
SCHUTZSCHICHTEN AUS TEXTILBEWEHRTEM SPRITZMÖRTEL ZUR INSTANDSETZUNG VON WASSERBAUWERKEN

TEXTILE-REINFORCED PROTECTION LAYERS FOR MAINTENANCE OF HYDRALIC STRUCTURES

Sergej **Rempel**, Lehrstuhl und Institut für Massivbau, Aachen, Deutschland
Josef **Hegger**, Lehrstuhl und Institut für Massivbau, Aachen, Deutschland
Norbert **Will**, Lehrstuhl und Institut für Massivbau, Aachen, Deutschland

Das innovative Verfahren zur Instandsetzung minderfester Betone mit textilbewehrten, polymermodifizierten Spritzmörteln (SPCC) weist viele Vorteile gegenüber herkömmlichen Verfahren auf. Mit Hilfe der Textilien werden sich zyklisch öffnende Einzelrisse im Untergrund in ein fein verteiltes und damit unschädliches Rissbild im Instandsetzungsmörtel überführt. Der Verbund des Spritzmörtels zum minderfesten Beton wird neben der Adhäsion über die textile Bewehrung und Anker realisiert. Die Spritzmörtel werden als Trockenspritzmörtel entwickelt, um bei der Materialverarbeitung auf in der Baupraxis bereits etablierte Verfahren zurückzugreifen. Für die Instandsetzung des Altbetons ist bewehrter Spritzbeton mit einer Dicke ≥ 90 mm vorgesehen. Mit dem textilbewehrten Mörtel lassen sich Dicken von < 40 mm realisieren.

The innovative system for retrofitting of aged low strength concrete with textile reinforced polymer modified gunite (SPCC) offers many advantages compared to a usual retrofitting system. The good bond behavior of the textiles transfers cyclical moving cracks into a smooth crack pattern. The adhesion to the low strength concrete and the developed anchorage system are responsible for the connection between the sprayed coat and the aged concrete. The experience with manufacturing techniques of dry shotcrete is used for the retrofitting system. The thickness of usual methods of more than 90 mm can be reduced to 40 mm and less.

1. Einleitung

Überprüfungen von Wasserbauwerken durch die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) haben gezeigt, dass bei einem Großteil der Bauwerke ein erhöhter Instandsetzungsbedarf besteht. Dieser begründet sich bei den zumeist schon mehrere Jahrzehnte alten Bauwerken durch die vergleichsweise hohe Betriebsdauer, während vor allem die Oberfläche unter mechanischem Angriff, Frost und Lösungsvorgängen durch weiches Wasser gelitten hat. Es besteht ein zu behebendes Dauerhaftigkeitsproblem.

Die ZTV-W [1] für Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken sehen für solche Maßnahmen Vorsatzschalen vor, die als flächige, selbsttragende Stahlbetonelemente hergestellt werden. Der Nachteil der Stahlbeton-Vorsatzschalen ist die korrosionsempfindliche Bewehrung, die eine hohe Betondeckung fordert. Um das Problem zu lösen werden im Transferprojekt T09 des SFB 532 an der RWTH Aachen, das von der DFG gefördert wird, dünnschichtige Instandsetzungssysteme entwickelt. Der Einsatz von textilbewehrtem Spritzmörtel ermöglicht hierbei die Herstellung von dünnen und kostengünstigen Vorsatzschalen, wie in Bild 1 dargestellt.

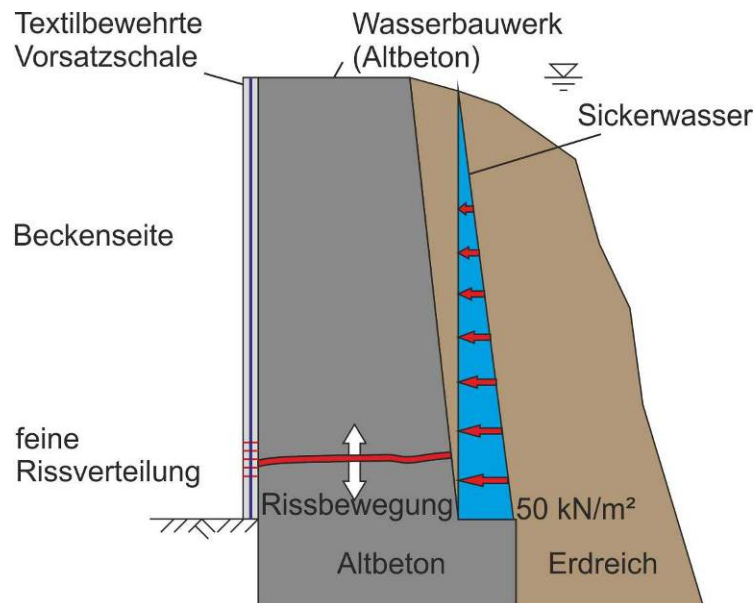


Bild 1: Instandsetzungssystem

Die Vorsatzschale wird dabei insbesondere durch das Eigengewicht, den Spaltwasserdruck und die Temperatur beansprucht (Bild 2). Aufgrund der geringen bzw. teilweise fehlenden Oberflächenzugfestigkeit des Altbetons ist eine rückseitige Verankerung der dünnen Vorsatzschale erforderlich. Hierzu können wegen der vorgesehenen Schalendicke von 40 mm bis 45 mm keine zugelassenen Verbundmittel aus dem Stahlbetonbau eingesetzt werden, sodass eine neue Verankerung entwickelt werden musste. Weiterhin tritt in der Vorsatzschale durch angegebene Belastungen und die Rückverankerung eine wechselnde Biegebeanspruchung auf. Die dabei entstehenden Zugkräfte erfordern die Anordnung jeweils einer textilen Carbon-Bewehrungslage mit einer Epoxidharz-Tränkung auf jeder Schalenseite.

2. Lasteinwirkungen

Das Instandsetzungssystem wird auf vielfältige Weise durch seine Umwelt strapaziert. Eine ausführliche Beschreibung der auf das bestehende Bauwerk einwirkenden Belastungen wird in DIN 19702 aufgeführt [2]. Diese Einwirkungen beeinflussen natürlich auch die textilbewehrten Vorsatzschalen, allerdings sind in diesem Fall in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Wasserbau Belastungsszenarien festgelegt worden. Demnach sollten bei der Bemessung die Lastfälle Eigengewicht der Vorsatzschalen, Wasserdruck und Temperatur berücksichtigt werden (Bild 2). Vernachlässigt wird unter anderem die Einwirkung Frost-Tau-Wechsel, da dieser nur in Bezug auf die Festigkeit des Altbetons relevant ist. Dort zeigte sich, dass nach der Instandsetzung im Altbeton ein höherer Sättigungsgrad vorherrscht als vorher, wodurch es bei Frost zu einem Kohäsionsbruch, d.h. einem Bruch innerhalb einer Schicht, im Altbeton kommt [3]. Demnach versagt das Instandsetzungssystem mitsamt dem Altbeton, allerdings wird dieses Versagen in der Bemessung nicht betrachtet, da hierfür nicht die neue Vorsatzschale, sondern die Festigkeit des Altbetons maßgebend ist. Des Weiteren wird die geringe bzw. teilweise fehlende Oberflächenzugfestigkeit des Altbetons nicht berücksichtigt.

Auf der sicheren Seite liegend wird die im Bauablauf angestrebte monolithische Verbindung der Vorsatzschale zum Altbeton nicht angesetzt, sodass die Lasten, die auf die Vorsatzschale wirken, nur durch die Anker in den Altbeton abgetragen werden. Der Altbeton wird dabei lediglich als eine steife Bettung betrachtet, die nur Druckspannungen aufnehmen kann.

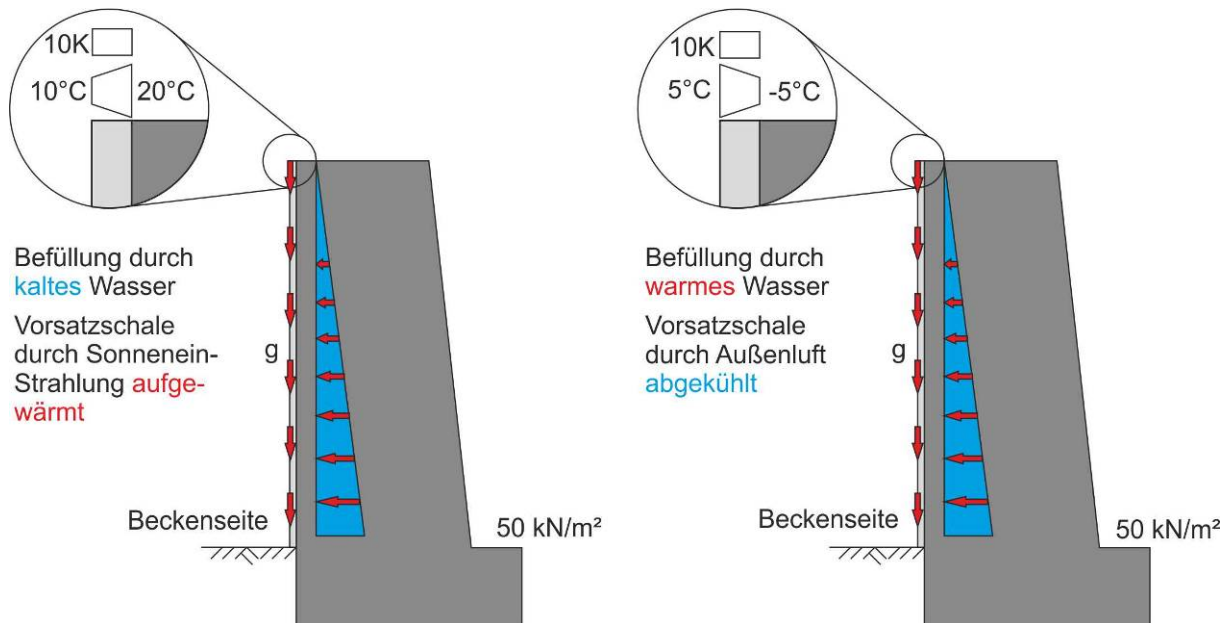


Bild 2: Lastfälle für die Vorsatzschale

Bild 2 zeigt zwei Lastfallkombinationen, die betrachtet werden müssen. In beiden Fällen wirkt das Eigengewicht senkrecht zur Verankerung, das mit der bekannten Wichte des Stahlbetons $\gamma_C = 25 \text{ kN/m}^3$ angenommen wird. Zusätzlich erzeugt ein Spaltwasserdruck einen Spaltstress $w_k = 50 \text{ kN/m}^2$ zwischen der Vorsatzschale und dem Altbeton. Bei diesem Lastfall wird davon ausgegangen, dass durch Sickerwasser ein gleichmäßiger Wasserdruck auf die Vorsatzschale wirkt. Ein weiterer maßgebender Lastfall ist die Temperatureinwirkung. Für die Altbetonwand wird im Sommer eine maximale Temperatur von ca. 20°C angenommen. Die ungünstigste Temperaturbeanspruchung entsteht, wenn eine plötzliche außenseitige Abkühlung durch aufsteigendes Wasser oder Regen von 10°C auftritt. Das entspricht einem linearen Temperaturgradienten $\Delta T = 10 \text{ K}$. Gleichzeitig tritt ein konstanter Temperaturgradient $T_M = 5 \text{ K}$ auf. In den Wintermonaten kann die abgekühlte Betonwand durch wärmeres Wasser beansprucht werden, gemäß Bild 2 rechts.

Die beiden maßgebenden Lastfälle, gemäß Bild 2, erzeugen Zugbeanspruchungen in den Ankern und Biegebelastungen in der Vorsatzschale. Die in Bild 3 dargestellten Verformungsfiguren verdeutlichen die Biegebelastungen in der Schale und die Zugkräfte in den Ankern.

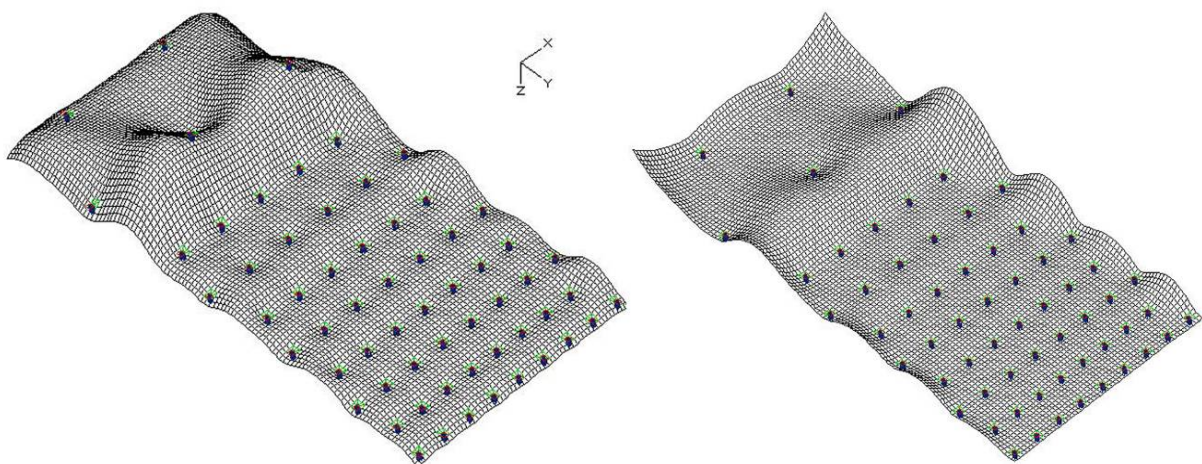


Bild 3: Verformungsfiguren eines Ausschnittes der Vorsatzschale infolge der Lastfälle nach Bild 2

An den Verformungsfiguren in Bild 3 ist zu erkennen, dass die Vorsatzschale sowohl eine positive, wie auch ein negative Momentenbeanspruchung erfährt. Das hat zur Folge, dass Zugkräfte auf beiden Seiten der Schale auftreten, die durch die textile Bewehrung aufgenommen werden müssen, dargestellt in Bild 4.

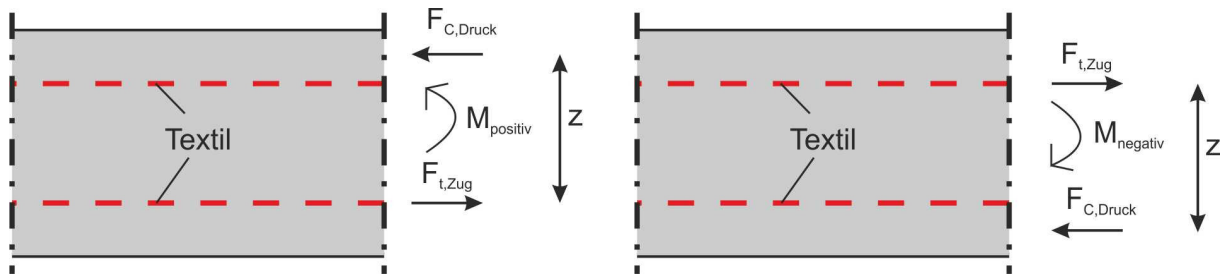


Bild 4: Aufteilung der Kräfte infolge einer Biegebelastung

Neben der Zugkraft $F_{t,Zug}$ treten infolge der Biegebeanspruchung auch Druckkräfte $F_{C,Druck}$ auf. Diese müssen vom Beton aufgenommen werden. Das Kräftepaar entsteht durch den inneren Hebelarm z . Je größer der innere Hebelarm, desto größer das aufnehmbare Biegemoment. Aus diesem Grund sollen die Textilien mit einer möglichst kleinen Betondeckung angeordnet werden.

3. Tragfähigkeitsuntersuchungen

Zur Charakterisierung des neuen Verbundwerkstoffes wurden textilbewehrte Spritzmörtelplatten im Trockenspritzverfahren mit einer Dicke von 40-45 mm hergestellt. Aus den Platten wurden Streifenproben für die Biege- und Verankerungsuntersuchungen heraus geschnitten.

3.1 Textile Bewehrung

Im Projekt werden Textilien aus Carbon für die Vorsatzschale untersucht. Diese bestehen aus haardünnen Filamenten mit einem Durchmesser von ca. 7 μm . Mehrere hundert bis tausend dieser Filamente werden zu Rovings gebündelt, die anschließend zu flächigen Textilien weiterverarbeitet werden [4]. Die textile Bewehrung kann ohne oder mit einer Tränkung in den Bauteilen verwendet werden. Eine Tränkung erhöht die Bruchspannung und steigert den Effizienzgrad. Mit einer Epoxidharztränkung kann die Bruchspannungsteigerung bis auf 3000 N/m^2 gesteigert werden. In Tab. 1 sind die Eigenschaften und Kennwerte der hier vorgestellten textilen Bewehrungsvarianten zusammengefasst. Neben den positiven Auswirkungen auf die Trageigenschaften sind getränkte Textilien einfacher in der Handhabung, robuster beim Bewehrungseinbau und formstabiler beim Betonieren [5]. Zusätzlich können damit 3D-Textilien hergestellt werden (Bild 5). Dabei werden zwei Lagen Textilbewehrung mit Polfäden oder einem geformten Wellentextil miteinander verbunden. Insbesondere Spritzverfahren, bei denen wenige Arbeitsschritte gewünscht sind, erfordern diese Textilform.

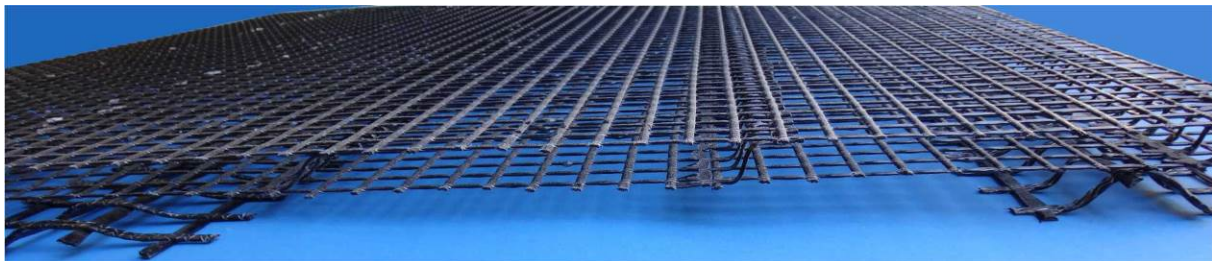


Bild 5: Ansicht des 3D-Textils (Hersteller: Solidian)

Tab. 1: Eigenschaften der verwendeten Textilien


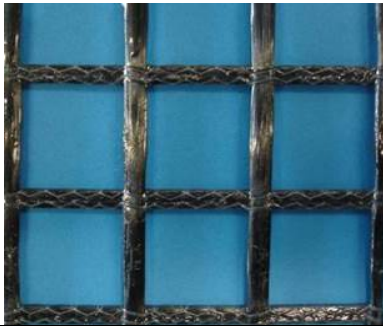
| Eigenschaft | Textil 1 | Textil 2 |
|--------------------|---|---|
| |  |  |
| Material | Carbon | Carbon |
| Hersteller | V. Fraas / Groz-Beckert | Solidian |
| Tränkung | Epoxidharz | Epoxidharz |
| Rovingabstände | 21 / 23 [mm] | 21 / 21 [mm] |
| Querschnitt | 44 / 40 [mm ² /m] | 90 / 90 [mm ² /m] |
| Querschnitt Roving | 0,92 / 0,92 [mm ²] | 1,89 / 1,89 [mm ²] |
| Bruchspannung | 2400 / 3050 [N/mm ²] | ≈ 3100 / 2900 [N/mm ²] |
| Bruchdehnung | 23,7 / 11,5 [%] | ≈ 19,1 / 9,4 [%] |

Bild 5 zeigt zwei Lagen des Textils 2 (Tab. 1), die mit einem wellenförmigen Textil verbunden sind. Gleichzeitig wird die Wellenform als Abstandshalter zum Altbeton eingesetzt.

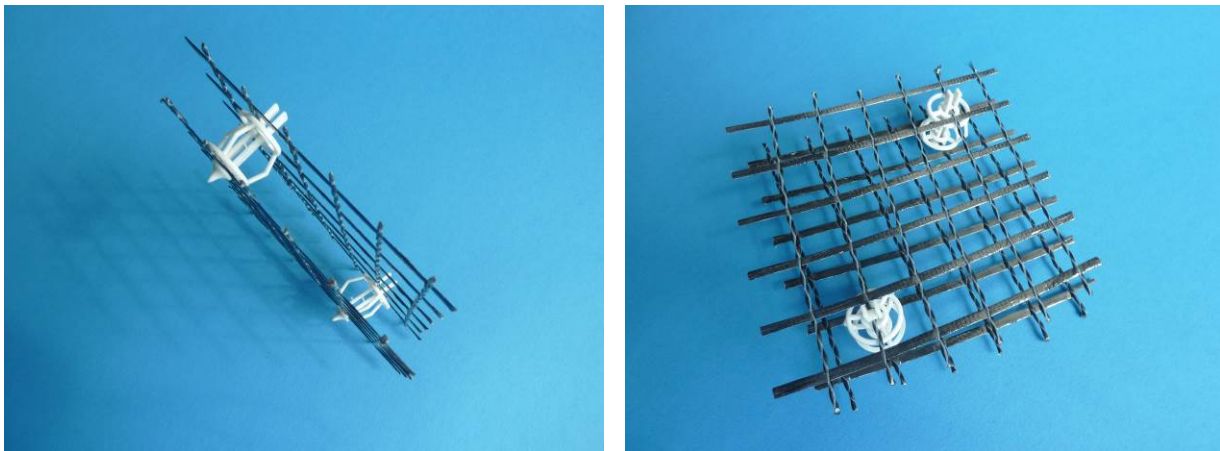


Bild 6: Zwei Lagen Textil, die mit einem Abstandshalter der Firma DistTEX verbunden sind

Eine Alternative zu den 3D-Textilien sind zwei Lagen Textilien, die mit Abstandshaltern verbunden sind, gemäß Bild 6. Zusätzlich sorgt der Abstandshalter der Firma DistTEX für den notwendigen Abstand zum Altbeton.

3.2 Spritzbeton

Hinsichtlich der verwendeten Bewehrung und der Aufbringungsweise werden unterschiedliche Anforderungen an den Beton gestellt. In diesem Fall soll das etablierte Trockenspritzverfahren mit textilen Bewehrungen kombiniert werden. Aufgrund der geringen Öffnungsweiten der Textilien muss der Größtkorndurchmesser begrenzt werden. Ansonsten besteht die Gefahr, dass sich aufgrund der geringen Rovingabstände eine Siebwirkung einstellt und dadurch eine ungewollte Trennschicht entsteht. Bei den Untersuchungen wurde ein 6 mm Größtkorn verwendet. Tab. 2 stellt die Eigenschaften des Spritzmörtels zusammen.

Tab. 2: Eigenschaften des verwendeten Mörtels

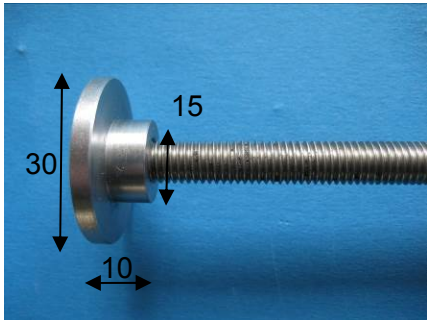
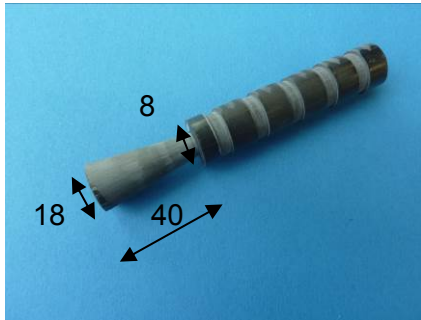
| Eigenschaft | Mörtel 1 |
|--------------------|-----------------------------|
| Hersteller | - |
| Spritzmörtel | S-A2; polymermodifiziert |
| Größtkorn | 6 [mm] |
| E-Modul | 21.500 [N/mm ²] |
| Druckfestigkeit | 25 [N/mm ²] |
| Biegezugfestigkeit | 5,1 [N/mm ²] |
| Schwinden | -0,41 [mm/m] |
| Haftzugfestigkeit | 1,2 [N/mm ²] |

3.3 Verankerung

Bei Vorsatzschalen aus stahlbewehrtem Beton werden massive Stahlanker verwendet. Aufgrund der Filigranität und der geringen Betondeckung der textilbewehrten Vorsatzschalen können die üblichen Ankersysteme aus dem Stahlbetonbau nicht eingesetzt werden.

Im Projekt wurden verschiedene Verankerungsmöglichkeiten entwickelt und untersucht. Tab. 3 gibt eine Übersicht über die im Rahmen dieser Veröffentlichung vorgestellten Ankervarianten.

Tab. 3: Verwendete Anker

| Eigenschaft | Anker 1 | Anker 2 |
|-------------|--|---|
| |  |  |
| Material | Edelstahl | Carbon |
| System | Buchse mit M8 Gewindestange | Konus |
| Durchmesser | 30/ 15 [mm] | 18/ 8 [mm] |
| Länge | 10 [mm] | 40 [mm] |

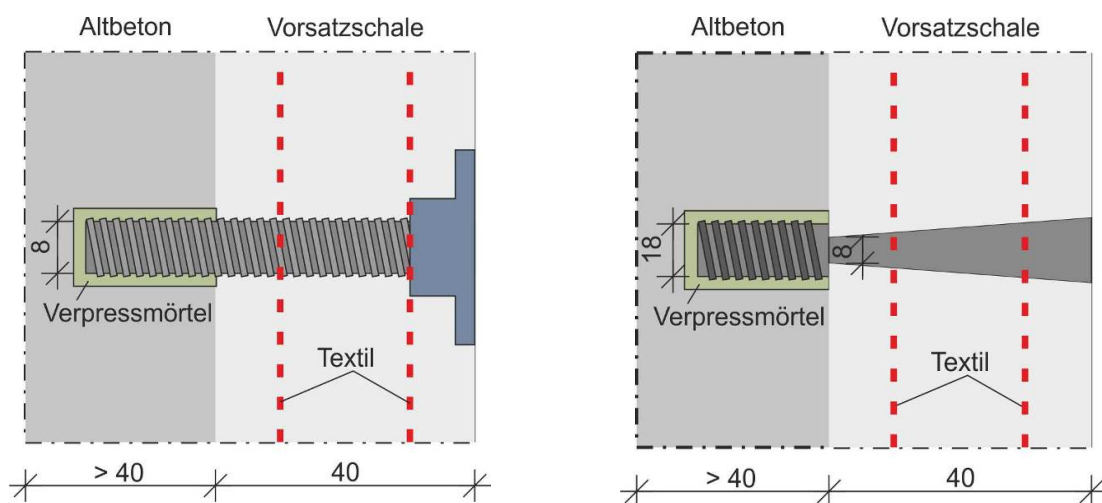


Bild 7: Prinzipsskizze der beiden Ankervarianten im eingebauten Zustand (Angaben in mm)

Gemäß Tab. 3 wurden metallische und nicht-metallische Ankervarianten untersucht. Der Anker 1 besteht aus einer Edelstahlbuchse, die auf eine M8 Gewindestange geschraubt wird. Die Kraft wird dabei über die Buchse in den Beton eingeleitet. Bei der nicht-metallischen Variante wurde ein Carbonstab in eine Konusform gefräst. Hierbei wird die Kraft über den Konus in den Beton eingeleitet. Bei beiden Varianten werden gemäß Bild 7 die Anker im Altbeton mit einem Mörtel verpresst.

3.4 Herstellung

Bei der Herstellung der Prüfkörper wurde auf einen praxistauglichen Herstellprozess geachtet. Hierzu wurden zwei verschiedene Verfahren angewandt. Beim ersten Verfahren wurden die Prüfkörper im Laminierspritzverfahren hergestellt. Dafür waren fünf Arbeitgänge notwendig. Nach dem Aufbringen der ersten 15 mm dicken Spritzschicht wurde die erste Textilmatte eingelegt und eine weitere 20 mm breite Schicht gespritzt. Anschließend wurde erneut eine Textillage eingebaut und mit einer abschließenden 10 mm dicken Schicht die Herstellung beendet. Der Herstellprozess ist in Bild 8 dargestellt.



Bild 8: Herstellprozess im Laminierspritzverfahren; Spritzen der ersten Schicht, Einlegen der ersten Textillage und Spritzen der mittleren Schicht, Einlegen der zweiten Textillage und Herstellung der letzten Schicht

Der Vorteil bei diesem Verfahren ist die gute Ummantelung der einzelnen Rovings durch den Spritzmörtel. Somit wird der gewünschte Verbund hergestellt und eine feine Rissverteilung kann stattfinden. Die steifen Textilmatte erleichtern und beschleunigen das Einlegen in die Spritzmörtelschicht. Der Nachteil bei dem Laminierspritzverfahren ist die streuende Schichtdicke und der wellenförmige Verlauf des Textils, dargestellt in Bild 9. Die aus der Herstellung resultierende Lageungenauigkeit der textilen Bewehrung hat zur Folge, dass sich kleinere innere Hebelarme z und damit geringere Biegetragfähigkeit ergeben. Gleichzeitig führt der unregelmäßige Verlauf zu Streuungen der Versuchsergebnisse, was sich in einer Reduktion des Bemessungswerts der Biegetragfähigkeit widerspiegelt.



Bild 9: Verlauf der Textilien beim Laminierspritzverfahren

Beim zweiten Herstellverfahren wird nur ein Arbeitsschritt benötigt. Die 3D-Textilien oder die Textilien mit Abstandshaltern werden im Prüfkörper positioniert und anschließend mit einem Spritzmörtel, wie in Bild 11 rechts dargestellt, hergestellt. Der Vorteil bei diesem Verfahren liegt in dem geringen Arbeitsaufwand und in der genauen Position der textilen Bewehrung

(Bild 10). Im Gegensatz zum Laminierspritzverfahren besteht die Gefahr des Spritzschattens, der infolge der Rovings eintreten kann. Außerdem wurde befürchtet, dass durch die Behinderung des Rückpralls durch die Rovings sich große Körner davor sammeln und somit den Verbund verschlechtern. Dieses Phänomen wurde nur bei den Prüfkörpern beobachtet, bei denen die Textilmatten nicht optimal übereinander lagen. Durch eine gute Verarbeitung des Textils können diese Fehlstellen ausgeschlossen werden, was Bild 10 dokumentiert.



Bild 10: Detail vom Prüfkörper nach dem Verfahren 2 mit vollständiger Ummantelung und großer Lagegenauigkeit des Carbontextils

Bei der Herstellung von Prüfkörpern für die Untersuchungen der Anker wurden ebenfalls beide Herstellverfahren angewandt (Bild 11). Dabei wurde auf Praxistauglichkeit geachtet, indem die Anker vor dem Einbringen der Textilien im Prüfkörper positioniert wurden. Auch bei den Instandsetzungen der Wasserbauwerke sollen die Anker zuerst im Altbeton positioniert werden, bevor der Spritzvorgang erfolgt.



Bild 11: Herstellung mit Ankern; links: Laminierverfahren; rechts: ein Spritzvorgang

Der Nachteil beim Laminieren ist das Einlegen der Textilien, die über die Anker gezogen werden müssen. Dabei kann es vorkommen, dass sich die Maschenöffnung nicht über dem Anker befindet. In diesem Fall muss das Textil mit erhöhtem Kraftaufwand über die Anker gezogen werden. Beim zweiten Spritzverfahren treten diese Nachteile nicht auf. Das 3D-Textil oder die Textilien mit Abstandshaltern können vor dem Einbringen der Anker vor der Altbetonwand, bzw. dem Schalkkörper, wie in Bild 11 rechts dargestellt, positioniert werden, bevor die Anker gesetzt werden. In diesem Fall können die Anker in die Maschenöffnungen gesteckt werden und verursachen damit keine Beschädigungen am Textil. Bei Instandsetzungen können die Anker in die Bohrlöcher im Altbeton durch die Maschenöffnungen gesteckt werden.

3.5 Prüfung

Bei den Vier-Punkt Biegeversuchen zeigte sich, dass die 3D-Textilien, bzw. Textilien mit Abstandshaltern im Mittel die höchsten Biegetragfähigkeiten erzielen, wie in Bild 12 zu erkennen ist. Gleichzeitig ist die Streuung der Versuchsergebnisse geringer, da der innere Hebelarm konstant bleibt.

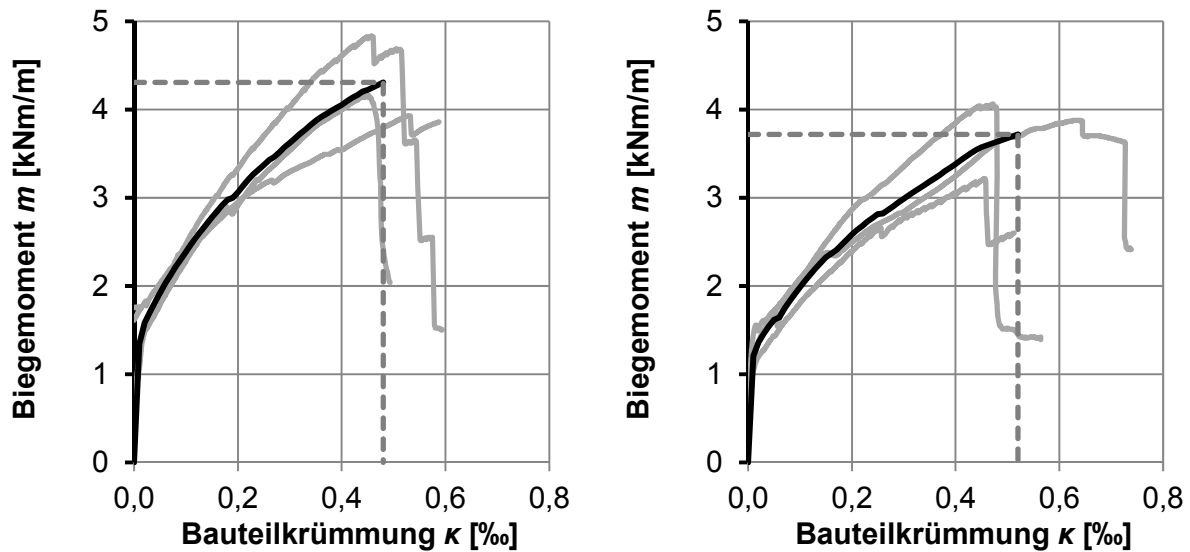


Bild 12: Momenten-Krümmungsdiagramm der Vier-Punkt Biegeversuche mit dem Textil 1 (Tab. 1); links: mit Abstandshalter; rechts: ohne Abstandshalter

In Bild 12 sind die Momenten-Krümmungskurven der Vier-Punkt Biegeversuche des Textils 1 dargestellt. Die schwarze Kurve stellt den gemittelten Verlauf dar. Die Versuche mit dem Abstandshalter erreichten im Mittel eine Biegetragfähigkeit von 4,3 kNm/m. Im Gegensatz dazu lag der Mittelwert beim Laminierverfahren bei 3,7 kNm/m. Die mittlere Biegetragfähigkeiten des Textils 2 (Tab. 1) erreichte den höchsten Wert von 5,6 kNm/m. Der Grund hierfür ist die doppelte Querschnittsfläche des Textils. Das Versagen der Biegekörper erfolgte über einen Biegeschubriss mit einer Einschnürung der Betondruckzone gemäß Bild 13.



Bild 13: Bruchzustand des Biegekörpers mit dem Textil 2 (Tab. 1)

Neben dem Biegeschubriss kann vor allem der gute Verbund der Textilien zum Spritzmörtel anhand des Rissbilds in Bild 13 erkannt werden. Der Rissabstand betrug etwa 5 cm.

Bei den Ankerversuchen erreichte die metallische Lösung (Anker 1, Tab. 3) die höchsten mittleren Auszugswerte von 18,1 kN. Die mittlere Auszugskraft der Konusform (Anker 2) betrug 16,2 kN. In den Versuchen erschienen zuerst radiale Biegerisse, die in Bild 14 zu erkennen sind, bevor nach einer erneuten Kraftsteigerung der Ausbruchkegel eintrat.

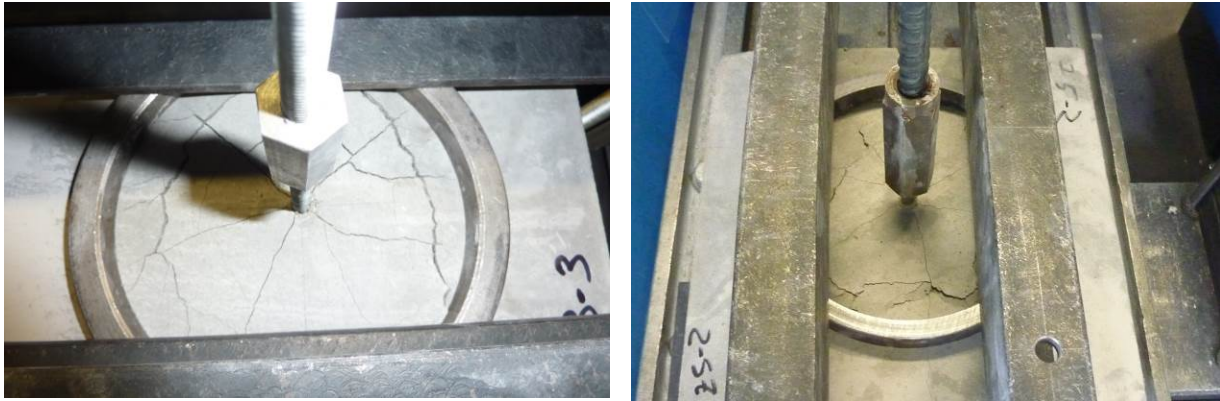


Bild 14: Anker auszugs-Prüfkörper kurz vor dem Bruch; links: Anker 1; rechts: Anker 2

Mit den ermittelten Widerstandswerten kann die statische Berechnung erfolgen. Dabei muss eine iterative Rechnung stattfinden, bei der die maximale Biegetragfähigkeit und die Anker auszugskraft beachten werden müssen. Abhängig von dem Widerstand und von der Einwirkung kann die Positionierung der Anker erfolgen. Die einwirkenden Schnittgrößen und Auflagerkräfte dürfen die Widerstandswerte nicht überschreiten. Die bisherigen Untersuchungsergebnisse zeigen, dass mit fünf Ankern pro Quadratmeter und einer zweilagigen Carbon-Bewehrung eine Spaltwasserdruckbelastung von 5 kN/m^2 mit einem gleichzeitigen linearen Temperaturgradienten von 10 K aufgenommen werden können.

4. Zusammenfassung

Die Anwendbarkeit von textilbewehrten Spritzmörtelschichten zur Instandsetzung von Wasserbauwerken konnte in dem Transferprojekt demonstriert werden. Neben Materialersparnis und dem damit einhergehenden Raumgewinn, insbesondere interessant bei Schleusen, überzeugt das Instandsetzungskonzept durch die hohe Tragfähigkeit und dem geringen Arbeitsaufwand. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass lediglich 5 Anker pro m^2 ausreichen, um ein Wasserbauwerk mit einer Vorsatzschale zu sanieren. Die laufenden Untersuchungen am IMB zielen auf eine Verringerung der Ankeranzahl pro Quadratmeter und einen praxistauglicheren Einbau der textilen Bewehrungselemente und Verankerungen.

5. Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Transferprojekts T09 des Sonderforschungsbereiches 532 „Textilbewehrter Beton – Grundlagen für die Entwicklung einer neuartigen Technologie“ an der RWTH Aachen. Gedankt sei auch den Partnern ibac, ITA, StoCretec, Solidian, Bundesanstalt für Wasserbau und DistTEX für die Unterstützung.

6. Literatur

- [1] ZTV-W:
Zusätzliche Technischen Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV-W) für Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken (Leistungsbereich 219), Hannover 2004.
- [2] DIN 19702:
Massivbauwerke im Wasserbau: Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit, Beuth Verlag, Berlin 2013.
- [3] Westendarp, A.:
Betoninstandsetzung im Verkehrswasserbau – Neue Anforderungen und Entwicklung. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 83, 2001.

- [4] Offermann, P., Engler, T., Gries, T., Roye, A.:
Technische Textilien zur Bewehrung von Betonbauteilen. Beton- und Stahlbetonbau 99 (2004),
H. 6, S. 437–443.
- [5] Hegger, J., Kulas, C., Raupach, M., Büttner, T.:
Tragverhalten und Dauerhaftigkeit einer schlanken Textilbetonbrücke. Beton- und Stahlbetonbau
106 (2011), H. 2, S. 72–80.

Zu den Autoren

Dipl.-Ing. Sergej Rempel

Studium des Bauingenieurwesens an der RWTH Aachen, 2010 - 2012 Tragwerksplaner im
Ingenieurbüro HS&P, seit 2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl und Institut für Massivbau
der RWTH Aachen

srempel@imb.rwth-aachen.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger

Studium des Bauingenieurwesens an der RWTH Aachen, 1984 Dissertation an der TU Braunschweig,
1985 - 1993 Technischer Angestellter bei der Philipp Holzmann AG, seit 1993 Inhaber des Lehrstuhls
für Massivbau und Leiter des dazugehörigen Instituts der RWTH Aachen

imb@imb.rwth-aachen.de

Dr.-Ing. Norbert Will

Studium des Bauingenieurwesens an der RWTH Aachen, 1985 – 1988 Technischer Angestellter bei
der Philipp Holzmann AG, 1996 Dissertation an der RWTH Aachen, seit 1995 Oberingenieur des
Lehrstuhls und Instituts für Massivbau der RWTH Aachen

nwill@imb.rwth-aachen.de