, J.; RAUPACH, M.; WESTENDARP, A.: *Textilbewehrte Spritzmörtel zur Instandsetzung von Wasserbauwerken.* Beton 61 (2011), Nr. 12, S. 486–490, ISSN 0005-9846.
- [6] BÜTTNER, T.; RAUPACH, M.; MAINTZ, H.: *Innovative und denkmalgerechte Verstärkung des Aachener Doms mit einer flexiblen, textilbewehrten Rissbandage.* Restaurierung of Buildings and Monuments 17 (2011), Nr. 3/4, S. 191–202, ISSN 1864-7251.
- [7] DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ (WU Richtlinie). Ausgabe November 2003.

Autoren

Dr.-Ing. Till Büttner
Institut für Bauforschung an der RWTH Aachen University
Schinkelstraße 2
52064 Aachen
buettner@ibac.rwth-aachen.de

Dipl.-Ing. Cynthia Morales Cruz
Institut für Bauforschung an der RWTH Aachen University
Schinkelstraße 2
52064 Aachen
morales@ibac.rwth-aachen.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach
Institut für Bauforschung an der RWTH Aachen University
Schinkelstraße 2
52064 Aachen
raupach@ibac.rwth-aachen.de