

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Report, Published Version

Westendarp, Andreas

Textilbewehrte Vorsatzschalen. FuE-Abschlussbericht A 395 103 10238

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105116>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

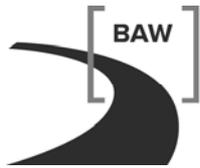
Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2012): Textilbewehrte Vorsatzschalen. FuE-Abschlussbericht A 395 103 10238. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.

Verwertungsrechte: Alle Rechte vorbehalten

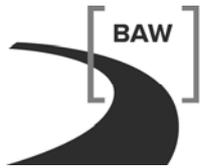


Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

FuE-Abschlussbericht

Textilbewehrte Vorsatzschalen

A 395 103 10238



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

FuE-Abschlussbericht
Textilbewehrte Vorsatzschalen

Auftraggeber:

Auftrag vom: 01.07.2007, Az.: ---

Auftrags-Nr.: A 395 103 10238

Aufgestellt von: Abteilung: Bautechnik
 Referat: B3 Baustoffe
 Bearbeiter: Dipl.-Ing. A. Westendarp

Karlsruhe, den 27. Dezember 2012

Der FuE-Bericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.

Zusammenfassung

Im Rahmen des FuE-Vorhabens „Textilbewehrte Vorsatzschalen“ der BAW, welches im Auftrag der BAW im Wesentlichen durch das Institut für Bauforschung (ibac) der RWTH Aachen realisiert worden ist, sollte die grundsätzliche Eignung von Textilbewehrung im Verbund mit Spritzmörtel/Spritzbeton gemäß ZTV-W LB 219, Abschnitt 5, für die Instandsetzung von Verkehrswasserbauwerken untersucht werden.

Hierzu wurden im Rahmen einer Studie zunächst wesentliche Eigenschaften sowie das grundsätzliche Potential von Textilien als Bewehrung in Mörtel bzw. Beton für die Instandsetzung von Verkehrswasserbauwerken aufgezeigt.

In einem zweiten Schritt wurde im Rahmen von Laboruntersuchungen gezeigt, dass Spritzmörtel gemäß ZTV-W LB 219, Abschnitt 5, in einer Schichtstärke von etwa 30 bis 40 mm problemlos mit Textilien bewehrt werden können. Im Altbeton vorhandene Einzelrisse bzw. die Rissbreitenänderungen dieser Einzelrisse können mittels Textilbewehrung auf Basis von AR-Glas oder Carbon in mehrere feinere Risse im applizierten Instandsetzungsmörtel/-beton überführt werden.

In einem dritten Schritt konnte die Applizierbarkeit textilbewehrter Spritzmörtelschichten unter Baustellenbedingungen bei der Anlage von Probeflächen am Neckarwehr Horkheim erfolgreich aufgezeigt werden. Die insgesamt acht unterschiedlich ausgebildeten bzw. orientierten Probeflächen wurden mit Messaufnehmern zur Erfassung von Bauteiltemperatur, Rissbreitenänderungen und Dehnungen im Instandsetzungssystem ausgestattet. Nach bislang zweijähriger Beobachtung konnten visuell noch keine Auffälligkeiten oder Risse an diesen frei bewitterten, nicht direkt mit Wasser beaufschlagten Flächen diagnostiziert werden. Die Rissbreitenänderungen im Altbeton haben sich während der Beobachtungszeit allerdings lediglich im Bereich von maximal etwa 0,25 mm bewegt. Die Beobachtung der Probeflächen soll über das Ende des FuE-Vorhabens hinaus fortgesetzt werden.

Das im Rahmen des FuE-Vorhabens nachgewiesene Vermögen von Textilbewehrung, Bewegungen von Einzelrissen im Altbeton auf mehrere Risse im Instandsetzungsmörtel zu überführen, ist nur ein Baustein im Hinblick auf eine Eignung textilbewehrter Spritzmörtel/Spritzbetone für die Instandsetzung massiger, geringfester und gerissener Bauteile von Verkehrswasserbauwerken. In einem nächsten Schritt sind geeignete Verankerungssysteme für textilbewehrte Spritzmörtelschichten zu konzipieren. Für das Gesamtsystem sind geeignete Bemessungsansätze zu erstellen, die es dem sachkundigen Planer derartiger Instandsetzungsmaßnahmen ermöglichen, Textilbewehrung und Verankerung in Abhängigkeit bestimmter Randbedingungen zu konzipieren. Zu prüfen ist weiterhin, inwieweit neben Spritzmörtel/Spritzbetonen auch in Schalung eingebrachte Mörtel oder Betone in Verbindung mit Textilbewehrung Anwendung finden können.

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Problemstellung und Zielsetzung	1
1.1	Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens	1
1.2	Bedeutung für die WSV	2
1.3	Untersuchungsziel	2
2	Grundsätzliche Betrachtungen	3
3	Untersuchungsmethoden, Vorgehensweise	5
4	Untersuchungsdurchführung, Untersuchungsergebnisse	5
4.1	Studie zum Potential textildewehrter Vorsatzschalen (Teil 1)	5
4.2	Untersuchungen textildewehrter Spritzmörtel auf Laborebene (Teil 2)	8
4.3	Untersuchungen textildewehrter Spritzmörtel im Bauteilmaßstab (Teil 3)	12
5	Zusammenfassende Bewertung, Ausblick	15
5.1	Zusammenfassende Bewertung	15
5.2	Ausblick	16
6	Literatur	18

Bildverzeichnis

	Seite	
Bild 1	Wehrpfeiler mit Rissen und gerissenen Arbeitsfugen	1
Bild 2	Links: Rissüberbrückungskörper zur Untersuchung textildewehrter Spritzmörtel	
	Rechts: Herstellung der Rissüberbrückungskörper (aus /Orlowsky 2011/)	9
Bild 3	Darstellung der vier verwendeten Textilkombinationen (aus /Orlowsky 2011/)	9
Bild 4	Zugversuche an Streifenproben:	
	Links: Kraft-Dehnungsverläufe	
	Mitte: Durchführung des Zugversuchs	
	Rechts: Bruchbild einer Streifenprobe mit 2D-15-09+EP (aus /Orlowsky 2011/)	10
Bild 5	Links: Kräfte in der textildewehrten Spritzmörtelschicht während der des Altbetons bis zu einer Rissbreite von 0,7 mm	
	Rechts: Rissbild einer Probe mit AR-Glas 2D-15-09 mit EP (aus /Orlowsky 2011/)	11
Bild 6	Zyklische Beanspruchung der Rissüberbrückungskörper mit 55 Zyklen, Rissöffnung zwischen 0,1 und 0,7 mm (aus /Orlowsky 2011/)	11

Bild 7	Wehrpfeiler 3 des Wehrs Horkheim. Links: Ansicht der Flanke Rechts: Ausschnitt Stirnseite (aus /Orlowsky 2011/)	13
Bild 8	Textilbefestigung und Textildurchdringung (aus /Orlowsky 2011/)	14
Bild 9	Durchgeführte Probeinstandsetzung nach dem ersten Winter (aus /Orlowsky 2011/)	14
Bild 10	Dehnungen der DMS unterhalb der ersten Textillage zur Jahreswende 2010/2011 (aus /Orlowsky 2011/)	15

Tabellenverzeichnis	Seite	
Tabelle 1	Gegenüberstellung von Instandsetzungsvarianten (aus ibac-Studie; Abschnittsverweise in Spalte 2 beziehen sich auf Studie)	7
Tabelle 2	Untersuchte Materialien (aus /Orlowsky 2011/)	9

Anlagenverzeichnis

Anlage 1:

Forschungsbericht Nr. F 7052 des Institutes für Bauforschung (ibac) der RWTH Aachen:
Studie über potentielle, Grenzen und offene Fragen beim Einsatz von Textilbetonen zur In-
standsetzung von Wasserbauwerken

Anlage 2:

Forschungsbericht Nr. F 7071 des Institutes für Bauforschung (ibac) der RWTH Aachen:
Instandsetzung von Wasserbauwerken mit dünnen textil- bzw. faserbewehrten Spritzmörtel-
schichten

Anlage 3:

Orlowsky, J.; Raupach, M.; Westendarp, A.; Öztürk, T.: Textilbewehrte Spritzmörtel zur In-
standsetzung von Wasserbauwerken. In: Beton 61 (2011), Nr. 12, S. 486-490.

1 Problemstellung und Zielsetzung

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Ältere, in der Regel unbewehrte oder teilbewehrte Wasserbauwerke aus Beton zeigen vielfach vor Ablauf der rechnerischen Nutzungsdauer Oberflächenschäden, die vorwiegend aus thermischen und hygri-schen Einwirkungen wie Frost in Verbindung mit hohen Wassersättigungsgraden sowie aus mechanischem Angriff infolge Schiffsanfahrt oder Abrasion resultieren. Hinzu kommen Risse und gerissene Arbeitsfugen, die zum einen den genannten Einwirkungen zusätzliche Angriffsflächen bieten, und zum anderen Wasserbewegungen innerhalb des Bauteils mit den oftmals einhergehenden Bindemittelauslösungen und Festigkeitsverring-erungen begünstigen.



Bild 1: Wehrpfeiler mit Rissen und gerissenen Arbeitsfugen

Die Nutzungsdauer derartiger Wasserbauwerke soll in vielen Fällen im Rahmen von Grund-instandsetzungen langfristig, d.h. für mehrere Jahrzehnte verlängert werden. Vorrangiges

Ziel ist hier die Herstellung eines dauerhaften Betons im oberflächennahen Bereich. Eine Möglichkeit hierzu ist die Anordnung einer Vorsatzschale (zumeist nach vorhergehendem Betonabtrag), wobei gemäß ZTV-W LB 219 zwischen dünnen Vorsatzschalen (bis 60 mm, unverankert, unbewehrt, Verbund zum Altbeton ausschließlich über Adhäsion) und dicken Vorsatzschalen (über 90 mm bis maximal etwa 500 mm, im Altbeton verankert, ein- oder zweiseitig bewehrt) unterschieden werden kann. Während für die Instandsetzung beispielsweise von Schleusenkammerwänden aufgrund spezifischer Randbedingungen eher dicke Vorsatzschalen geeignet erscheinen, wird bei Bauwerke wie Wehranlagen unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten zumeist eher die Verwendung dünner Vorsatzschalen angestrebt.

Bei der Anordnung dünner, unbewehrter Vorsatzschalen auf geringerfesten Altbetonen älterer Wasserbauwerke ist allerdings davon auszugehen, dass sich im Altbeton vorhandene Risse und offene Arbeitsfugen nach der Instandsetzung in die Vorsatzschale hinein fortpflanzen. Zudem können in oftmals vorhandenen lokalen Bereichen mit besonders geringen Abreißfestigkeiten des Altbetons Verbundprobleme auftreten. Die Verwendung konventioneller Bewehrung aus Stahl in Verbindung mit Verankerungselementen zur Kompensation dieser Problematik ist bei dünnen Vorsatzschalen wegen des nicht bzw. nur schwer zu realisierenden Korrosionsschutzes (zu geringe Betondeckung) zumeist nicht zielführend. Durch die Verwendung korrosionsunkritischer Textilbewehrung könnte diese Problematik umgangen werden.

1.2 Bedeutung für die WSV

Mit dem Ersatz korrosionskritischer Bewehrung aus Stahl durch Textilbewehrung in Verbindung mit geeigneten Spritzmörteln bzw. Spritzbetonen könnte der WSV ein Verfahren zur Verfügung gestellt werden, mit dessen Hilfe sich Instandsetzungen insbesondere an älteren massiven Wasserbauwerken wie Wehranlagen zielsicherer und kostengünstiger als bisher realisieren ließen.

1.3 Untersuchungsziel

Im Rahmen einer Studie sollen zunächst die Potentiale, Grenzen und offenen Fragen beim Einsatz von Textilbewehrung zur Instandsetzung massiver Wasserbauwerke untersucht werden. Sofern sich dieser Ansatz grundsätzlich als zielführend erweisen sollte, sind in weiteren Schritten Rahmenbedingungen für die Anwendung dieser Bauweise in der WSV zu definieren und über entsprechende Labor- und Bauteiluntersuchungen abzusichern.

2 Grundsätzliche Betrachtungen

Betoninstandsetzungsmaßnahmen im Verkehrswasserbau bedingen eine gewisse Robustheit der Instandsetzungssysteme gegenüber den besonderen verkehrswasserbauspezifischen Einwirkungen. Zu nennen sind hier in erster Linie Beanspruchungen aus Frost mit hohen Sättigungsgraden und einer betriebs- bzw. gezeitenbedingt hohen Anzahl von Forst-Tau-Wechseln, aber auch mechanische Einwirkungen beispielsweise aus Schiffsanfahrt oder Abrasion. Oberflächenschutzsysteme kommen bei derartigen Einwirkungen, aber auch wegen des oftmals gegebenen Wasserzutritts durch das Bauteil hindurch im Regelfall als Instandsetzungssysteme nicht in Frage. Vorzuziehen sind hier vielmehr mineralisch gebundene Mörtel oder Betone, welche durch Betonieren oder aber im Spritzverfahren aufgebracht werden. Die ZTV-W LB 219 unterscheidet bei Betonen und Spritzbetonen weiter in Systeme, welche verankert und bewehrt ausgebildet werden und solche, welche unbewehrt sind und deren Verbindung mit dem Untergrund lediglich über Adhäsion erfolgt.

In den Abschnitten 3 und 4 der ZTV-W LB 219 werden verankerte und bewehrte Vorsatzschalen aus Beton oder Spritzbeton geregelt, welche in Dicken von etwa 40 cm (Betonvorsatzschalen) bzw. 15 bis 20 cm (Spritzbetonvorsatzschalen) ausgebildet werden. Mit solchen Vorsatzschalen wird nicht nur langfristig eine dauerhafte Betonoberfläche hergestellt, die Vorsatzschalen verhindern auch weitestgehend das Durchdringen von Wasser über Risse, gerissene Arbeitsfugen oder unzureichend verdichteten Beton durch das Bauteil hindurch. An die Festigkeits- und Verformungseigenschaften des Altbetons werden bei derartigen Vorsatzschalen, abgesehen von einer ausreichenden Verankerungsmöglichkeit über entsprechende Verankerungselemente, keine besonderen Anforderungen gestellt. Derartige Vorsatzschalen, insbesondere Betonvorsatzschalen, bilden die Standardinstandsetzungslösung für die Grundinstandsetzung insbesondere von Schleusenammerwänden.

Bei Bauteilen wie beispielsweise Wehrpfeilern haben derartige Vorsatzschalen hingegen technische und wirtschaftliche Nachteile. Wehrpfeiler sind oftmals mehrschalig hergestellt worden. Im Randbereich wurde hierzu ein höherwertiger Mörtel oder Beton an der Schalung vorgelegt, wohingegen der anschließend eingebaute Kernbereich oftmals aus einem minderwertigen Füllbeton besteht. Typische Schichtstärken des Randbetons liegen bei etwa 20 cm, wobei die unregelmäßige Schichtdicke durch das Anschütten an die Schalung berücksichtigt werden muss. Die Höhe der einzelnen, bei älteren Anlagen zumeist in Stampfbetonbauweise erstellten Betonierabschnitte liegt zumeist bei etwa 50 bis 80 cm. Ein Abtrag des höherwertigen Randbetons zwecks Einbau einer dicken, verankerten und bewehrten Vorsatzschale bedingt vielfach dessen komplette Entfernung mit den damit einhergehenden Nachteilen und Risiken. Ein Verzicht auf den Betonabtrag ist wegen der Einschränkung des ursprünglichen Lichtraumprofils zumeist nicht möglich. Für derartige Bauteile sind also dünn-schichtige Instandsetzungssysteme aus Mörtel oder Beton in Schichtdicken von etwa 40 bis

maximal 60 mm vorzuziehen. Als Nachteile derartiger dünn-schichtiger Systeme sind bislang allerdings zu nennen:

1. Einbau konventioneller Verankerung und Bewehrung im Regelfall nicht möglich
2. Verbund mit dem Altbeton mangels Verankerung/Bewehrung ausschließlich über Adhäsion
3. Durchschlagen von Rissen aus dem Untergrund schon bei geringen Rissbreitenänderungen kaum vermeidbar
4. Angepasstes Verformungsverhalten des Instandsetzungsmörtels/-betons an den Altbeton erforderlich

Die ZTV-W LB 219 definiert als bislang einziges nationales Regelwerk für die Betoninstandsetzung Anforderungen an das Schwind- und an das Verformungsverhalten von Spritzmörteln/Spritzbetonen in Abhängigkeit von den Altbetoneigenschaften (Spritzmörtel S-A2, S-A3 und S-A4 für die Altbetonklassen A2, A3 und A4). Die unter Pkt. 4 genannte Problematik wird somit bereits berücksichtigt. Bei der Erarbeitung der ZTV-W LB 219 waren sich die Ersteller auch der unter Pkt. 3 genannten Problemstellung bewusst, eine Lösung war aber wegen der Schwierigkeiten mit der Realisierung des Korrosionsschutzes der (Stahl-)Bewehrung nicht ohne weiteres möglich.

Im Rahmen dieses FuE-Vorhabens sollte die Eignung von Textilbewehrung zur Verteilung größerer Risse aus dem Untergrund auf eine Vielzahl feinerer Risse in einer applizierten Spritzmörtel/Spritzbetonschicht untersucht werden. In einem ersten Schritt sollte davon ausgegangen werden, dass ein ausreichender Adhäsionsverbund mit Ausnahme lokaler milderer Bereiche gegeben, eine zusätzliche Verankerung des Instandsetzungssystems mit dem Altbeton mithin nicht erforderlich ist. Eine weitere Annahme war zudem, dass das Auftreten von Spaltwasserdruck im Kontaktbereich Altbeton-Instandsetzungssystem nicht möglich ist. Hinsichtlich der Änderungen der Breiten von Rissen und gerissenen Arbeitsfugen sollte davon ausgegangen werden, dass diese in erster Linie aus täglichen bzw. jahreszeitlichen Temperaturänderungen resultieren.

Als Spritzmörtel/Spritzbetone sollten bewährte, an die Untergrundgegebenheiten angepasste Materialien (Spritzmörtel/Spritzbetone S-A2, S-A3 und/oder S-A4 gemäß ZTV-W LB 219, Abschnitt 5) verwendet werden.

Als Instandsetzungsziel stand die Schaffung einer langfristig dauerhaften Betonoberfläche im Fokus, das Instandsetzungsziel „Minimierung des Wasserdurchtritts“ muss bei Verwendung einer derartigen Lösung auf andere Weise (z.B. durch Injektionen gemäß /Merkblatt DWA-M 506/) erreicht werden.

3 Untersuchungsmethoden, Vorgehensweise

Für die Bearbeitung des Forschungsvorhabens sind drei nacheinander zu bearbeitende Teilschritte konzipiert worden, wobei der jeweils folgende Teil nur dann realisiert werden sollte, wenn der vorhergehende Teil ausreichendes Realisierungspotential anzeigte:

Teil 1: Studie zur Analyse des grundsätzlichen Potentials textilbewehrter Vorsatzschalen

Teil 2: Untersuchungen textilbewehrter Spritzmörtel auf Laborebene

Teil 3: Untersuchungen textilbewehrter Spritzmörtel im Bauteilmaßstab

Die Verwendung von Textilbewehrung in Mörtel bzw. Beton zur Erstellung neuer Flächen-tragwerke oder zur Instandsetzung bestehender Bauwerke ist in den letzten Jahren im Rahmen von Grundlagenuntersuchungen an der RWTH Aachen und der TU Dresden in eigens hierfür eingerichteten Sonderforschungsbereichen umfassend untersucht worden. Im Rahmen des FuE-Vorhabens der BAW sollten die dort gewonnenen Erkenntnisse aufgenommen und ihre Übertragbarkeit im Hinblick auf die Instandsetzung massiger, unbewehrter, gerissener und geringerfester Betonbauteile unter den besonderen Einwirkungen des Verkehrswasserbaus untersucht werden.

Bei der Durchführung des FuE-Vorhabens wurde eine enge Kooperation mit dem Institut für Bauforschung (ibac) der RWTH Aachen angestrebt, weil hier sowohl das textilspezifische Wissen als auch grundlegende Kenntnisse hinsichtlich der zu verwendenden Spritzmörtel/Spritzbetone (das ibac war bei der Erarbeitung der Anforderungen an Spritzmörtel/Spritzbetone gemäß Abschnitt 5 der ZTV-W LB 219 maßgeblich beteiligt) vorausgesetzt werden konnten.

Die im Rahmen der o.g. drei Schritte durchzuführenden Arbeiten und Untersuchungen wurden weitestgehend im Auftrag der BAW vom ibac unter Federführung von Frau Dr. Orłowsky erbracht. Hauptaufgabe der BAW war die konzeptionelle Steuerung der gesamten FuE-Aktivitäten.

4 Untersuchungsdurchführung, Untersuchungsergebnisse

4.1 Studie zum Potential textilbewehrter Vorsatzschalen (Teil 1)

Im Jahr 2006, also zu Beginn der FuE-Aktivitäten, stellte Textilbewehrung eine weitgehend neuartige Form der Bewehrung in Betonbauteilen dar, die, von Einzelprojekten abgesehen, den Bereich der Grundlagenforschung noch nicht verlassen hatte. Vor diesem Hintergrund schien es sinnvoll, in einem ersten Schritt den aktuellen Sachstand im Bereich Textilbewehrung im Rahmen einer Studie/eines Sachstandberichtes aufzuzeigen und mögliche Nut-

zungsformen für die Verwendung bei der Instandsetzung von Verkehrswasserbauwerken herauszuarbeiten.

Das Institut für Bauforschung (ibac) der RWTH Aachen wurde deshalb im August 2006 mit der Erarbeitung einer Potentialanalyse gemäß Teil 1 des Untersuchungsprogramms beauftragt. Diese Studie wurde im Sommer 2007 vorgelegt. Die Ergebnisse der Studie zum grundsätzlichen Potential textilbewehrter Vorsatzschalen zur Instandsetzung von Verkehrswasserbauwerken sind im Forschungsbericht Nr. F 7052 des ibac zusammengefasst, welcher diesem FuE-Bericht als Anlage 1 beigefügt ist.

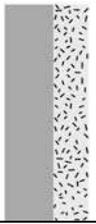
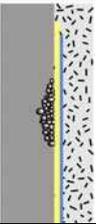
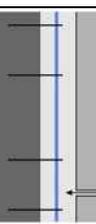
Die Studie geht u. a. auf die Ausgangsstoffe des Textilbetons und deren Zusammenwirken ein. Dargestellt werden insbesondere die Eigenschaften von Textilien aus alkaliresistenten Gläsern (AR-Glas), Carbon und Aramid ohne und mit zusätzlicher Tränkung. Des Weiteren wird die Dauerhaftigkeit typischer technischer Textilien bei Verwendung in Beton allgemein sowie unter den besonderen Bedingungen des Wasserbaus betrachtet. Insbesondere AR-Glas wird trotz entsprechender Stabilisatoren durch die Alkalien im Mörtel/Beton angegriffen, der langfristige Festigkeitsverlust infolge Korrosion ist bei der Bemessung zu berücksichtigen.

In einem weiteren Schritt werden neue bzw. neuartige Konzepte zur Instandsetzung von Wasserbauwerken erörtert. Betrachtet werden hierbei nachfolgende Ansätze:

- Unverankerter Spritzmörtel mit Bandagen als lokaler Verstärkung
- Unverankerter faserbewehrter Spritzmörtel ohne/mit Bandagen als lokaler Verstärkung
- Verankerter textilbewehrter Spritzmörtel
- Verankerter textilbewehrter Ortbeton
- Textilbewehrte Fertigteile mit Füllschicht geringer Steifigkeit und guter Drainagefähigkeit

Die bei den einzelnen Ansätzen zu betrachtenden Aspekte und Fragestellungen werden aufgezeigt. In der aus der Studie des ibac entnommenen Tabelle 1 findet sich exemplarisch eine schematische Gegenüberstellung der genannten Ansätze.

Tabelle 1: Gegenüberstellung von Instandsetzungsvarianten
(aus ibac-Studie; Abschnittsverweise in Spalte 2 beziehen sich auf Studie)

Instandsetzungsvariante	Ab-schnitt	Vorteile	Nachteile
1	2	3	4
Kurzfaserbewehrte, unverankerte Spritzmörtelschicht 	4.2.2.1	<ul style="list-style-type: none"> • Geringer Arbeitsaufwand • Zeitersparnis • Geringe Schichtdicken 	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatzbereich stark begrenzt
Kurzfaserbewehrte, unverankerte Spritzmörtelschicht mit Bandagen 	4.2.2.2	<ul style="list-style-type: none"> • Lokal mindere Bereiche werden integriert • Geringer Arbeitsaufwand 	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatzbereich begrenzt
Spritzmörtelschicht mit lokalen Bandagen 	4.3.2	<ul style="list-style-type: none"> • Bekannte Instandsetzungsmethode mit • Integration lokal mindere Bereiche bzw. gerissener Bereiche 	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatzbereich begrenzt
Textilbewehrte, verankerte Spritzmörtelschicht 	4.4.2	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Tragfähigkeit • Großer Einsatzbereich 	<ul style="list-style-type: none"> • Gegenüber kurzfaserbewehrten Spritzmörtelschichten aufwendiger
Textilbewehrte Vorsatzschale „elastisch gelagert“ 	4.4.3	<ul style="list-style-type: none"> • Weitgehend unabhängig vom E-Modul des Untergrundes -> max. Einsatzbereich 	<ul style="list-style-type: none"> • Abdichtende Fugen • Begrenzte Tragfähigkeit bei Anprall
Textilbewehrte Ortbetonschale 	4.4.4	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Tragfähigkeit • Großer Einsatzbereich 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohlstellenfreies Betonieren nur mit größerer Schalendicke (~ 60 mm) und Injektionstechnik

Die Studie des ibac verdeutlicht, dass textilbewehrte dünne Spritzmörtelschichten auch im Verkehrswasserbau eine potentielle Instandsetzungsvariante darstellen, mit deren Hilfe die bestehenden Probleme hinsichtlich Rissüberbrückung bzw. Rissverteilung und Kompensierung von (lokal) unzureichendem Adhäsionsverbund möglicherweise gelöst werden können.

4.2 Untersuchungen textilbewehrter Spritzmörtel auf Laborebene (Teil 2)

Wie bereits in Abschnitt 2 ausgeführt, sollte in Teil 2 des FuE-Vorhabens im Rahmen von Laboruntersuchungen der Frage nachgegangen werden, mit welchen Materialien und Konstellationen eine möglichst optimale Verteilung der Rissbreitenänderungen einzelner Risse im Betonuntergrund auf möglichst viele feine Risse in einem textilbewehrten Spritzmörtel/-beton erfolgen kann. Die zur Verwendung kommenden Spritzmörtel sollten hierbei die Anforderungen der ZTV-W LB 219, Abschnitt 5, erfüllen. Die Rissbreitenänderung im Altbeton infolge Temperaturänderung wurde pessimal mit etwa 0,6 mm angenommen

Die Durchführung der Untersuchungen und die Untersuchungsergebnisse sind ausführlich im Forschungsbericht Nr. F 7071 des ibac dargestellt, welcher diesem FuE-Bericht als Anlage 2 beigefügt ist. Eine komprimierte Darstellung der Untersuchungen findet sich in /Orlowsky 2011/, diese Veröffentlichung wurde deshalb als Anlage 3 beigefügt. Die nachfolgenden Ausführungen und Bilder stehen exemplarisch für die durchgeführten Untersuchungen und wurden weitestgehend / Orlowsky 2011/ entnommen.

Im Rahmen der Untersuchungen auf Laborebene wurden insbesondere folgende Untersuchungsmethoden angewandt:

- Mörtelcharakterisierung (Biegezug- und Druckfestigkeit, E-Modul, Schwinden)
- Zugversuche an textilbewehrten Verbundkörpern
- Rissüberbrückungsversuche an textilbewehrten Verbundkörpern
- Haftzugfestigkeit Altbeton/Spritzmörtel und Spritzmörtel/Textilbewehrung

Bild 2 zeigt eine schematische Darstellung der Versuchskörper für die Rissüberbrückung sowie deren Herstellung im Spritzstand.

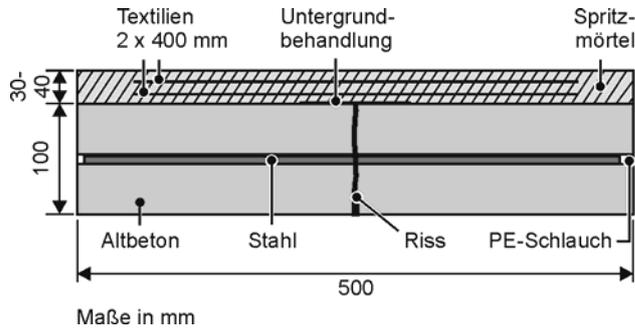


Bild 2: Links: Rissüberbrückungskörper zur Untersuchung textilbewehrter Spritzmörtel. Rechts: Herstellung der Rissüberbrückungskörper (aus /Orlowsky 2011/)

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die Materialkombinationen, die mit den oben dargestellten Methoden untersucht wurden. Der verwendete S-A3-Spritzmörtel ist gemäß ZTV-W LB 219, Abschnitt 5, geprüft und zugelassen. In Bild 3 ist der Aufbau der Textilien anhand von Fotos dargestellt.

Tabelle 2: Untersuchte Materialien (aus /Orlowsky 2011/)

Spritzmörtel	Textilien	
	Bez.	Beschreibung
S-A3, Größtkorn 6 mm	2D-15-09+EP	Epoxidharzgetränktes AR-Glastextil, 2400 tex in 0° & 90°, Gitterweite 8 mm x 8 mm
	41-521	Styrol-Butadienbeschichtetes AR-Glastextil, 2400 tex in 0° & 90°, Gitterweite 16 mm x 10 mm
	G600	Styrol-Butadienbeschichtetes Carbontextil, 3500 tex in 0° & 90°, Gitterweite 14 mm x 7 mm
	41-521 + G300	AR-Glastextil 41-521 und Styrol-Butadienbeschichtetes Carbontextil, 3500 tex in 0° & 90°, Gitterweite 28 mm x 28 mm

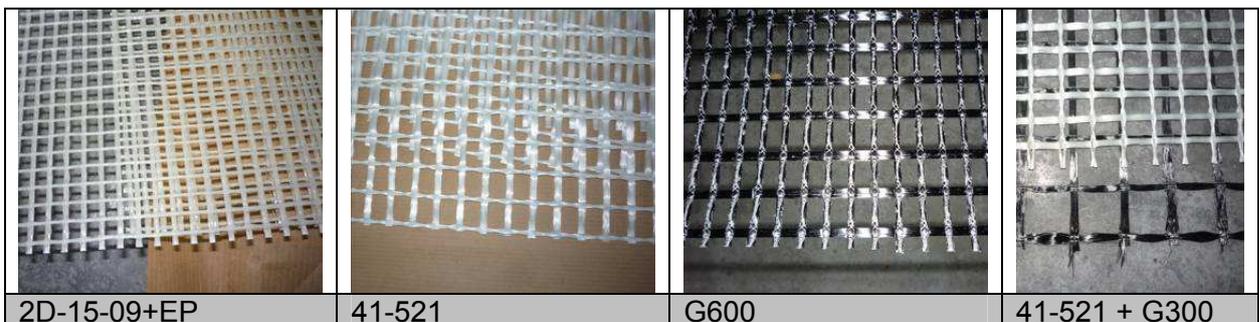


Bild 3: Darstellung der vier verwendeten Textilkombinationen (aus /Orlowsky 2011/)

Bild 4 zeigt exemplarisch Ergebnisse der Zugversuche an Streifenproben. Anhand des Kraft-Dehnungs-Verlaufs ist zu erkennen, dass die Bewehrung nach dem Erstriss des Spritzmörtels Kräfte aufnimmt und eine weitere Rissentwicklung folgt. Das Versagen trat bei allen Probekörpern in der Verbundzone auf. Alle Textilien waren gut im Spritzmörtel eingebettet, es gab keine Lunkerbildung in den Probekörpern.

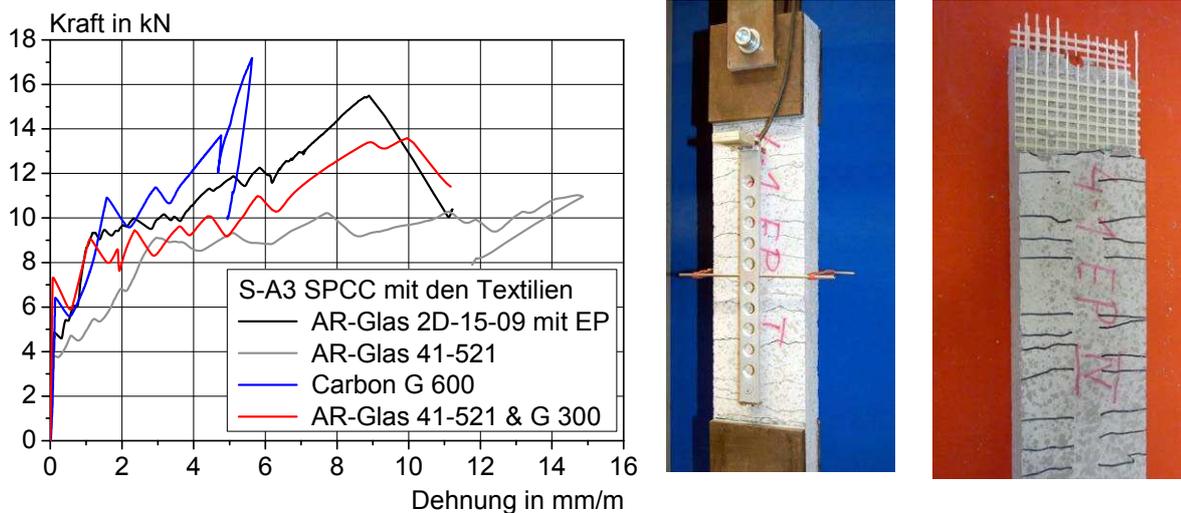


Bild 4: Zugversuche an Streifenproben: Links: Kraft-Dehnungsverläufe. Mitte: Durchführung des Zugversuchs. Rechts: Bruchbild einer Streifenprobe mit 2D-15-09+EP (aus /Orlowsky 2011/)

In den Bildern 5 und 6 ist die in den Rissüberbrückungsversuchen ermittelte Rissöffnung im Altbeton über die Kraft aufgetragen. Bild 5 zeigt die Kraftentwicklung in der textilbewehrten Spritzmörtel-Schicht während einer Rissöffnung bis zu 0,7 mm. Die gemessenen Kraftabfälle deuten jeweils auf eine Riss- bzw. Mikrorissbildung im Instandsetzungssystem hin. Generell wurde somit mit allen vier Bewehrungsvarianten eine Verteilung der Rissbreitenänderung des einzelnen Untergrundrisses auf mehrere Risse in der Spritzmörtelschicht erreicht. Dabei konnten mit dem epoxidharzgetränkten AR-Glastextil die meisten Risse im Spritzmörtel erzeugt werden (Bild 5, rechts).

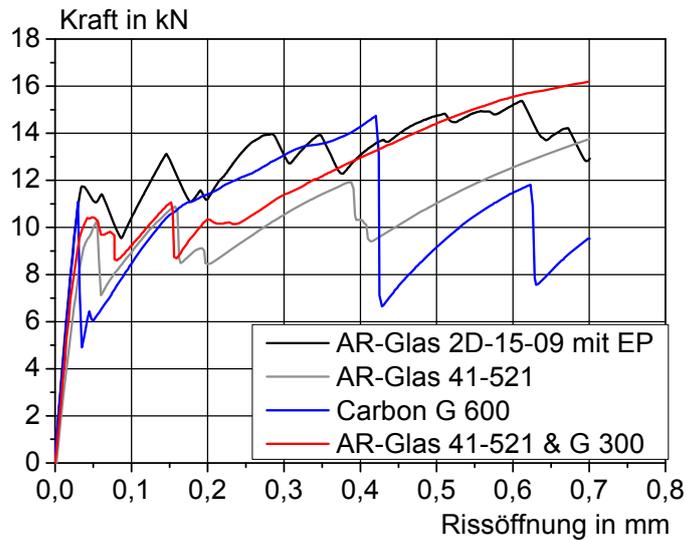


Bild 5: Links: Kräfte in der textilbewehrten Spritzmörtelschicht während der Rissöffnung des Altbetons bis zu einer Rissbreite von 0,7 mm.
Rechts: Rissbild einer Probe mit AR-Glas 2D-15-09 mit EP (aus /Orlowsky 2011/)

Bild 6 verdeutlicht, dass eine zyklische Belastung der textilbewehrten Spritzmörtelschichten über die Rissbewegungen im Betonkörper möglich ist. Nach 55 Zyklen war keine Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit der Instandsetzungssysteme messbar. Selbst nach 200 Zyklen war die mit AR-Glas 41-521 bewehrte Probe noch intakt.

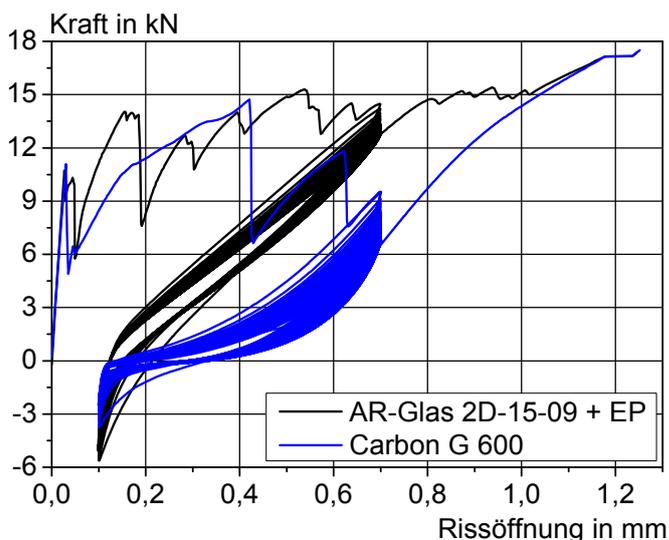


Bild 6: Zyklische Beanspruchung der Rissüberbrückungskörper mit 55 Zyklen, Rissöffnung zwischen 0,1 und 0,7 mm (aus /Orlowsky 2011/)

Die am Rissüberbrückungskörper nach der Prüfung ermittelten Haftzugfestigkeiten ergaben stets ein Versagen im Altbeton. Das Kohäsionsversagen im Altbeton trat bei rund 0,5 N/mm²

auf. Die Prüfung des Adhäsionsversagens zwischen Spritzmörtel und Textil ergab Werte oberhalb von $1,5 \text{ N/mm}^2$. Damit wird bei Altbetonen der Klasse A3 der Verbund zwischen Untergrund und Spritzmörtel die schwächste Stelle bleiben. Die Textilien bedingen somit keine Beeinflussung des Verbundes der Instandsetzungssysteme.

Anhand der durchgeführten Laboruntersuchungen konnte gezeigt werden, dass nach ZTV-W LB 219, Abschnitt 5, zugelassene Spritzmörtel problemlos mit Textilien bewehrt werden können. Ein ausreichender Verbund zwischen Textilien und Spritzmörtel konnte nachgewiesen werden. Ferner wurde gezeigt, dass die Rissbewegungen eines Untergrundrisses durch Textilbewehrung auf mehrere feinere Risse im bewehrten Instandsetzungsmörtel verteilt werden können. Die Textilien mit epoxidharzgetränktem AR-Glas haben sich hierbei im Labor als am Besten geeignet erwiesen. Hinsichtlich der Anwendung hat allerdings das Carbondtextil G 600 den Vorteil der zum Untersuchungszeitpunkt unmittelbaren Verfügbarkeit am Markt und der besseren Handhabbarkeit im Trockenspritzverfahren.

4.3 Untersuchungen textilbewehrter Spritzmörtel im Bauteilmaßstab (Teil 3)

Am 1927 bis 1929 erbauten Wehr Horkheim bot sich die Gelegenheit, die erfolgreich im Labor untersuchten textilbewehrten Spritzmörtel im Rahmen von Probeflächen an einem bestehenden Bauwerk weiter auf ihre Eignung hin zu untersuchen. Zur umfassenden Erprobung des neuen Verbundwerkstoffes wurden im Herbst 2010 insgesamt acht Probeflächen angelegt, ihre Gesamtfläche beträgt etwa 50 m^2 . Sieben Flächen befinden sich an einem Wehrpfeiler im Bereich des Oberwassers (Bild 7), die achte Fläche ist unterwasserseitig oberhalb der Wasserwechselzone angeordnet und wird nur im Hochwasserfall direkt mit Wasser beaufschlagt. Alle Flächen sind von ihrer Exposition her als frei bewittertes Außenbauteil einzustufen. Sechs der acht Flächen sind der direkten Sonneneinstrahlung (Südseite) ausgesetzt. Die Wehrpfeiler weisen zahlreiche Risse und offene Arbeitsfugen auf, die Rissbreiten liegen zwischen $0,1$ und etwa $3,0 \text{ mm}$.

Konzeption und Organisation bei der Anlage der Probeflächen erfolgten im Auftrag der BAW durch das ibac. Die Spritzarbeiten wurden vom Hersteller des eingesetzten Spritzmörtels, der Fa. Sto/Stühlingen durchgeführt. Logistisch unterstützt wurde die Durchführung durch das Amt für Neckarabau/Heidelberg und durch das Wasser- und Schifffahrtsamt Stuttgart.

Eine detaillierte Darstellung zur Anlage der Probeflächen, den durchgeführten Untersuchungen und Messungen sowie den bislang gewonnenen Ergebnissen und Erkenntnissen findet sich im als Anlage 2 beigefügten Forschungsberichtes Nr. F 7071 des ibac, eine komprimierte Darstellung in /Orlowsky 2011/ (siehe Anlage 3). Die nachfolgenden Ausführungen und Bilder stehen exemplarisch für die durchgeführten Arbeiten und Untersuchungen und wurden weitestgehend aus /Orlowsky 2011/ entnommen.

Als Spritzmörtel wurde bei allen Probeflächen der gleiche S-A3-Mörtel wie in den Laboruntersuchungen verwendet. Eine der Probeflächen wurde unbewehrt ausgeführt, die übrigen sieben Flächen mit unterschiedlichen Textilien bzw. in unterschiedlicher Ausprägung bewehrt.



Bild 7: Wehrpfeiler 3 des Wehrs Horkheim. Links: Ansicht der Flanke.
Rechts: Ausschnitt Stirnseite (aus /Orlowsky 2011/)

Zur Erfassung der Rissbewegungen wurden Wegaufnehmer sowohl außerhalb als auch innerhalb der Probeflächen aufgebracht. Über Dehnungsmessstreifen (DMS) werden die Bewegungen im Instandsetzungssystem in Höhe der Textilien ermittelt. Außerdem wird die Bauteiltemperatur erfasst. Die Daten werden kontinuierlich aufgezeichnet und über Modem zur Auswertung ins ibac übertragen.

Die Fixierung der Textilien erfolgte über Glasfaserdübel mit Edelstahltellern. Im Allgemeinen genügte eine Textilbefestigung an der Oberkante mit zwei Dübeln, ggf. eine weitere im Überlappungsbereich von Textilien. Bild 8 zeigt exemplarisch die Textilbefestigung mittels Dübel und die gute Durchdringung des Textils mit Spritzmörtel am Beispiel des epoxidharzgetränkten Textils.

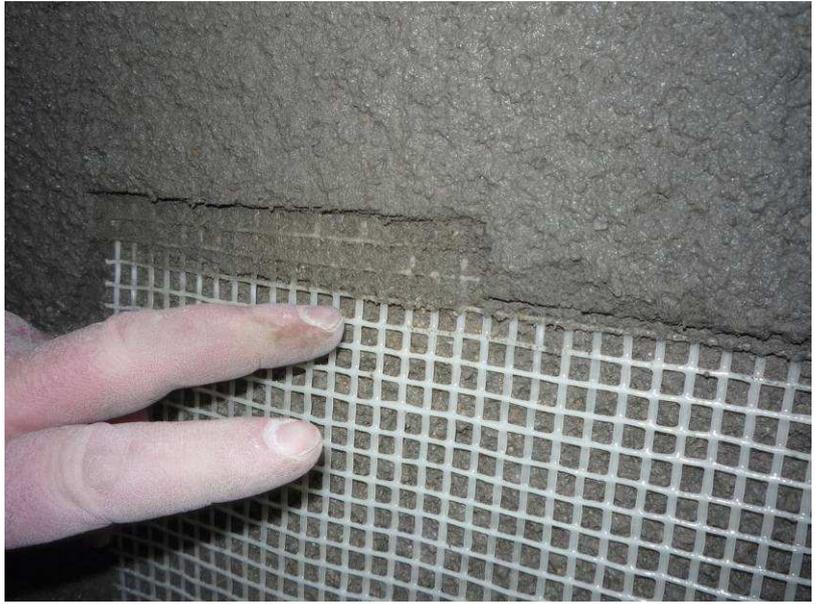


Bild 8: Textilbefestigung und Textildurchdringung (aus /Orlowsky 2011/)

Visuell wurde bei einer Ortsbegehung im Frühjahr 2011, nach 6monatiger Freibewitterung, keine Veränderung der Spritzmörteloberfläche festgestellt, die auf Rissbewegungen im Altbeton schließen lassen (Bild 9).

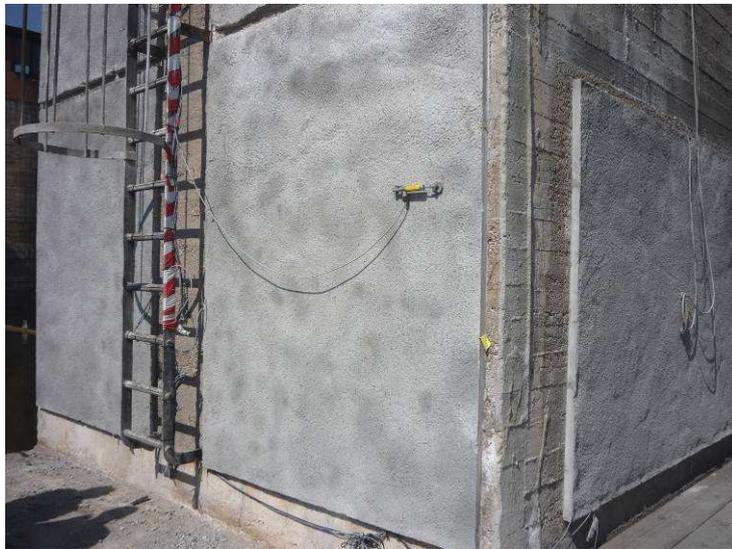


Bild 9: Durchgeführte Probeinstandsetzung nach dem ersten Winter (aus /Orlowsky 2011/)

Bild 10 zeigt exemplarisch einen Ausschnitt aus den am Bauwerk ermittelten DMS-Daten. Dargestellt sind die Daten von Sensoren, die sich unterhalb der ersten (inneren) Textillage, also in der ersten Spritzmörtelschicht in einem Abstand von rund 10 mm vom Altbeton, befinden. Ein DMS befand sich im ungerissenen Bereich. Dieser DMS zeigt keine wesentlichen

Dehnungen während des betrachteten Zeitraums zur Jahreswende 2010/2011. Die DMS in Fläche 2 und 5, die sich oberhalb eines Risse befinden, weisen hingegen am 26.12.2010 maximale Dehnungen von rund 1,5 mm/m auf. Die Temperatur hat zu diesem Zeitpunkt ihren Minimalwert von -7 °C erreicht. Der nachfolgende Temperaturanstieg stimmt mit dem Rückgang der Dehnungen überein.

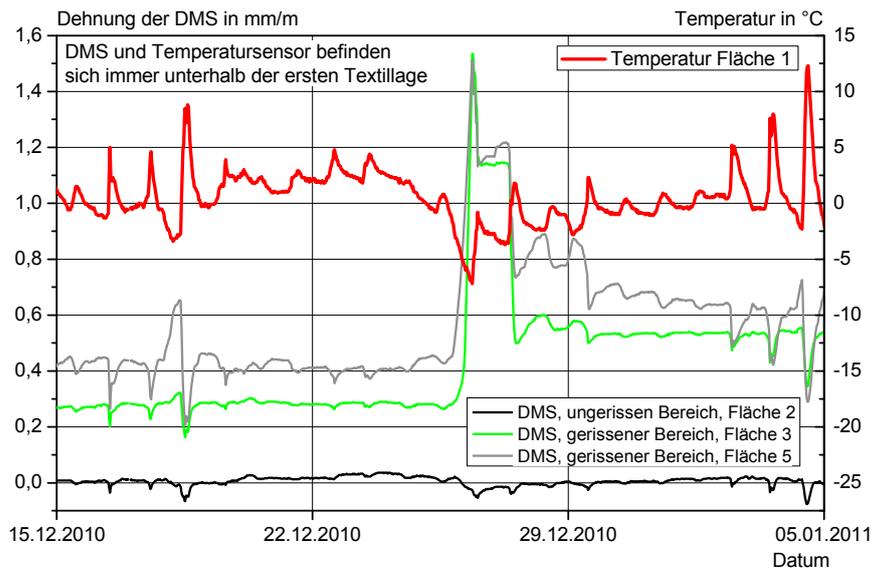


Bild 10: Dehnungen der DMS unterhalb der ersten Textillage zur Jahreswende 2010/2011 (aus /Orlowsky 2011/)

Zusammenfassend kann ausgesagt werden, dass die Applizierbarkeit textilbewehrter Spritzmörtelschichten unter Baustellenbedingungen an einem Bauwerk erfolgreich aufgezeigt werden konnte. Risse im Spritzmörtel waren bei einer visuellen Begutachtung etwa 6 Monate nach der Applikation noch nicht zu detektieren. Die DMS zeigen jedoch die Bewegung einiger Altbetonrisse infolge Temperaturschwankungen. Die Begutachtung der Probeflächen und die Erfassung und Auswertung der Messdaten sollen auch nach Beendigung des FuE-Vorhabens fortgeführt werden.

5 Zusammenfassende Bewertung, Ausblick

5.1 Zusammenfassende Bewertung

Im Rahmen des FuE-Vorhabens „Textilbewehrte Vorsatzschalen“ der BAW, welches im Auftrag der BAW im Wesentlichen durch das Institut für Bauforschung (ibac) der RWTH Aachen realisiert worden ist, sollte die grundsätzliche Eignung von Textilbewehrung im Ver-

bund mit Spritzmörtel/Spritzbeton gemäß ZTV-W LB 219, Abschnitt 5, für die Instandsetzung von Verkehrswasserbauwerken untersucht werden.

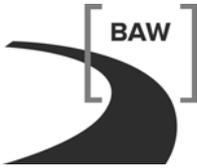
Hierzu wurden im Rahmen einer Studie zunächst wesentliche Eigenschaften sowie das grundsätzliche Potential von Textilien als Bewehrung in Mörtel bzw. Beton für die Instandsetzung von Verkehrswasserbauwerken aufgezeigt.

In einem zweiten Schritt wurde im Rahmen von Laboruntersuchungen gezeigt, dass Spritzmörtel gemäß ZTV-W LB 219, Abschnitt 5, in einer Schichtstärke von etwa 30 bis 40 mm problemlos mit Textilien bewehrt werden können. Im Altbeton vorhandene Einzelrisse bzw. die Rissbreitenänderungen dieser Einzelrisse können mittels Textilbewehrung auf Basis von AR-Glas oder Carbon in mehrere feinere Risse im applizierten Instandsetzungsmörtel/-beton überführt werden. Die maximale Rissbreitenänderung des Einzelrisses im Altbeton infolge Temperatureinwirkung wurde in den Laboruntersuchungen pessimal zu etwa 0,6 mm (zyklische Veränderung der Rissbreite zwischen 0,1 und 0,7 mm) gewählt.

Die Applizierbarkeit textilbewehrter Spritzmörtelschichten unter Baustellenbedingungen konnte bei der Anlage von Probeflächen am Neckarwehr Horkheim erfolgreich aufgezeigt werden. Die insgesamt acht unterschiedlich ausgebildeten bzw. orientierten Probeflächen wurden mit Messaufnehmern zur Erfassung von Bauteiltemperatur, Rissbreitenänderungen und Dehnungen im Instandsetzungssystem ausgestattet. Nach bislang zweijähriger Beobachtung konnten visuell noch keine Auffälligkeiten oder Risse an diesen frei bewitterten, nicht direkt mit Wasser beaufschlagten Flächen diagnostiziert werden. Die Rissbreitenänderungen im Altbeton haben sich während der Beobachtungszeit allerdings lediglich im Bereich von maximal etwa 0,25 mm bewegt. Als maximale Dehnungen im Spritzmörtel oberhalb von Rissen im Altbeton in Höhe der 1. Spritzlage unter der Textilbewehrung wurden im Beobachtungszeitraum 7,2 mm/m gemessen. Die Beobachtung der Probeflächen soll über das Ende des FuE-Vorhabens hinaus fortgesetzt werden.

5.2 Ausblick

Das im Rahmen des FuE-Vorhabens nachgewiesene Vermögen von Textilbewehrung, Bewegungen von Einzelrisse im Altbeton auf mehrere Risse im Instandsetzungsmörtel zu überführen, ist nur ein Baustein im Hinblick auf eine Eignung textilbewehrter Spritzmörtel/Spritzbetone für die Instandsetzung massiger, geringerfester und gerissener Bauteile von Verkehrswasserbauwerken. In der Praxis wird sich die günstige Konstellation im Bereich der Probeflächen am Wehr Horkheim (vollflächig ausreichender Adhäsionsverbund, kein Durchtritt von Wasser durch das Bauteil hindurch an die Rückseite der Instandsetzungsflächen, keine Ausbildung von Spaltwasserdruck) keineswegs immer einstellen. In einem nächsten Schritt sind deshalb geeignete Verankerungssysteme für textilbewehrte Spritzmörtelschich-



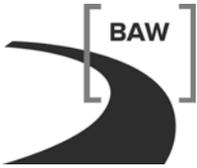
ten zu konzipieren. Für das Gesamtsystem sind geeignete Bemessungsansätze zu erstellen, die es dem sachkundigen Planer derartiger Instandsetzungsmaßnahmen ermöglichen, Textilbewehrung und Verankerung in Abhängigkeit bestimmter Bauwerksgegebenheiten (u.a. Größenordnung eines etwaigen Spaltwasserdrucks) zu konzipieren. Zu prüfen ist weiterhin, inwieweit neben Spritzmörtel/Spritzbetonen auch in Schalung eingebrachte Mörtel oder Betone in Verbindung mit Textilbewehrung Anwendung finden können. Ziel sollte es sein, der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung geeignete, ausschreibungsreife Lösungen für bestimmte Randbedingungen (freibewittert/Wasserwechselbereich; mit/ohne Spaltwasserdruckansatz etc.) zur Verfügung zu stellen. Anwendungsgebiet für derartige Instandsetzungslösungen dürften insbesondere die alten Wehranlagen an Main, Neckar, Weser etc. und hier insbesondere die Wehrpfeiler sein.

Bundesanstalt für Wasserbau

Karlsruhe, den 27. Dezember 2012

Im Auftrag

Westendarp, Dipl.-Ing.



6 Literatur

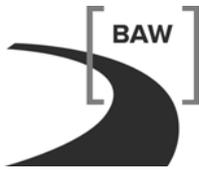
Merkblatt DWA-M 506: Injektionen mit hydraulischen Bindmitteln in Wasserbauwerken aus Mass beton. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Januar 2006.

Orlowsky, J.; Raupach, M.; Westendarp, A.; Öztürk, T.: Textilbewehrte Spritzmörtel zur Instandsetzung von Wasserbauwerken. In: Beton 61 (2011), Nr. 12, S. 486-490.

Orlowsky, J.; Raupach, M.; Westendarp, A.: Textilbewehrte Spritzmörtelschichten zur Instandsetzung von Wasserbauwerken. In: Restoration of Buildings and Monuments. Vol. 17, No 3/4, 2011, S. 181-189.

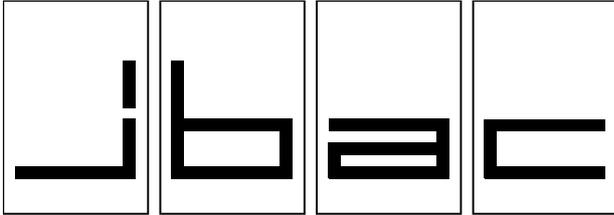
ZTV-W LB 219: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV W) für Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken (Leistungsbereich 219). Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).

Weitere Literatur siehe Literaturverzeichnisse in Anlagen 1 bis 3.

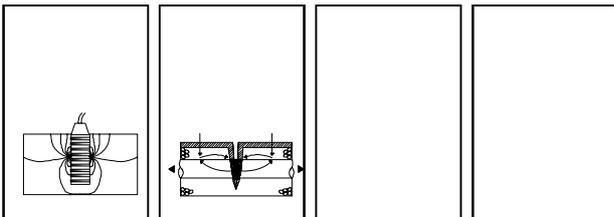
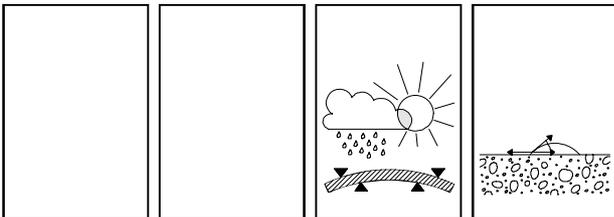
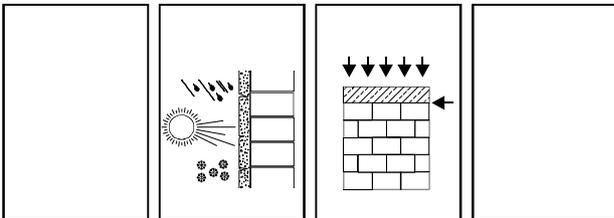
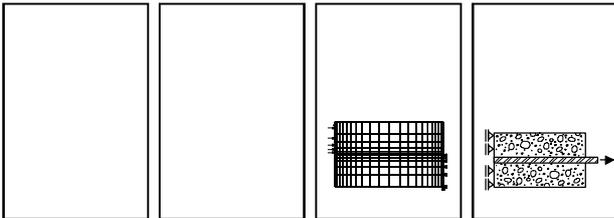


Anlage 1:

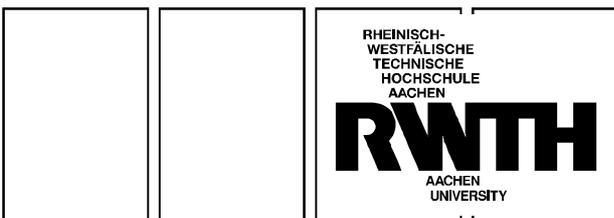
Forschungsbericht Nr. F 7052 des Institutes für Bauforschung (ibac) der RWTH Aachen:
Studie über potentielle, Grenzen und offene Fragen beim Einsatz von Textilbetonen zur In-
standsetzung von Wasserbauwerken



INSTITUT FÜR BAUFORSCHUNG AACHEN



FORSCHUNG · ENTWICKLUNG
 ÜBERWACHUNG
 PRÜFUNG · BERATUNG



Forschungsbericht F 7052

Studie über Potentiale, Grenzen und offene Fragen beim Einsatz von Textilbetonen zur Instandsetzung von Wasserbauwerken

OJ/Fk/Sc

3. Ausfertigung

THEMA

Studie über Potentiale, Grenzen und offene
Fragen beim Einsatz von Textilbetonen zur
Instandsetzung von Wasserbauwerken

ABSCHLUSSBERICHT

Forschungsbericht Nr.

F 7052
vom 29.06.2007

Projektbearbeitung

Prof. Dr.-Ing. M. Raupach

Dr.-Ing. J. Orlowsky

Dipl.-Ing. T. Büttner

**Auftraggeber/
Förderer**

Bundesanstalt für Wasserbau
Postfach 21 02 53
76152 Karlsruhe

**Auftragsdatum
Aktenzeichen**

15.08.2006

-

Dieser Bericht umfasst 67 Seiten, davon 59 Textseiten.

Soweit Versuchsmaterial nicht verbraucht ist, wird es nach 4 Wochen vernichtet. Eine längere Aufbewahrung bedarf einer schriftlichen Vereinbarung. Die auszugsweise Veröffentlichung dieses Berichtes, seine Verwendung für Werbezwecke sowie die inhaltliche Übernahme in Literaturdatenbanken bedürfen der Genehmigung des ibac.

<u>INHALTSVERZEICHNIS</u>		Seite
1	EINLEITUNG	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Vorgehensweise	2
2	LEISTUNGSFÄHIGKEIT DES TEXTILBETONS.....	3
2.1	Beschreibung des Textilbetons	3
2.2	Materialien	4
2.2.1	Die Bewehrung	4
2.2.1.1	Technische Textilien	4
2.2.1.2	Edelstahlgewebe.....	8
2.2.2	Der Feinbeton	9
2.3	Tragverhalten.....	15
2.4	Dauerhaftigkeit.....	18
2.5	Brandverhalten.....	22
2.6	Verstärkung mit textilbewehrten Lamellen	23
3	ASPEKTE DER INSTANDSETZUNG IM WASSERBAU	24
3.1	Allgemeines	24
3.2	Regelwerksituation.....	25
3.3	Untergründe	27
3.4	Einwirkungen auf das Wasserbauwerk und die Instandsetzungsmaterialien	29
4	NEUE ANSÄTZE ZUR INSTANDSETZUNG VON WASSERBAUWERKEN	32
4.1	Allgemeines	32
4.2	Faserbewehrte, unverankerte Spritzmörtel am Wasserbauwerk.....	32
4.2.1	Allgemeines	32
4.2.2	Ausführungsvarianten	32

	Seite
4.2.2.1	Dünnschichtige faserbewehrte, unverankerte Spritzmörtel..... 32
4.2.2.2	Dünnschichtige faserbewehrte, unverankerte Spritzmörtel mit lokalen Bandagen 33
4.2.3	Materialien 34
4.2.4	Offene Fragen..... 36
4.3	Bandagen als lokale Verstärkung 36
4.3.1	Allgemeines 36
4.3.2	Ausführung 37
4.4	Textilbewehrter Beton am Wasserbauwerk 38
4.4.1	Allgemeines 38
4.4.2	Dünnschichtige textilbewehrte, verankerte Spritzmörtel 38
4.4.2.1	Ausführung 38
4.4.2.2	Materialien 39
4.4.2.3	Spezielle Fragestellungen zu dieser Ausführungsart 42
4.4.3	Textilbewehrte Vorsatzschale 43
4.4.3.1	Ausführung 43
4.4.3.2	Materialien 43
4.4.3.3	Spezielle Fragestellungen zu dieser Ausführungsart 44
4.4.4	Verankerte Vorsatzschale aus textilbewehrtem Beton..... 44
4.5	Erste Ansätze zur Bauteilauslegung 46
5	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK..... 49
5.1	Zusammenfassung 49
5.2	Ausblick – Forschungsbedarf..... 51
5.2.1	Kurzfaserbewehrte, unverankerte Spritzmörtelschichten..... 51
5.2.2	Bandagen als lokale Verstärkung 52
5.2.2.1	Fall a) textile Bandage 52
5.2.2.2	Fall b) textile Bandage mit Vernadelung 53
5.2.3	Dünnschichtige, textilbewehrte und verankerte Schichten..... 54
5.2.3.1	Vorgehensweise bei der Entwicklung dünnwandiger textilbewehrter Spritzmörtelschichten für Wasserbauwerke 54

	Seite
5.2.3.2 Vorgehensweise bei der Entwicklung textildbewehrter Vorsatzschalen mit elastischer Lagerung für Wasserbauwerke	55
5.2.3.3 Vorgehensweise bei der Entwicklung einer Vorsatzschale aus Ortbeton für Wasserbauwerke	55
6 LITERATUR	56
TABELLEN	A1
BILDER	B1-B3

1 EINLEITUNG

1.1 Problemstellung

Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) an über 140 Bauwerken bzw. Bauteilen, die vorwiegend in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts erstellt worden waren, ergaben, dass 23 % der Betone eine Druckfestigkeit zwischen 10 und 20 N/mm² und eine mittlere Abreißfestigkeit zwischen 0,8 und 1,1 N/mm² aufweisen /MAU04/. Bei 35 % der untersuchten Bauwerke bzw. Bauteile lag die Druckfestigkeit zwischen 20 und 30 N/mm², während die mittlere Abreißfestigkeit etwa 1,2 bis 1,4 N/mm² betrug /MAU04/. Diese Bauwerke machen aufgrund oberflächennaher Schäden häufig eine Instandsetzung, aber keinen Ersatzbau erforderlich.

Im Geschäftsbereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) werden Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen an Betonbauteilen von Wasserbauwerken seit 1997 auf Basis der ZTV-W LB 219 /ZTV219/ geplant und ausgeführt. Im Jahr 2004 erschien die überarbeitete Fassung der ZTV-W LB 219 /ZTV219/.

Ist eine flächige Instandsetzung notwendig, so kann entsprechend ZTV-W LB 219 (2004) für die Altbetonklassen A1 bis A4 Beton, Spritzbeton und Spritzmörtel verwendet werden. Beton und Spritzbeton sind in einer Dicke ≥ 90 mm bewehrt und mit dem Untergrund verankert herzustellen. Die Vergrößerung des Bauteilvolumens, insbesondere der Bauteildicke, bzw. der hohe Herstellungsaufwand sprechen häufig gegen dieses Vorgehen. Für Bauteile mit den Altbetonklassen A2 bis A4 können auch unbewehrte und nicht verankerte Spritzmörtel bzw. Spritzbetonschichten in einer Dicke von 20 bis 60 mm eingesetzt werden, die hinsichtlich ihrer Festigkeits- und Verformungseigenschaften den entsprechenden Altbetonen angepasst sind. Insbesondere für die Altbetonklassen A2 und A3 bietet der Markt derzeit nur wenige geeignete Systeme an. Treten Rissbewegungen im Untergrund auf, so sind die unbewehrten Spritzmörtelschichten nur einsetzbar, wenn das Durchschlagen von Rissen in die Instandsetzungsschicht akzeptiert werden kann. Die Anordnung konventioneller Verankerung und Bewehrung ist bei diesen Schichtdicken wegen der im Hinblick auf den Korrosionsschutz der Bewehrung unzureichenden Betondeckung im Regelfall nicht möglich. Hieraus resultiert der Bedarf nach alternativen Verfahren zur flächigen Instandsetzung von Wasserbauwerken.

1.2 Zielsetzung

Eine zukünftige Alternative bieten Textilbetone, da diese dünn-schichtig und bewehrt ausgeführt werden können. Textilbetone können sowohl als Fertigteile als auch als bewehrte Spritzmörtel eingesetzt werden. Diese Studie soll zunächst die Potentiale, Grenzen und offenen Fragen beim Einsatz von Textilbetonen zur Instandsetzung von Wasserbauwerken darstellen. Dabei liegt ein Hauptaugenmerk auf dünn-schichtigen, bewehrten Spritzmörtel-schichten. Folgende Anforderungen werden an dünn-schichtige, bewehrte Spritzmörtel-schichten gestellt.

Aus dem Untergrund resultierende Anforderungen:

- Verteilen von Rissen aus dem Untergrund (vor allem horizontale Risse, die an Arbeits-fugen entstehen).
- Überbrückung von Ortbeton schlechter Qualität und inhomogener Bereiche.
- Verhindern bzw. Berücksichtigung erhöhten Wassergehaltes im Altbeton mit dem Ziel, Ablösungen/Abplatzungen bei Frost zu vermeiden.
- Standhalten bei Spaltwasserdruck nach partieller Ablösung der Instandsetzungsschicht.
- Guter Verbund mit 2 Gruppen von Untergründen: 1. A2-, A3-Untergrund, 2. A4-Untergrund nach ZTV-W LB 219.

Aus der Umwelt resultierende Anforderungen:

- Minimierung des Eindringens von Wasser und Chloriden.
- Widerstandsfähigkeit gegenüber Reib-, Scher- und Stoßkräften.

Materialspezifische Anforderungen:

- Schichtdicke bis 60 mm, aber so dünn wie möglich.
- Geringes Schwindmaß und/oder geringer E-Modul (siehe BAW-Merkblatt Spritzmörtel).

1.3 Vorgehensweise

Zunächst sollen im Rahmen dieser Studie die Materialien des Textilbetons und deren Zusammenwirken erläutert werden, um daraus die Stärken und Schwächen des neuen Werkstoffes abzuleiten. Darauf aufbauend werden denkbare Einsatzbereiche für Textilbetone im Wasserbau aufgezeigt. In einem weiteren Kapitel der Studie werden mögliche Ausführ-

rungsvarianten dünnschichtiger, textilbewehrter Spritzmörtel und textilbewehrter Vorsatzschalen besprochen. Die voraussichtlichen Beanspruchungen von Spritzmörtelschichten in Wasserbauwerken und die daraus resultierenden Anforderungen an die Instandsetzungsmaterialien werden erarbeitet. Es wird aufgezeigt, welche Materialien für dieses Aufgabengebiet geeignet sind, und anhand von Berechnungen mittels Finiten Elementen werden erste Abschätzungen zur Bauteilgeometrie getroffen. Abschließend erfolgt eine Zusammenfassung der offenen Fragestellungen.

2 LEISTUNGSFÄHIGKEIT DES TEXTILBETONS

2.1 Beschreibung des Textilbetons

Beim textilbewehrten Beton werden die auftretenden Zugspannungen von den in der Zugzone einbetonierten technischen Textilien abgetragen. Die Textilien bestehen vor allem aus Glas, können aber auch aus Carbon oder Aramid hergestellt sein. Anders als beim Stahlbeton gibt es keine Mindestbetonüberdeckung der Bewehrung von mehreren Zentimetern, die beim Stahlbeton zur Vermeidung von Stahlkorrosion unbedingt erforderlich ist. Zusammengefasst ermöglicht dieser neue Baustoff die Erschließung innovativer und anspruchsvoller Anwendungsfelder, wie zum Beispiel filigrane Bogentragwerke aus Textilbeton /HEG04/, da folgende Bauteileigenschaften erstmalig mittels Beton realisierbar werden:

- Dünnwandige Bauteile mit einer Dicke ab 5 mm.
- Beliebige, auch komplexe Bauteilgeometrien durch leicht verformbare bzw. dreidimensional herstellbare technische Textilien.
- Geringe Bauteilgewichte bei hoher Tragfähigkeit.

Seit einigen Jahren wird insbesondere in Deutschland konzentriert an der Entwicklung dieses neuen Verbundwerkstoffes gearbeitet. Im Rahmen zweier von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderter Sonderforschungsbereiche (SFB 528 und SFB 532) wird die Verwendung technischer Textilien im Bauwesen forciert /CUR03/. Dabei liegt das Hauptaugenmerk des SFB 532 an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen auf der Entwicklung dieses neuen, innovativen Verbundwerkstoffes – dem textilbewehrten Beton –, während an der Technischen Universität in Dresden (SFB 528) in erster Linie die Verwendung technischer Textilien für die Verstärkung von Stahlbetontragwerken sowie Holzbauanteilen mittels textilbewehrter Betonlamellen untersucht wird. Parallel zu den beiden Sonderforschungsbereichen gibt es weitere Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet /CUR03/, unter anderem zur Vorspannung der textilen Bewehrung im Beton /KRÜ03/.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Materialien des Textilbetons in ihrer Vielfalt und den jeweiligen charakteristischen Eigenschaften beschrieben. Nachfolgend erfolgt die Darstellung grundlegender Bemessungsansätze für textilbewehrte Betone. Ausgewählte Aspekte wie Dauerhaftigkeit und Brandverhalten textilbewehrter Betone werden in den Abschnitten 2.4 und 2.5 ausgeführt. Die Biege- und Querkraftverstärkung von Balken mit textilbewehrten Lamellen wird in Kapitel 2.6 dargestellt.

2.2 Materialien

2.2.1 Die Bewehrung

2.2.1.1 Technische Textilien

Technische Textilien werden aus durchgehenden Glas-, Carbon-, Aramid- oder Polymerrovings hergestellt. Der Begriff Roving steht für Multifilamentgarne mit über 500 parallel angeordneten Filamenten, deren Durchmesser zwischen 12 und 30 μm liegen (Bild 1, links). Zur Herstellung technischer Textilien werden diese Rovings zu Geweben, Geflech-ten oder Gelegen verarbeitet. Bild B1 im Anhang stellt die drei Varianten in Bildern gegen-über. Zusätzlich stehen Vliese (Wirrfasermatten), bei denen Filamente statistisch verteilt flächig abgelegt und mit einem Bindemittel verklebt werden, zur Verfügung. Zur Bewehrung von Textilbetonen werden hauptsächlich Gelege, entsprechend Bild 1, rechts, verwen-det. Zur Herstellung von Gelegen werden die Rovings in verschiedenen Richtungen über-einander gelegt und mit Wirkfäden untereinander verbunden. Gelege weisen den Vorteil auf, dass bei Belastung keine zusätzlichen Dehnungen infolge Welligkeiten (siehe Ge-webe, Bild A1) im Textil auftreten.

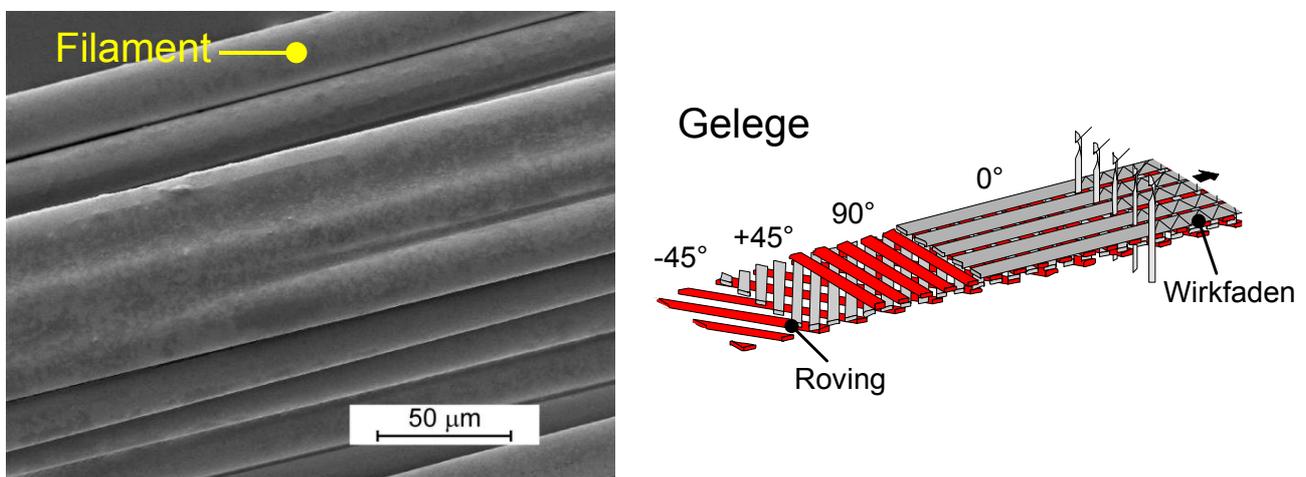


Bild 1: Aufbau eines Rovings (links) und eines Geleges (rechts)

Zurzeit werden überwiegend AR-Glasrovings der Firma SAINT GOBAIN VETROTEX mit 2400 tex (1 tex = 1 g/km) verwendet. Alkali-resistente (AR) Gläser weisen im Vergleich zu herkömmlichen E-Gläsern zusätzliche Stabilisatoren (Zirkoniumdioxid) auf, die das Glas gegenüber dem alkalischen Milieu des Betons beständiger machen. Dennoch wird das AR-Glas durch die Alkalien des Betons angegriffen und ein langfristiger Festigkeitsverlust infolge Korrosion ist bei der Bemessung zu berücksichtigen (siehe Abschnitt 2.4). Die verwendeten 2400 tex Rovings bestehen aus ca. 1560 Filamenten mit einem Durchmesser von etwa 27 µm. Des Weiteren werden Textilien aus Carbon und Aramid hergestellt. Diese Materialien weisen im Vergleich zu AR-Glas eine höhere Filamentzugfestigkeit auf. Zusätzlich ist der E-Modul der Carbonfilamente etwa 3-mal höher als der E-Modul der AR-Glasfilamente (siehe Tabelle 1). Carbon und Aramid sind jedoch teurer und zurzeit nur in begrenzten Mengen am Markt erhältlich. Der E-Modul von Rovings aus Polypropylen und Polyethylen ist für die Einsatzzwecke des Textilbetons üblicherweise zu gering. HDPE-Filamente weisen zwar einen ausreichend hohen E-Modul auf, aber die maximale Gebrauchstemperatur von HDPE- und PP-Filamenten erlauben nur begrenzte Einsatzmöglichkeiten. In Tabelle 1 sind die unterschiedlichen Materialien vergleichend gegenübergestellt.

Tabelle 1: Gegenüberstellung unterschiedlicher Filamentarten für Rovings
Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen

Filamentart	Dichte	Zugfestigkeit	E-Modul	Bruchdehnung	Maximale Einsatztemperatur	Preis/kg (ca. Angaben)
-	g/cm ³	N/mm ²		%	°C	€
1	2	3	4	5	6	7
AR-Glas	2,5-2,8	1700	72000	2,4	~500	4,50
Carbon	1,7-1,9	4000	240000	1,5	>650	15,00
Aramid	~1,4	3500	78000	4,4	250	30,00
HDPE	~1	3400	~100000	3,8	70	80,00
PP	~1	-	~6000	-	80	0,80

Die in Tabelle 1 aufgeführte Filamentzugfestigkeit kann jedoch nicht auf die Zugfestigkeit von Rovings bzw. Textilien übertragen werden. Aufgrund der nicht vollständig parallelen Lage der etwa 800 bzw. 1560 Filamente in einem Roving (310 bzw. 2400 tex), werden in einem Zugversuch nicht alle Filamente gleichzeitig belastet (siehe Bild 2). Es kommt zu einem sukzessiven Versagen bei dem die Querschnittsfläche über der Zeit veränderlich ist /Bra02/. Aufgrund der im Zugversuch stark variierenden belasteten Querschnittsfläche der

einzelnen Rovings weisen die ermittelten Festigkeiten insbesondere mit zunehmender Filamentanzahl (steigender Titer, d. h. steigende Tex-Zahl) große Streuungen auf. Die Festigkeit von 2400 tex Rovings liegt aus diesen Gründen unterhalb der Festigkeit von 310 tex Rovings.



Bild 2: Filamentverteilung in einem Roving mit 2400 tex /Bra02/

Tabelle 2 beinhaltet die Gegenüberstellung von fünf im SFB 532 eingesetzten Textilien aus AR-Glas, Carbon und Aramid. Die freie Länge des Textils betrug 125 mm und die Prüfgeschwindigkeit wurde zu 1 mm/min gewählt. Zur Ermittlung der Festigkeit wurde die Bruchlast aus 10 Einzelversuchen gemittelt und durch die nominelle Querschnittsfläche des Rovings (Titer/Rohdichte) dividiert. Aramidtextilien weisen zwar mit Abstand die höchste Zugfestigkeit auf, jedoch ist das Ausgangsmaterial nur in geringen Mengen am Markt erhältlich. Im Rahmen der Sonderforschungsbereiche SFB 528 und 532 werden somit hauptsächlich Gelege aus AR-Glas sowie Carbon hergestellt und verwendet. Im Wesentlichen werden eindimensionale Textilien mit 2400 tex Rovings, die in Richtung der Hauptbelastung gelegt sind, verwendet. Das Bündeln mehrerer 310 tex Rovings pro 0°-Richtung (MAG 01-03) erhöht die Materialschädigung während des Herstellungsprozesses, womit die Zugfestigkeit des Textils im Vergleich zu 2400 tex-Textilien (MAG 07-03) in 0°-Richtung sinkt. Die Zugfestigkeit eines 310 tex Rovings (MAG 01-03, 90°) ist jedoch verglichen mit einem 2400 tex Roving höher, da wie bereits erläutert die Ausnutzung der Filamentzugfestigkeit von 1700 N/mm² (Tabelle 1) verbessert wird. Das Textil 2D-02-06 ist ein Kompromiss hinsichtlich großer Querschnittsfläche der Bewehrung und kleinem Titer.

Tabelle 2: Beispiele für im Textilbeton einsetzbare 2-D-Textilien
Angaben vom Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen

SFB 532 Bezeichnung	Bild	Quer- schnitts- fläche ¹⁾	Bewehrung		Gitterabstand		Zugfestigkeit		E-Modul	
			0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°
-	-	mm ² /m	tex:g/km		mm		N/mm ²			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
AR-Glas MAG 07-03	B2	107/107	2400	2400	8	8	970	550	51330	52420
Carbon MAG 04-03	B2	107/107	1600	1600	8	8	1100	1500	-	-
Aramid MAG 09-03	B3	30/30	167	167	4	4	2990	2160	-	-
AR-Glas MAG 01-03	B3	116/15	4x310	310	4	8	610	860	-	-
AR-Glas MAG 2D-02-06	B4	72/56	2x1200	1200	12,5	8,4	1030	-	-	-

1) in 0°-/90°-Richtung

Die Zugfestigkeit und damit die Effektivität der Textilien kann durch eine Tränkung mit Polymeren erhöht werden. Aus diesem Grund wird im Rahmen beider SFB's die Eignung unterschiedlicher Polymersysteme zur Textiltränkung untersucht. Im SFB 528 werden überwiegend Polymerdispersionen verwendet, während im SFB 532 zusätzlich verstärkt Epoxidharzsysteme zum Einsatz kommen. Eine Erhöhung der Rovingzugfestigkeit kann entsprechend Bild 3 mit beiden Ansätzen erreicht werden. Bild B5 verdeutlicht, dass die Maschenweite durch die Tränkung nicht wesentlich reduziert wird. Weitere Vorteile der Tränkung sind die höhere Verschiebefestigkeit und die Reduzierung der Wasseraufnahme der Textilien. Der Einfluss der getränkten Textilien auf das Bauteilverhalten wird in den nachfolgenden Abschnitten dargestellt.

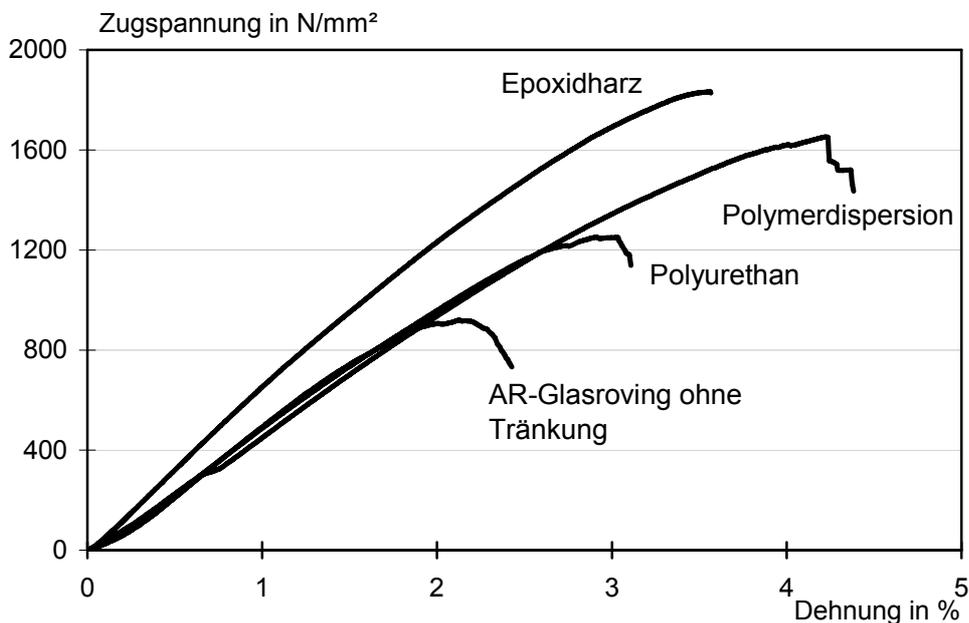


Bild 3: Spannungs-Dehnungslinie von getränkten 1200 tex AR-Glasrovings /Wal04/

Die in Tabelle 2 beschriebenen Textilien können anhand von Polfäden in definierten Abständen angeordnet werden. In Bild 4 sind exemplarisch zwei sogenannte Abstandstextilien dargestellt. Die Deckschichten können aus beliebigen 2-D-Textilien hergestellt werden. Anhand der Menge und Art der Polfäden zwischen den Deckschichten ist die Steifigkeit des 3-D-Textils variabel einstellbar.

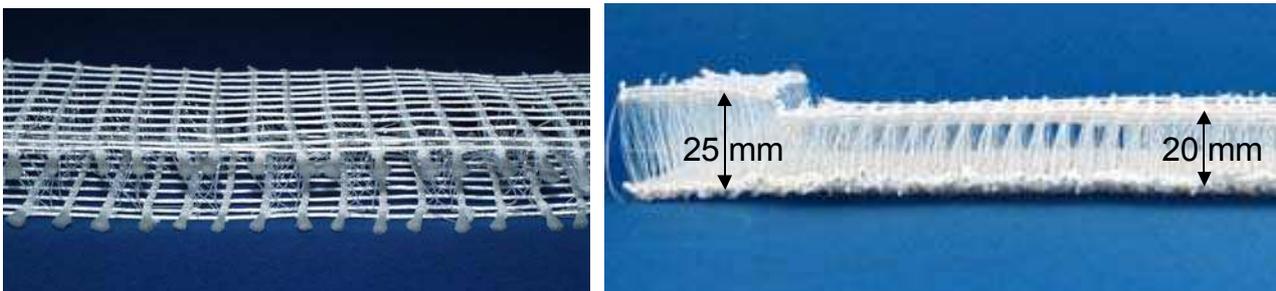


Bild 4: Abstandstextilien

2.2.1.2 Edelstahlgewebe

Eine Alternative zu den bisher eingesetzten technischen Textilien aus Multifilamentgarnen stellen Textilien aus bzw. mit Edelstahl dar. Bild 5 zeigt ein Edelstahlgewebe bestehend

aus Edelstahlseilen die über- und unterhalb von Edelstahlstäben (Schussstäbe) verlegt sind (Gewebe, nicht Gelege). Je höher die Anzahl an Schussstäben ist, desto größer ist die Welligkeit und dementsprechend hoch sind die Verformungen unter Belastung. Hier ist ein Optimum zwischen Stabilität des Gewebes und geringer Anfangsverformung zu finden, um ein Versagen des Edelstahls im Beton zu erreichen. Bild 5, rechts, verdeutlicht ein Verbundversagen infolge zu großer Verformungen des Edelstahls.

Zurzeit werden unterschiedliche Varianten von Edelstahldrähten als Bewehrung von Textilbetonen untersucht. Jedoch liegen noch keine Ergebnisse zur Veröffentlichung vor.

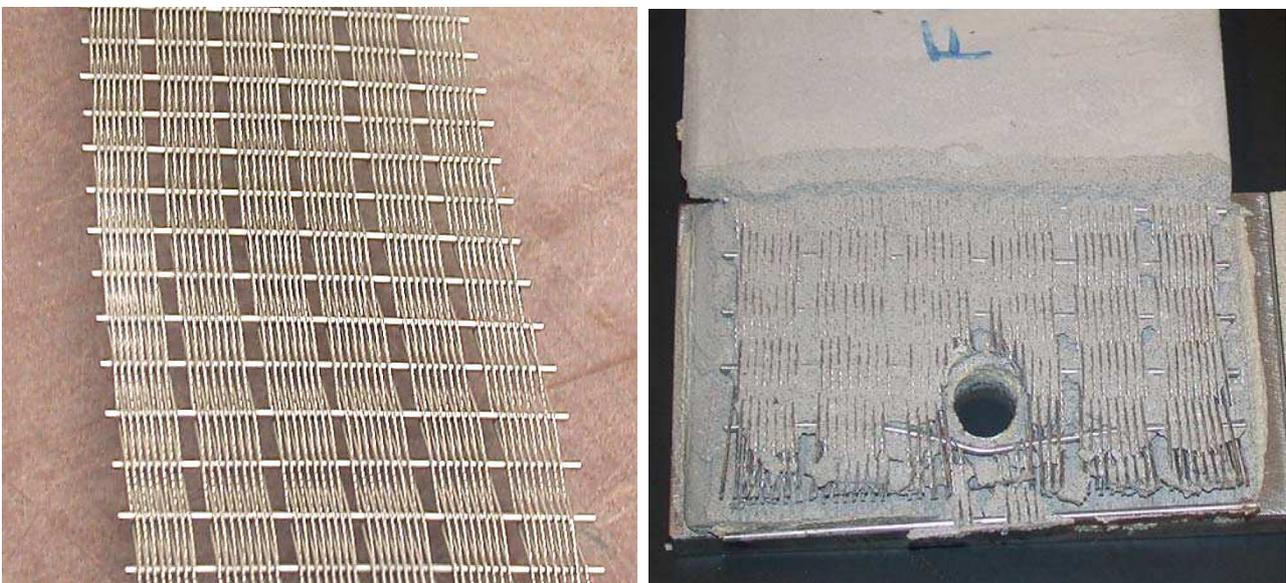


Bild 5: Beispiel eines Edelstahlgewebes zur Bewehrung von Beton

2.2.2 Der Feinbeton

Entsprechend der Produktionsprozesse werden unterschiedliche Anforderungen an die Matrix des Textilbetons gestellt. Zur Produktion textilbewehrter Bauteile in einem Fertigteilwerk in serieller Fertigung erfolgt häufig ein Vergießen bzw. Injizieren der Matrix. Dementsprechend ist eine hohe Fließfähigkeit und gute Durchdringung des Textils gefordert. Wird das Textilbetonbauteil hingegen in Schichten (Matrix/Textil/Matrix etc.) hergestellt (laminieren), so kann das Fließvermögen reduziert werden. In jedem Fall ist jedoch eine gute Durchdringung des Textils für eine optimale Anbindung der Bewehrung an die Matrix erforderlich. Entsprechend der Offenmaschigkeit der Textilien ist hierzu das Größtkorn des Zuschlags zu begrenzen, übliche Werte liegen zwischen 0,5 und 1,0 mm.

Bei einem Größtkorn < 4 mm wird in der Norm /DIN18551/ der Begriff Mörtel benutzt. Da es sich beim textilbewehrten Beton jedoch um einen neuen Verbundwerkstoff mit, im Vergleich zum herkömmlichen Mörtel, vollkommen anderen Eigenschaften handelt, wird im Rahmen dieser Arbeit die Bezeichnung Feinbeton verwendet.

Unter Berücksichtigung der geforderten hohen Fließfähigkeit und ausreichender Festigkeit wurden im Rahmen der Sonderforschungsbereiche SFB 528 und SFB 532 im Wesentlichen die in Tabelle 3 dargestellten Mischungen entwickelt /BRA06/. Die Mischungen zeichnen sich durch einen hohen Bindemittelgehalt und einer geringen Korngröße aus. Durch die Zugabe von Flugasche und Silicastaub wurde der pH-Wert der Porenlösungen auf die in Tabelle 7 dargestellten Werte gesenkt.

Tabelle 3: Mischungszusammensetzungen Teil 1; Auszüge aus /BRA06/

Materialien	Einheit	PZ-0899-01	FA-1200-01	RP-03-2E	R2-17	Alphadur®	MF-02-101
		SFB 532	SFB 532	SFB 532	SFB 528	SFB 532	SFB 532
1	2	3	4	5	6	7	8
Zementgehalt z	kg/m ³	490	210	980	619	k. A.	441
Zementart	–	CEM I 52,5	CEM I 52,5	CEM I 52,5	CEM III/B 32,5	k. A.	CEM I 52,5
Fertigmischung	kg/m ³	–				2400 ¹⁾	–
Flugasche f		175	455	210	261	–	210
Silicastaub s		35	35	210	49	–	–
Metakaolin m		–					49
Bindemittel b (c+f+s+m)		700	700	1400	979	2400	700
Fließmittel	M.-% bzg. Bin- demittel	1,5	0,9	2,5	k. A.	0,6	2,0
Quarzmehl 0 – 0,125 mm	kg/m ³	500	470	118	927	–	500
Quarzsand 0,2 – 0,6 mm		715	670	168	–	–	715
Wasser		280	280	350	309	228	280
w/z	–	0,57	1,33	0,36	0,50	k. A.	0,63
w/b = w / (c+f+s)	–	0,40	0,40	0,25	0,32	0,10	0,40

1) basierend auf Hochofenzement
k. A. keine Angabe

Zusätzlich wurden alternative Feinbetone entwickelt bzw. untersucht (Tabelle 4). Zur Reduzierung der Wasseraufnahme des Feinbetons erfolgte die Zugabe einer Polymerdispersion mit 20 M.-% bzg. auf das Bindemittel. Der Einsatz von Calcium-Aluminat-Zementen bedingt eine Reduzierung des pH-Wertes auf 12,7 und eine hohe Anfangsfestigkeit. Aller-

dings treten bei diesen Calcium-Aluminat-Zementen langfristig Festigkeitsverluste auf. Desweiteren ist aufgrund der erforderlichen Dosiergenauigkeit und dem aufwendigen Mischverfahren die Handhabung schwierig. An der Freien Universität in Brüssel (VUB) wurde ein anorganischer Posphat-Zement (IPC) entwickelt, welcher sich durch einen pH-Wert von 8 im erhärteten Zustand auszeichnet. Diese IPC-Mischung benötigt eine Erhärtungsphase bei 60 °C und weist u. a. aufgrund fehlender Zuschläge ein hohes Schwindmaß (Tabelle 6) auf. Zurzeit wird an der VUB an einer IPC-Mischung mit Zuschlägen gearbeitet. Als weitere Mischung wurde ein Feinbeton (DP-0101-01) auf Basis einer Fertigmischung, die für die Herstellung zugelassener Glasfaserbetonprodukte verwendet wird, untersucht. Die Fertigmischung DP-0101-01 weist aufgrund sehr hoher Anteile an puzzolanischen Zusatzstoffen zwar niedrige pH-Werte (pH-Wert = 11,6), aber auch eine steife Konsistenz auf. Die schlechtere Verarbeitbarkeit und hohe Schwindwerte sind wesentliche Nachteile dieser Mischung. Der zusätzliche Einsatz von AR-Glas-Kurzfasern bedingt die Überbrückung von Betonmikrorissen, wodurch scheinbar die Erstrisslast des Betons erhöht wird. Im Rahmen weiterer Forschungsprojekte zum textilbewehrten Beton wird zurzeit am Institut für Bauforschung ein Spritzbeton mit AR-Glas-Kurzfasern für textilbewehrte Betone entwickelt (Tabelle 3a). Dieser textilbewehrte Spritzbeton soll zur nachträglichen Abdichtung von Kellern, an denen aufgrund von Tagebauarbeiten drückendes Grundwasser anstehen wird, dienen /ICT06/, /BRA07/.

Tabelle 3a: Mischungszusammensetzung der Spritzbetonmischung /BRA07/

Material	Einheit	Spritzbetonmischung
CEM I 42,5 R HS (z)	kg/m ³	520
Flugasche (f)		200
Silicastaub (s)		100
Quarzgesteinskörnung 0-0,6 mm		991
Fließmittel		0,66
Kurzfasern (AR-Glas)	M.-% vom Bindemittel	1,5
Methylzellulose	Vol.-%	0,05
w/z	M.-% vom Feststoff	0,61
w/b = w / (c+0,4 f + s)	-	0,45

Tabelle 4: Mischungszusammensetzungen Teil 2; Auszüge aus /BRA06/

Materialien	Einheit	PZ-PM-20	IPC	CAC	DP-01-01-01	RP-03-23AR
		SFB 532	VUB	SFB 532	–	SFB 532
1	2	3	4	5	6	7
Zementgehalt z	kg/m ³	430	Calcium Silikat Pulver und Phosphat- Säure (Gew.- Verhältnis 1:1,25)	700	600	980
Zementart	–	CEM I 52,5		CAC 42,5	CEM III/B 42,5	CEM I 52,5
Fertigmischung	kg/m ³	–		–	300 ¹⁾	–
Flugasche f		154		–	–	210
Silicastaub s		31		–	–	210
Bindemittel (z+f+s+m)		615		700	900	1400
Fließmittel		0,75		1,0 ²⁾	2,0 ²⁾	2,5
Polymer	% bzg. auf das Bin- demittel	20 ³⁾		–	–	–
Stabiliser	–	0,25		–	–	
AR-Glas- Kurzfasern	–	–		–	–	3,0
Quarzmehl 0 – 0,125 mm	kg/m ³	438		520	–	101
Quarzsand 0,2 – 0,6 mm		626		740	864	145
Wasser		245		280	346	350
w/z	–	0,57		0,40	0,58	0,36
w/b = w / (z+f+s)	–	0,40	0,40	0,40	0,25	

1) by Durapact®

2) Pulverform

3) Chemische Basis: Methylmethacrylatbutylcopolymer, Mindestfilmbildetemperatur 14 °C

k. A. keine Angabe

Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die Druck- und Biegezugfestigkeit der zuvor beschriebenen Feinbetone. Die Feinbetone wiesen nach 28 Tagen Druckfestigkeiten zwischen 32 und 98 N/mm² auf, wobei aufgrund der bisherigen Zielsetzung die Anzahl der höher festen Betone überwiegt. Eine Reduzierung der Druckfestigkeit ist jedoch realisierbar. Der Feinbeton mit AR-Glas-Kurzfasern weist mit rund 19 N/mm² nach 28 Tagen neben der Alphas-Mischung die höchste Biegezugfestigkeit auf.

Tabelle 5: Druck- und Biegezugfestigkeit von Feinbetonen; Auszüge aus /BRA06/

Feinbeton	Lagerung	Alter des Feinbetons				
		2	7	28	90	360
–	–	d				
1	2	3	4	5	6	7
Druckfestigkeit in N/mm ²						
PZ-0899-01	Verpackt, 20 °C	33	48	74	89	92
FA-1200-01		10	15	32	46	–
RP-03-2E		53	75	98	108	112
R2-17	20 °C, 65 % r. F.	–	–	68	75	–
Alphadur®	Wasser, 20 °C	–	84	90	117	–
MF-02-101		31	54	66	74	88
PZ-PM-20	¹⁾	15	22	35	42	49
CAC	Wasser, 20 °C	56	83	96	96	82
DP-0101-01		15	48	63	89	89
IPC		39	52	68	80	–
RP-03-3AR	Verpackt, 20 °C	52	74	94	94	99
Biegezugfestigkeit in N/mm ²						
PZ-0899-01	Verpackt, 20 °C	5,6	6,1	7,6	8,1	8,4
FA-1200-01		2,7	3,7	5,1	6,7	–
RP-03-2E		4,8	7,2	8,1	9,4	9,3
R2-17	20 °C, 65 % r. F.	–	–	5,1	5,3	–
Alphadur®	Wasser, 20 °C	–	20,1	21,0	21,9	–
MF-02-101		5,4	8,1	9,2	9,7	9,3
PZ-PM-20	¹⁾	4,1	5,6	10,9	12,8	13,9
CAC	Wasser 20 °C	8,6	11,7	11,9	10,7	9,3
DP-0101-01		3,8	6,4	6,9	11,5	12,8
IPC		6,5	7,5	8,1	10,5	–
RP-03-3AR	Verpackt, 20 °C	17,2	17,8	19,4	18,1	18,7

1) 2 d 23 °C, 95 % relativer Luftfeuchte, dann 5 d Wasserlagerung (20 °C), dann 23 °C, 95 % relativer Luftfeuchte
k. A. keine Angaben

Der E-Modul sowie das Schwind- und Karbonatisierungsverhalten der Feinbetone ist in Tabelle 6 dargestellt. Die IPC weist mit 18 kN/mm² zwar den geringsten E-Modul auf, die Schwindwerte sind jedoch mit rund 1,30 mm/m relativ hoch. Die höchsten Schwindwerte mit 2,45 mm/m im Jahr weist die am Markt erhältliche Durapact-Mischung auf.

Tabelle 6: E-Modul, Schwinden, Karbonatisierung von Feinbetonen; Auszüge aus /BRA06/

Feinbeton	Lagerung	Alter des Feinbetons					
		2	7	28	90	360	
–	–	d					
1	2	3	4	5	6	7	
Statischer E-Modul in N/mm ²							
PZ-0899-01	Verpackt, 20 °C	–	–		33000	–	
FA-1200-01					24800		
RP-03-2E					26500		
R2-17	18600						
IPC	Verpackt, 20 °C	–		–	–	18000	
RP-03-3AR				21200	–		
Schwinden in mm/m							
PZ-0899-01	20 °C, 65 % RH	0,20	0,54	0,81	0,98	1,01	
FA-1200-01		0,17	0,48	0,56	0,60	–	
RP-03-2E		0,60	1,22	1,47	1,73	2,04	
Alphadur®		0,23	0,35	0,50	0,63	0,70	
MF-02-101		0,16	0,49	0,60	0,63	0,65	
PZ-PM-20		–	0,10	0,50	0,82	0,99	
CAC		0,48	0,83	0,95	1,01	1,08	
DP-0101-01		0,75	1,75	2,00	2,32	2,45	
IPC		0,16	0,55	1,00	1,24	1,29	
RP-03-3AR		0,66	1,21	1,40	1,53	1,63	
Karbonatisierungstiefe in mm							
PZ-0899-01	20 °C, 65 % RH	0,7	1,1	1,9	2,5	3,8	
FA-1200-01		0,9	2,8	6,1	8,3	–	
RP-03-2E		–	0,6	0,8	0,9	1,4	
Alphadur®		0,2	0,8	1,0	1,1	1,0	
MF-02-101		0,8	1,4	2,2	3,7	6,0	
PZ-PM-20		–					
CAC		–	0,8	1,7	2,0	3,3	
DP-0101-01		0,5	1,4	3,3	4,5	8,6	
IPC		Mischung kann nicht karbonatisieren					
RP-03-3AR		–	0,3	1,0	1,4	–	

Die Zusammensetzung von aus den Mischungen ausgepressten Porenlösungen ist in Tabelle 7 dargestellt. Zur Verringerung der AR-Glaskorrosion im Beton sind möglichst neu-

trale pH-Werte in der Porenlösung anzustreben. Dies wird durch die IPC-Mischung realisiert. Die Durapact-Mischung weist mit 11,6 ebenfalls einen relativ geringen pH-Wert auf.

Tabelle 7: Zusammensetzung der ausgepressten Porenlösungen nach /BRA06/

Mischung	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	OH ⁻	pH-Wert
-	mmol/l						-
1	2	3	4	5	6	7	8
PZ-0899-01	64	138	1	13	< 0,7	194	13,5
FA-1200-01	42	107	1	1	0,7	136	13,3
RP-03-2E	Aufgrund des geringen w/b-Wertes konnte keine Porenlösung ausgepresst werden						
Alphadur®	70	41	27	29	33	11	12,2
MF-02-101	77	122	1	3	0,5	191	13,1
DP-0101-01	42	23	9	24	2,7	-	11,6
CAC	31	32	0,2	0,5	0,4	56	12,7
IPC	4	1	1	2	1,2	0	8,2

2.3 Tragverhalten

Das Tragverhalten des Verbundwerkstoffes Textilbeton wird im Rahmen des SFB 532 der RWTH Aachen detailliert untersucht. Die Beurteilung unterschiedlichster Materialkombinationen erfolgt überwiegend anhand von Zug- und Biegezugversuchen auf Basis derer einfache Bemessungsgrundsätze abgeleitet werden.

Bild 6 zeigt links den Aufbau der Proben für Zugversuche und rechts zwei exemplarische Last-Dehnungskurven. Das Last-Dehnungs-Diagramm beinhaltet einen Versuch mit Carbonbewehrung (MAG 04-03) und Feinbeton PZ-0899-01 sowie einen Versuch mit AR-Glasbewehrung und Feinbeton PZ-0899-01 (MAG 07-03) (Tabellen 2 und 3). Die Proben waren jeweils zweilagig bewehrt. Der höhere E-Modul der Carbonbewehrung bedingt ein wesentlich steiferes Materialverhalten verglichen mit der Probe mit AR-Glasbewehrung. Ebenso bedingt die höhere Carbonfilamentzugfestigkeit bei gleichem Bewehrungsgrad eine etwa 1,7-fach höhere Traglast bezogen auf die Probe AR-Glasbewehrung.

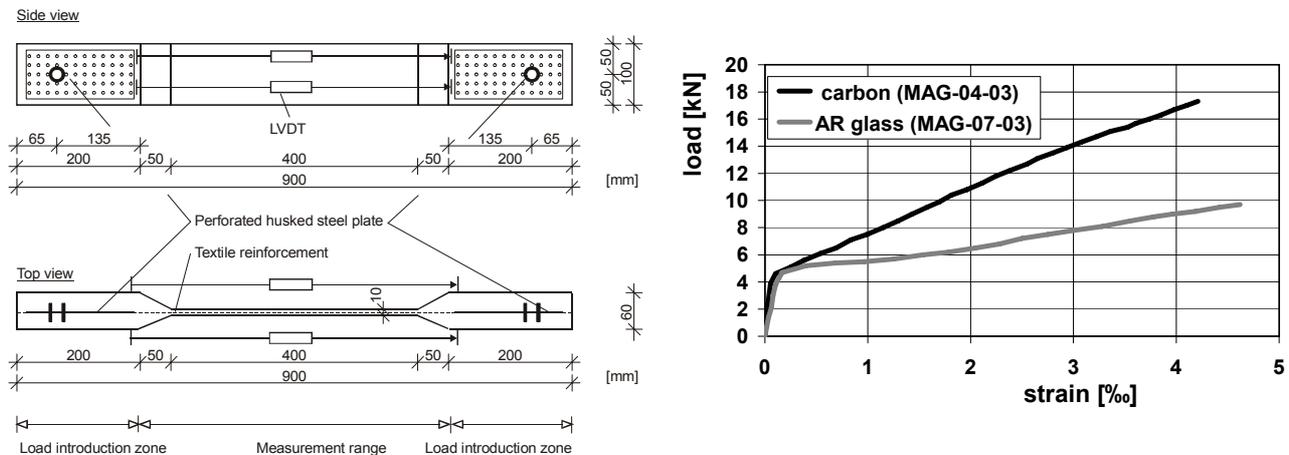


Bild 6: Kraft-Verformungskurven von Dehnkörperversuchen aus Photogrammetriedaten /ICT06/, /VOS05/

Aufgrund des Aufbaus eines Rovings aus einer Vielzahl von Filamenten ist die maximale Zugtragfähigkeit eines Rovings geringer als die theoretisch mögliche Tragfähigkeit, die sich aus der Summe der Zugfestigkeit der einzelnen Filamente berechnet (siehe Gleichung (1)) /Rau06/.

$$\sigma_{\max, \text{Roving}} \ll n_{\text{Filamente}} \times \sigma_{\max, \text{Filament}} \quad (1)$$

Um diesem Sachverhalt Rechnung zu tragen, muss – abhängig von dem gewählten Bewehrungsmaterial – ein Ausnutzungsgrad berechnet werden /Vos05/.

$$k_1 = \frac{\sigma_{\max}}{f_1} \quad (2)$$

mit:

σ_{\max} rechnerische Bruchspannung
 f_1 gemessene Zugfestigkeiten

Für die Materialien AR-Glas mit Feinbeton PZ-0899-01 beträgt der Ausnutzungsgrad etwa 0,40, für Carbon mit Feinbeton PZ-0899-01 etwa 0,69.

Neben der Ausnutzung der Bewehrung ist ein weiterer wesentlicher Aspekt die Orientierung der Bewehrung zu der Hauptkraftrichtung. Die Hauptursachen für die Abnahme der Tragfähigkeit textiler Bewehrung aufgrund eines zunehmenden Winkels zwischen Hauptkraftrichtung und Bewehrungsachse sind wie folgt /VOS05/:

- Die transversale Beanspruchung sowie die Biegung der Fasern an den Risskanten führen zu einer Schädigung des Fasermaterials.
- Die inneren Filamente liegen nicht exakt in Kraftrichtung, was zu einer Inhomogenisierung des Spannungsniveaus von äußeren Filamenten (Filamente, die mit dem Beton in Kontakt stehen) und inneren Filamenten (Filamente die keinen direkten Kontakt zu der Betonmatrix haben) führt.

Die Umlenkung der Filamente und die dadurch auftretenden Querpressungen führen allerdings auch zu einer Verbesserung der Verbundeigenschaften, insbesondere der inneren Filamente.

Eine analytische Bestimmung des Einflusses der oben genannten Aspekte ist Bestandteil aktueller Forschung. Um diesen Effekt experimentell zu erfassen, sind Versuche mit unterschiedlichen Winkeln der Bewehrung zu der Hauptkraftrichtung durchgeführt worden. Die Ergebnisse der Versuche sind in Bild 7 dargestellt. Gleichung (3) zeigt den Zusammenhang zwischen der Tragfähigkeit der schiefwinkligen Bewehrung zur axialen Tragfähigkeit.

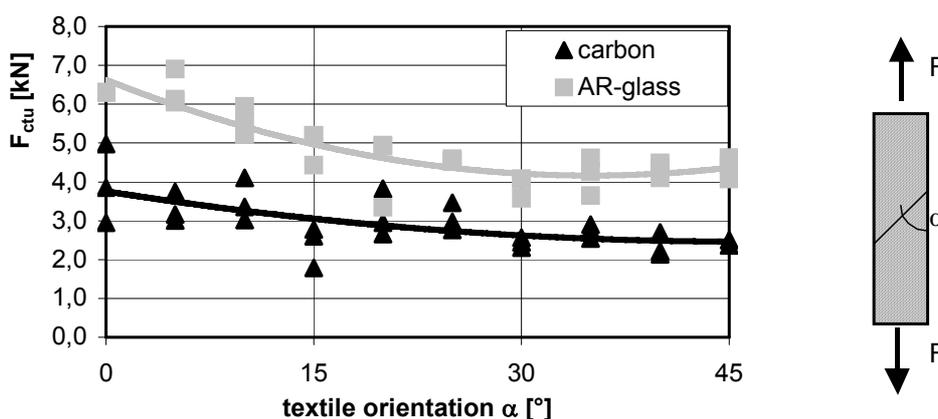


Bild 7: Einfluss der Bewehrungsorientierung auf die Tragfähigkeit des Verbundkörpers /ICT06/, /VOS05/

$$k_{0,\alpha} = \frac{\sigma_{\max,\alpha}}{\sigma_{\max}} \quad (3)$$

Unter Berücksichtigung der experimentellen Ergebnisse kann die Zugtragfähigkeit eines textilbewehrten Elements wie folgt berechnet werden. Zu beachten ist jedoch, dass bei zweiaxialem Zug die maximale Zugtragfähigkeit infolge Rissbildung parallel zu den Rovings abgemindert werden muss.

$$F_{ctu} = k_1 \times k_{0,\alpha} \times A_t \times f_t \quad (4)$$

mit:

F_{ctu}	Zugtragfähigkeit eines textilbewehrten Bauteils [N]
$k_1, k_{0,\alpha}$	Faktoren gemäß Gleichung 2 und Gleichung 3 [-]
A_t	Querschnittsfläche der Textilbewehrung [mm ²]
f_t	Zugfestigkeit der Textilbewehrung [N/mm ²]

2.4 Dauerhaftigkeit

Zahlreiche aktuelle Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des textilbewehrten Betons konzentrieren sich auf die Entwicklung hochfester dünnwandiger Bauteile, bei denen die Zugtragfähigkeit der textilen Bewehrung optimal genutzt werden soll. Für die Bemessung der textilbewehrten Bauteile mit dem Ziel einer maximalen Ausnutzung der textilen Zugfestigkeit ist die Dauerhaftigkeit dieser textilen Bewehrung von wesentlicher Bedeutung. Dabei rückt insbesondere die textile Bewehrung aus AR-Glas in den Focus der Dauerhaftigkeitsbetrachtungen.

Bisher sind drei Dauerhaftigkeitsmodelle /Lit81/, /Pur98/, /Orl05/ bekannt, anhand derer der Festigkeitsverlust von Bauteilen mit AR-Glasfasern bestimmt werden kann. Das empirische Modell von Litherland /Lit81/ basiert ausschließlich auf der Arrhenius-Gleichung. Eine weitergehende Betrachtung der Materialeigenschaften und Schädigungsmechanismen liegt diesem Modell nicht zu Grunde. Das von Purnell et al. erarbeitete „Static fatigue Model“ /Pur98/ beruht auf einem bruchmechanischen Ansatz, bei dem mögliche Ursachen für ein Fehlstellenwachstum lediglich benannt (Alkalität, Spannung und Temperatur) aber in der praktischen Anwendung nicht differenziert berücksichtigt werden. Beiden Modellen liegen somit keine eindeutigen Begründungen für die Festigkeitsverluste von AR-Glasfaserbetonen zugrunde. Als mögliche Mechanismen werden die AR-Glaskorrosion und eine mechanische Schädigung des AR-Glases durch Hydratationsprodukte diskutiert. Darüber hinaus berücksichtigen die Modelle von Litherland und Purnell nicht den Einfluss unter-

schiedlicher Umgebungsfeuchten – beiden Ansätzen liegt eine konstante Wassersättigung des Textilbetons zugrunde. Das Dauerhaftigkeitsmodell von Orlowsky basiert auf den maßgebenden Schädigungsmechanismus (Korrosion des AR-Glas) für den Festigkeitsverlust von AR-Glasbewehrungen im Beton und ermöglicht die Berücksichtigung komplexer Bauteil-Bewitterungen.

Die Untersuchungen von Orlowsky /Orl05/ zeigen, dass eine messbare AR-Glaskorrosion im Beton nur stattfinden kann, wenn:

- der pH-Wert der Porenlösung > 11-12 ist und
- Wasser im Porenraum an der Bewehrung ansteht, eine Wassersättigung ist hierzu nicht notwendig.

Sind diese beiden Bedingungen erfüllt, hängt die Korrosionsgeschwindigkeit im Wesentlichen von der Temperatur und den Materialzusammensetzungen ab.

Der Grad des Festigkeitsverlustes von Textilbetonen mit AR-Glas ergibt sich aus dem Verhältnis der Bruchlasten nicht gealterter Proben, Referenz, zu den Bruchlasten der gealterten Proben (siehe Gleichung (6)).

$$\Delta f_{l,t} = 1 - \frac{f_{l,t}}{f_{l,t=0}} \quad (5)$$

mit:

$\Delta f_{l,t}$ Grad des Festigkeitsverlustes zum Zeitpunkt t
 $f_{l,t}$ Zugfestigkeit des Probekörpers zum Zeitpunkt t

Grundlage des Dauerhaftigkeitsmodells von Orlowsky /Orl05/ ist das Wachsen sowie die Neubildung von Fehlstellen im AR-Glas infolge der Korrosion des AR-Glases im alkalischen Milieu des Betons. Der in Bild 8 dargestellte Kurvenverlauf ergibt sich aus den Gleichungen (7) und (8):

$$\Delta f_{l,t} = 1 - \sqrt{\frac{a_0}{a_0 + X}} \quad (6)$$

$$\text{mit } \left(\frac{X}{k_1} + \frac{X^2}{2k_2} \right) - t = 0 \quad (7)$$

mit:

a_0 Tiefe der Ausgangsfehlstelle [nm]

X Zunahme der Fehlstellentiefe [nm]

k_1 Koeffizient für den durch Lösungsvorgänge bedingten reaktionskontrollierten Anteil [nm/d]

k_2 Koeffizient für den diffusionskontrollierten Anteil der Reaktion [nm²/d]

t Bewitterungszeitraum [d]

Bild 8 ist der zeitabhängige Festigkeitsverlust bei 50 °C Wasserlagerung zu entnehmen. Nach 90 Tagen weisen die Zugproben mit VETROTEX AR-Glas einen Festigkeitsverlust von 50 % auf. Die Beschichtung des AR-Glases mit einem abgestimmten Epoxidharz reduziert den Festigkeitsverlust auf ca. 24 %.

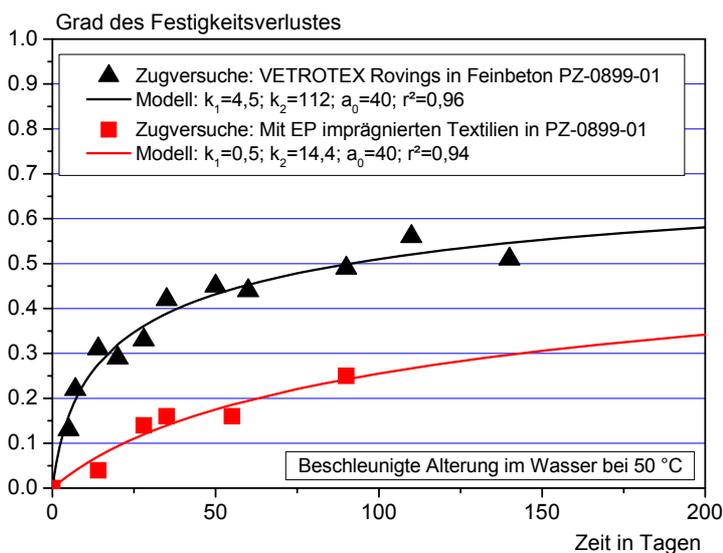


Bild 8: Festigkeitsverlust als Funktion der Zeit, berechnet mit den Gleichungen (7) und (8)

Aus den Untersuchungen im Rahmen des SFB 532 geht hervor, dass die Korrosion des AR-Glases im Beton nur stattfinden kann, wenn Hydroxidionen und Alkalien in der Porenlösung vorliegen, d. h. der Beton feucht bzw. nass ist. Dies wird in der Modellierung anhand eines materialspezifischen Grenzwertes festgelegt.

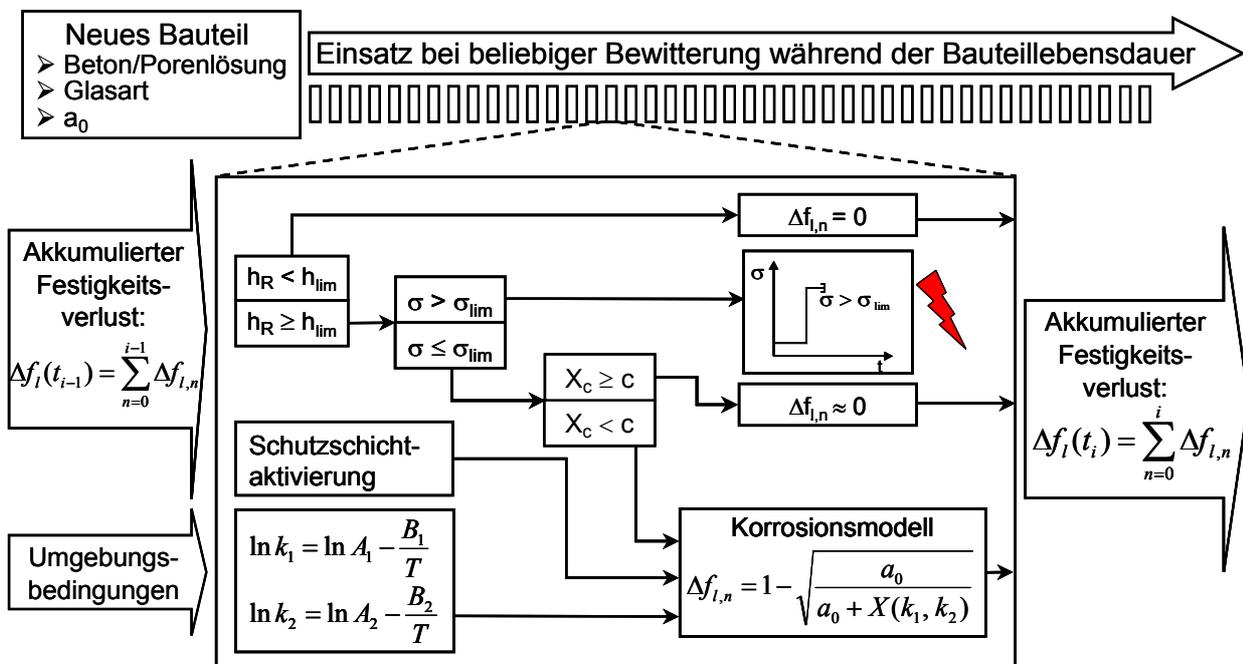
Der Einfluss der Temperatur kann mit Hilfe folgender Gleichungen berücksichtigt werden:

$$k_1 = A_1 e^{(-B_1/T)} \quad \text{and} \quad k_2 = A_2 e^{(-B_2/T)} \quad (8)$$

mit:

- A_{1,2} Konstante
- B_{1,2} Konstante
- T Temperatur

Sind Bauteilfeuchte und Bauteiltemperatur bekannt, kann anhand der vorliegenden Gleichungen und materialspezifischen Modellkoeffizienten mit der in /Orl05/ erläuterten Vorgehensweise der Festigkeitsverlust über die Bauteillebensdauer abgeschätzt werden. Bild 9 verdeutlicht das Vorgehen anhand einer vereinfachten Darstellung.



Parameter: h_R: Betonfeuchtigkeit an der Bewehrung Δf_{l,t}: Grad des Festigkeitsverlustes zur Zeit t
 T: Temperatur k₁, k₂: Koeffizienten der Korrosion
 σ: konstante Belastung A₁, A₂, B₁, B₂: Konstanten
 X_c: Karbonatisierungstiefe a₀: Ausgangsfehlstelle
 c: Betondeckung X: Wachstum der Fehlstelle

Bild 9: Vereinfachte Darstellung der Struktur des Dauerhaftigkeitsmodells

Bild 10 zeigt den anhand des Dauerhaftigkeitsmodells von Orlowsky /Orl05/ ermittelten Festigkeitsverlust eines Textilbetons aus VETROTEX AR-Glas-Textilien und dem Feinbeton PZ-0899-01. Für eine Bauteillebensdauer von 50 Jahren wird für diese Materialkombination ein Festigkeitsverlust von 37 % vorhergesagt. Eine Erhöhung der Bauteiltemperatur um 10 °C bedingt eine deutliche Erhöhung der berechneten Festigkeitsverluste. Vor der

Anwendung des beschriebenen Dauerhaftigkeitsmodells für beliebige Materialkombinationen sind jedoch zahlreiche Untersuchungen erforderlich, um die Koeffizienten der Korrosion (k_1 , k_2), die Ausgangsfehlstelle a_0 , die Konstanten (A1, A2, B1, B2) und die Bauteilfeuchte sowie Bauteiltemperatur in Abhängigkeit von der Witterung zu ermitteln.

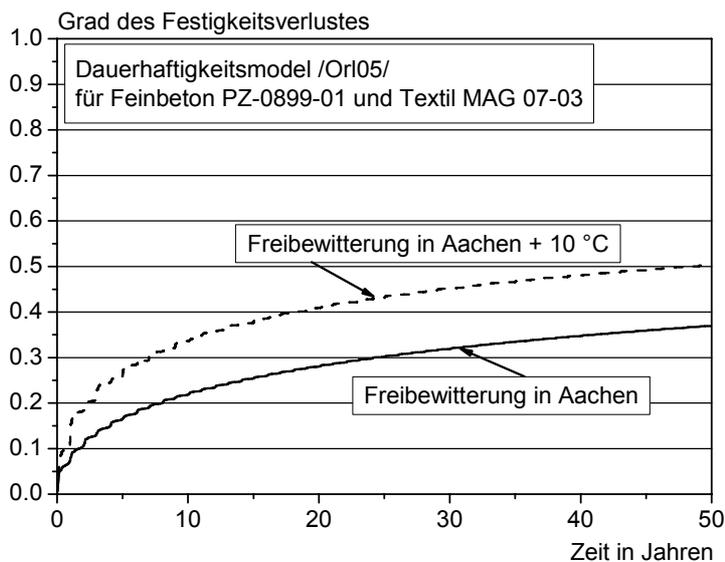


Bild 10: Festigkeitsverlust eines in Aachen freibewitterten textilbewehrten Bauteils und eines Bauteils, das bei einer 10 °C höheren Temperatur in Aachen freibewittert wird

Die Alkalität des Betons hat verglichen mit AR-Glas keinen Einfluss auf den langfristigen Festigkeitsverlust der Materialien Carbon und Aramid. Jedoch sind sowohl Carbon als auch Aramid erheblich empfindlicher gegenüber Querpressungen, was insbesondere bei Spritzbeton zu einer Bewehrungsschädigung infolge des Herstellprozesses führen kann.

2.5 Brandverhalten

Bei textilbewehrten Elementen mit tragender Funktion, ist oftmals ein ausreichender Feuerwiderstand erforderlich. Im Rahmen erster Untersuchungen zum Brandverhalten wurden vier instationäre Brandversuche mit einseitiger Brandbeanspruchung an textilbewehrten Betonprofilen (I-Profile) durchgeführt. Der Einfluss eines Brandfalls wurde im 4-Punkt-Biegeversuch unter konstanter Belastung (1/3 der Bruchlast) an der MPA Stuttgart untersucht.

Anhand der Versuche kann zunächst eine Einordnung nach DIN 4102 in F60 für carbonbewehrte Bauteile und in F30 für die AR-glasbewehrte Bauteile erfolgen /Krü05/.

2.6 Verstärkung mit textilbewehrten Lamellen

Ein weiteres Einsatzgebiet für textilbewehrte Betone ist die lokale Verstärkung bestehender Bauwerke mittels textilbewehrter Betonlamellen. Im Rahmen des SFB 528 werden im Wesentlichen Biegeverstärkungen von Platten und Balken oder Querkraftverstärkungen für Plattenbalken aus Textilbeton untersucht. Das Aufbringen der Verstärkungsschicht erfolgt lagenweise. Beginnend mit einer Feinbetonschicht werden im Wechsel je eine Textil- lage und eine Schicht Feinbeton aufgetragen. Den Abschluss der Verstärkung bildet wiederum eine Feinbetonschicht.

Bild 11 zeigt exemplarisch die Leistungsfähigkeit einer Querkraftverstärkung aus Textilbeton an einem Balken. Der Referenzbalken wurde nur mit Feinbeton verstärkt, während die Verstärkung in den beiden anderen Versuchen zwei bzw. drei Textilien beinhaltete. Mit drei Textilagen lag die Querkrafttragfähigkeit des Balkens über der Biegetragfähigkeit.

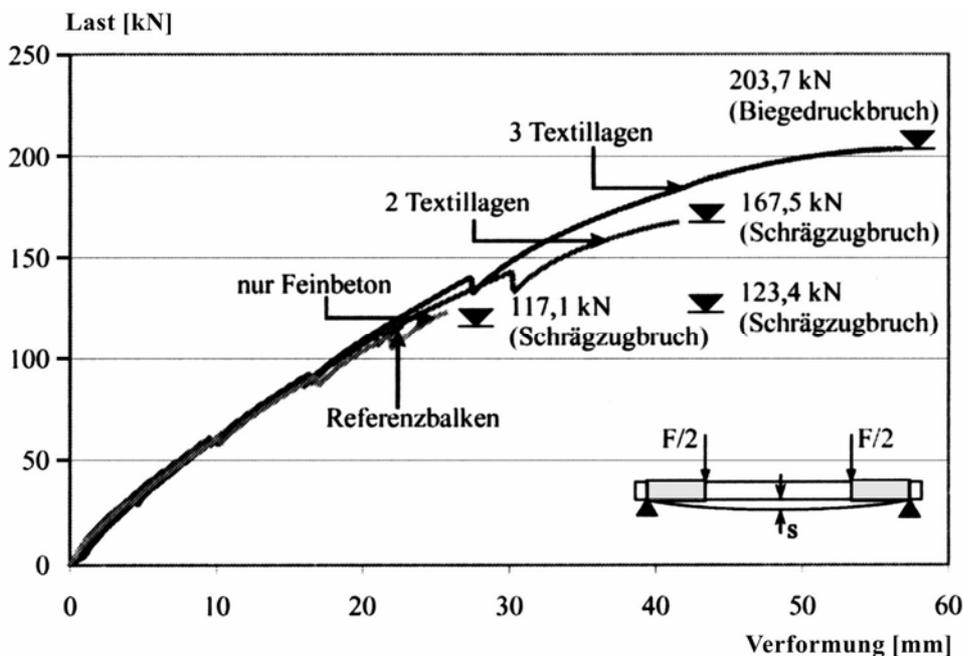


Bild 11: Kraft-Verformungs-Diagramm querkraftverstärkter Balken /Cur03b/

Ziel des SFB 528 ist es, Bemessungsmodelle für diese lokal anwendbare Verstärkungsmethodik zu erarbeiten. Insbesondere die Einleitung der zu verankernden Zugkräfte aus der Verstärkungsschicht in den Beton ist hierfür in Abhängigkeit von der Bauteilgeometrie weitergehend zu untersuchen (Bild 12).

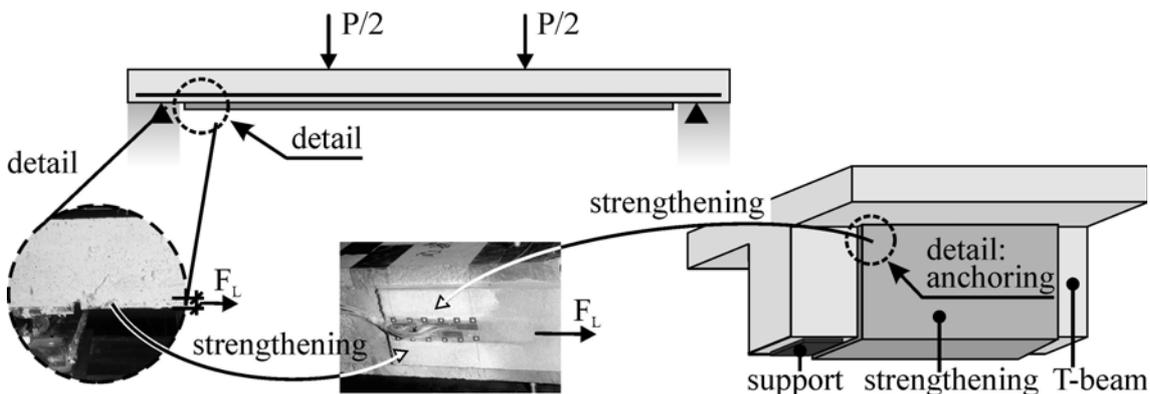


Bild 12: Verankerungsproblem bei Biege- und Schubverstärkung /Cur03a/

Der zielgerichtete Einsatz textilbewehrter Lamellen setzt folgendes voraus:

- Ausreichende Untergrundfestigkeit zur Übertragung der Schubbeanspruchung,
- Beanspruchung in der Lamellenebene und nicht senkrecht zur Lamellenebene und
- unzureichende Biegezug- bzw. Querkraftbewehrung im Stahlbetonbauteil, die durch Lamellen aus Textilbeton ausgeglichen werden soll.

3 ASPEKTE DER INSTANDSETZUNG IM WASSERBAU

3.1 Allgemeines

Die Instandsetzung von Wasserbauwerken unterscheidet sich signifikant von Bauwerken des Hoch- und Ingenieurbaus, da ein Instandsetzungsbedarf im Binnenbereich im Regelfall nicht aus einer Gefährdung des Korrosionsschutzes der Bewehrung, sondern aus der Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit des Betons resultiert /Wes06/. Im Rahmen dieses Kapitels werden wesentliche Aspekte der Instandsetzung von Wasserbauwerken beschrieben.

Hierzu wird zunächst eine kurze Übersicht über die Regelwerksituation gegeben. Anschließend werden die Wasserbauwerke unter dem Aspekt, dass diese bei einer Instand-

setzung als Untergrund dienen, beschreiben. In einem letzten Abschnitt werden die Einwirkungen auf den textilbewehrten Beton am Wasserbauwerk dargestellt.

3.2 Regelwerksituation

Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen an Betonbauteilen von Wasserbauwerken werden im Geschäftsbereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes auf Basis der ZTV-W LB 219 /ZTV219/ geplant und ausgeführt. Die ZTV-W ist Bestandteil des zwischen Auftraggeber und ausführendem Unternehmen zu schließenden Bauvertrags. Im Abschnitt 0 der ZTV werden allgemeine Planungshinweise gegeben, die auch die Besonderheiten bei der Instandsetzung wasserbeaufschlagter Betonbauteile berücksichtigen.

Die ZTV-W LB 219 nimmt Bezug auf weitere Normen und Merkblätter. Die folgende Tabelle 8 gibt einen Überblick über diese Normen und Regelwerke.

Tabelle 8: Neben der ZTV-W LB 219 relevante Normen, Regelwerke und Merkblätter für die Instandsetzung von Wasserbauwerken

Nr.	Norm/Regelwerk	Titel
1	2	3
1	DIN EN 206-1	Beton, Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Stand Juli 2001
2	DIN 18551	Spritzbeton – Anforderungen, Herstellung, Bemessung und Konformität; Stand Januar 2005
3	DIN 1045-1	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Stand Juli 2001
4	DIN 1055	Einwirkungen auf Tragwerke; Normenreihe komplett überarbeitet (2002 – 2006)
5	DIN 19702	Standicherheit von Massivbauwerken im Wasserbau – Stand Oktober 1992 (Berechnung des Spalt- und Porenwasserdrucks gemäß /ZTV-W 215/ bzw. Einführungserlass zur /ZTV-W 215/ vom 22. Dezember 2004 mit angepasstem Berechnungsansatz /BEC06/
6	ZTV-W LB 215	Zusätzlich Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (Leistungsbereich 215); Ausgabe 2004
7	RL-SIB	Deutscher Ausschuss für Stahlbeton; DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Teil 1 bis Teil 4; Ausgabe 2001
8	ZTV-ING	Bundesanstalt für Straßenwesen ; ZTV-ING: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING
9	BAW-Merkblatt	BAW: Rissbreitenbegrenzung für frühen Zwang in massiven Wasserbauwerken
10	BAW-Merkblatt	BAW: Spritzmörtel/Spritzbeton nach ZTV-W LB 219, Abschnitt 5
11	BAW-Merkblatt	BAW: „Chlorideindringwiderstand von Beton“
12	BAW-Merkblatt	BAW: „Frostprüfung von Beton“
13	DAfStb-Richtlinie	Massige Bauteile aus Beton

Aus diesen Normen und Regelwerken resultieren Anforderungen zum einen an den verwendeten Beton bzw. Mörtel, zum anderen an den Bauteilwiderstand gegen äußere und innere Lasten.

3.3 Untergründe

Insbesondere ältere Wasserbauwerke, die einer Instandsetzung bedürfen, weisen oftmals mit Oberflächenzugfestigkeiten unterhalb von $1,5 \text{ N/mm}^2$ geringer feste Betonuntergründe auf. Eine Auswertung von Untersuchungsergebnissen aus Bestandsaufnahmen an älteren Wasserbauwerken (ab Baujahr 1880) zeigt, dass Betonfestigkeiten, Rohdichte und Wasseraufnahme ein breites Spektrum aufweisen /Wes06/. In der ZTV-W LB 219 (2004) werden Altbetonklasse A1 bis A4 definiert, in welche die instandzusetzenden Betonbauteile aufgrund ihrer zum Zeitpunkt der Instandsetzung vorhandenen Druck- bzw. Abreißfestigkeit einzuordnen sind. In Tabelle A1 ist die Einordnung des Altbetons in Altbetonklassen angegeben.

Tabelle 9 beinhaltet die Einteilung und Beschreibung der Betonuntergründe A2, A3 und A4. Bei den Bauwerken mit den Altbetonen A2 bzw. A3 dominiert die Stampfbetonbauweise, in der überwiegend Schwergewichtskonstruktionen ohne bzw. mit geringen Bewehrungsgehalten hergestellt wurden. Die Verarbeitung des Stampfbetons erfolgte Abschnittsweise. An den Abschnittsübergängen (Arbeitsfugen) tritt häufig rückseitig anstehendes Wasser aus, was mit Auswaschungen des Betons verbunden ist. Dies ist beispielhaft in Bild 13 dargestellt. Je nach Porosität und Ausführung des Altbetons können große Teilbereiche eines Wasserbauwerkes aus Altbeton wassergesättigt sein.

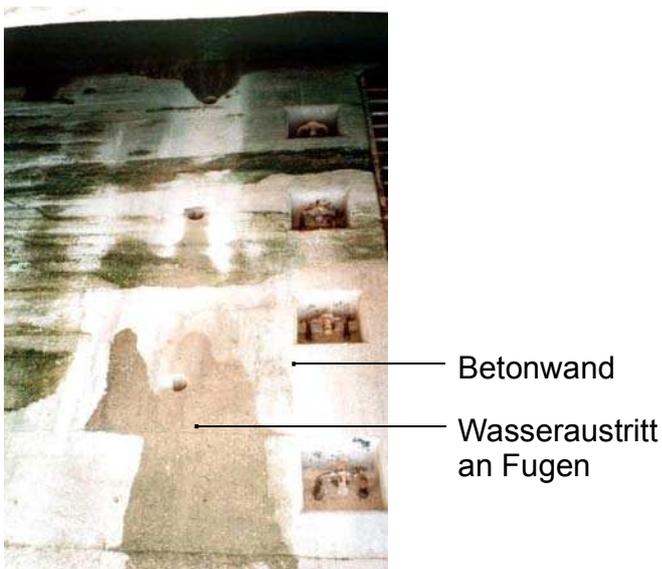


Bild 13: Durchtritt von rückseitig anstehendem Wasser durch die Schleusenmauer /Foto der BAW/

Soweit Messwerte für den statischen E-Modul vorliegen, kann der Altbetonklasse A2 ein Wertebereich von 12000 N/mm² bis 23000 N/mm² und der Altbetonklasse A3 ein Wertebereich von 15000 N/mm² bis 25000 N/mm² zugeordnet werden /Wes06/.

Berichte über Rissbreiten und Rissbewegungen liegen für Wasserbauwerke aus den Altbetonklassen A1 bis A4 nicht vor. Angabegemäß können Risse vorwiegend im Bereich der Arbeitsfugen auftreten. Die Bemessung von Stahlbetonbauwerken im Verkehrswasserbau erlaubt eine maximale rechnerische Rissbreite von 0,25 mm (in Höhe der Bewehrung).

Tabelle 9: Einteilung und Beschreibung der anstehenden Betonuntergründe

Charakteristiken	Einheit	Altbetonklasse A2	Altbetonklasse A3	Altbetonklasse A4 (Stahlbeton DIN EN 206)
1	2	3	4	5
E-Modul (stat.)	kN/mm ²	~12-23	~15-25	~34
Druckfestigkeit ¹⁾	N/mm ²	10-20	20-30	>30
Abreißfestigkeit ¹⁾		≥ 0,5 ³⁾	≥ 0,8 ³⁾	≥ 1,0 ³⁾
Wasseraufnahme ²⁾	M.-%	Bis zu 11	~ 4-7	~ 4-7
Häufig auftretende Schäden bzw. Schwachstellen		<ul style="list-style-type: none"> • Stampfbeton, ungleichmäßige Qualität • Auswaschungen, Kiesnester an der Oberfläche • Wassergesättigte Betone • Feuchtigkeitsdurchtritt an Abschnittsübergängen • Abplatzungen, Risse an Arbeitsfugen 	<ul style="list-style-type: none"> • Lokal mindere feste Betonoberflächen • Feuchtigkeitsdurchtritt • Abplatzungen, Risse an Arbeitsfugen 	<ul style="list-style-type: none"> • Bewehrungskorrosion (Küstenbereich) • Abplatzungen • Risse/Rissbewegungen

1) nach ZTV-W LB 219

2) /Wes06/

3) kleinster Einzelwert

3.4 Einwirkungen auf das Wasserbauwerk und die Instandsetzungsmaterialien

Die Einwirkungen auf Wasserbauwerke sind in Bild 14 zusammenfassend dargestellt.

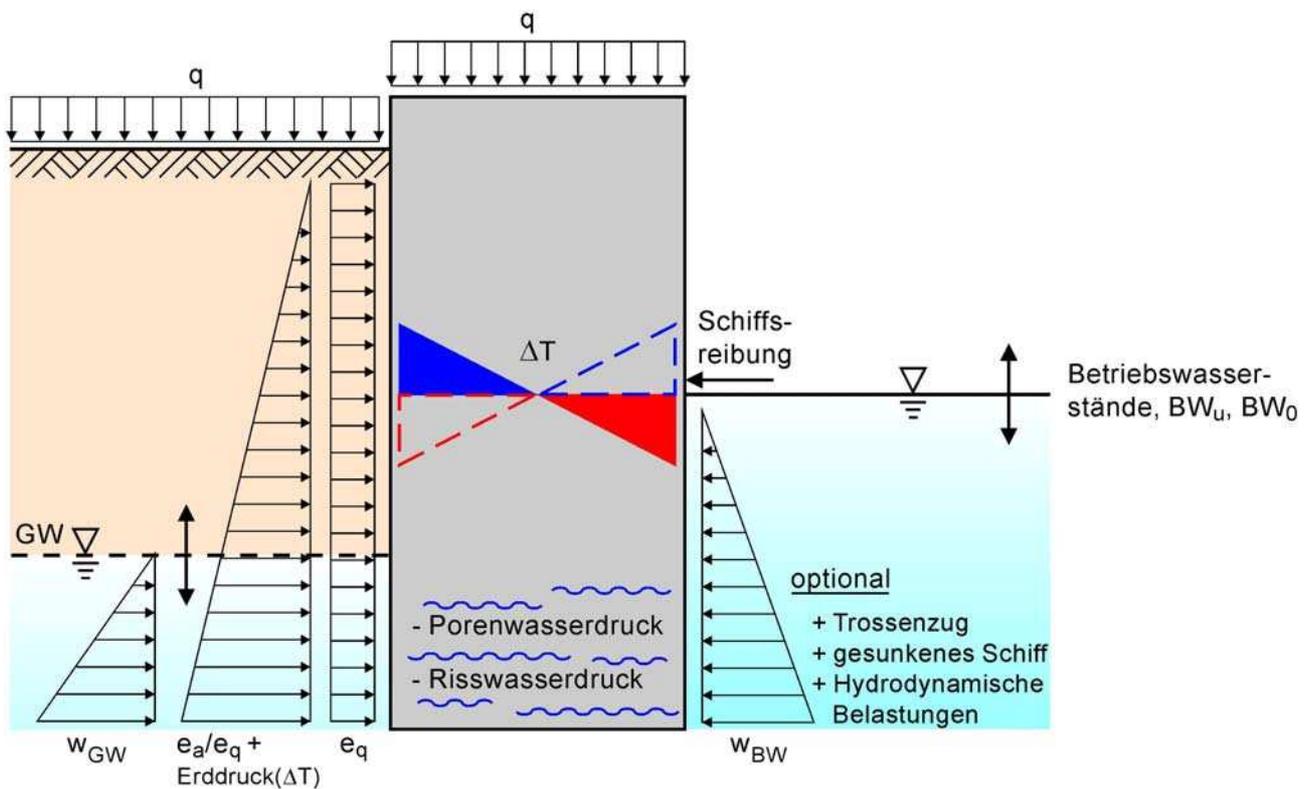


Bild 14: Einwirkungen auf Wasserbauwerke

Die Einwirkungen auf die instanzzusetzenden Bauteile infolge äußerer und innerer Lasten sind in den Normen /DIN 1055/, /DIN 19702/ und der /ZTV-W LB 215/ definiert und werden im Folgenden kurz erläutert. Die Angaben sind sowohl /All06/ als auch /Böd06/ entnommen.

- Eigengewicht der Alt- und Neukonstruktion i. d. R. $\gamma = 25 \text{ kN/m}^2$.
- Verkehrslasten auf Teilen der Konstruktion, wie z. B. auskragenden Plattformen, oder angrenzenden Bauteilen, die die Lasten in die instanzzusetzende Konstruktion abtragen.
- Erddruck auf die Konstruktion sowohl ent- als auch belastend angesetzt.
- Grundwasserdruck – Niedrigster und höchster Grundwasserstand aus den vorherrschenden geologischen Gegebenheiten sowie ein extremer Grundwasserstand, der z. B. bei einer ausfallenden Drainage auftreten kann.

- Betriebswasserstände – auch hier sind meistens zwei Wasserstände zu berücksichtigen – bei Schleusenbauwerken Ober- und Unterwasserstand; bei Meeresbauwerken ergeben sich diese aus dem vorliegenden Tidenhub.
- Da die Einwirkungen von Eis in besonders hohem Maße von örtlichen Gegebenheiten abhängen, sind bei der Planung von Instandsetzungsmaßnahmen an Wasserbauwerken nach Möglichkeit Messungen und Erfahrungen aus der Umgebung der geplanten Maßnahme zu verwenden. Nach Beobachtungen sowohl im Binnenland als auch im Küstenbereich sind bislang keine nennenswerten Beschädigungen von Massivbauwerken durch Eisdruck bekannt /DIN 19702/. Bei der statischen Berechnung der Schleuse Hohenwarte ist allerdings ein Eisdruck von 150 kN/m² angesetzt worden.
- Temperaturbeanspruchung im Sommer und Winter definiert durch die Temperatur des Grundwassers und des anstehenden Wassers bzw. der Luft auf der Luftseite des Bauwerks.
- Schiffsreibung bzw. Schiffsanlegestoß, welcher horizontal auf Höhe der Wasseroberfläche und orthogonal zur Wandoberfläche angesetzt wird. Die Ermittlung der Einwirkung kann z. B. in Anlehnung an die /DIN 1055-9/ oder die /EAU; 1990/ erfolgen.

Herausragende Einwirkungen auf das Instandsetzungsmaterial am Wasserbauwerk sind:

- Dauernde bzw. temporäre Beaufschlagung mit Süß- oder Meerwasser.
- Variierende Betriebswasserzustände.
- Rückseitig im Wasserbauwerk anstehende Wasser.
- Spaltwasserdrücke.
- Eisbildung in der Verbundzone Altbeton/Textilbeton infolge des rückseitig im Wasserbau anstehenden Wassers.
- Rissbewegungen im Untergrund.

Das Instandsetzungsmaterial am Wasserbauwerk muss somit in jedem Fall dauerhaft wasserbeständig sein. Es benötigt einen ausreichenden Frostwiderstand, eine hohe Rissüberbrückungsfähigkeit und sollte diffusionsoffen gegenüber rückseitig anstehendem Wasser sein. Hinzu kommen ein hoher mechanischer Verschleißwiderstand und eine hohe Alterungsbeständigkeit. Angaben zur Berücksichtigung des Hydroabrasionsverschleißes

von Betonoberflächen sind in Heft 511 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton /Har00/ enthalten.

Häufig treten jedoch nicht alle Einwirkungen gleichzeitig auf, wodurch die Anforderungen an das Instandsetzungsmaterial bauteilspezifisch reduziert werden können. Im Folgenden werden in Tabelle 10 drei unterschiedliche Einwirkungskombinationen sowie Randbedingungen dargestellt, für die im anschließenden Abschnitt jeweils eine Instandsetzungsvariante erarbeitet wird. Die Zusammenstellung der Einwirkungskombinationen erfolgte auf Basis von Gesprächen mit der Bundesanstalt für Wasserbau, sie stellt lediglich einen beispielhaften Ausschnitt der vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten dar.

Tabelle 10: Beispielhafte Gruppierung von Randbedingungen und Einwirkungen

Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III
1	2	3
Untergrund		
<ul style="list-style-type: none"> • Altbetonklasse A3/A4 • Abreißfestigkeiten ~ 1-1,5 N/mm² • Lokal begrenzte minder-feste Betonoberflächen • Feine Rissverteilung -> geringe Rissbewegungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Altbetonklasse A2/A3 • Kritische/unzureichende Abreißfestigkeit • Risse, Rissbewegungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Altbetonklasse A1/A2 • Niedriger E-Modul (~< 20 N/mm²) • Unzureichende Abreißfestigkeit • Risse, Rissbewegungen
Einwirkungen		
<ul style="list-style-type: none"> • Kein rückseitig im Wasserbauwerk anstehendes Wasser • Kein Spaltwasserdruck • Frost, aber keine hoher Sättigungsgrade im Altbeton 	<ul style="list-style-type: none"> • Spaltwasserdruck • Rückseitig im Wasserbauwerk anstehendes Wasser • Frost, mit hohem Sättigungsgrad im Altbeton 	<ul style="list-style-type: none"> • Spaltwasserdruck • Rückseitig im Wasserbauwerk anstehendes Wasser • Frost, mit hohem Sättigungsgrad im Altbeton • Kein/geringer Anprall

4 NEUE ANSÄTZE ZUR INSTANDSETZUNG VON WASSERBAUWERKEN

4.1 Allgemeines

Die Planung und Ausführung von Instandsetzungsmaßnahmen an Wasserbauwerken hängt wesentlich vom Bauwerk und den vorliegenden Einwirkungen ab. Die große Vielzahl an Einwirkungen und Betonuntergründen erfordert eine breite Palette an Instandsetzungsvarianten. Auf Basis der in Tabelle 10 dargestellten Gruppen von Randbedingungen und Einwirkungen werden im Folgenden Varianten der Instandsetzung mit faser- bzw. textildbewehrtem Beton im Wasserbau dargestellt. Es werden jeweils einsetzbare Materialien vorgestellt und offene Fragen diskutiert.

4.2 Faserbewehrte, unverankerte Spritzmörtel am Wasserbauwerk

4.2.1 Allgemeines

Bei einer ausreichenden Oberflächenzugfestigkeit des Untergrundes und keiner Belastung senkrecht zum Bauwerk aus dem Untergrund (Gruppe I, Tabelle 10) sowie einer sorgfältigen Verarbeitung kann von einem vollflächigen Verbund zwischen Untergrund und Instandsetzungsmaterial ausgegangen werden. In diesem Fall ist keine Verankerung des Instandsetzungsmaterials im Untergrund notwendig. Treten zudem keine bzw. nur geringe Rissbewegungen im Untergrund auf, so wird die Leistungsfähigkeit einer textilen Bewehrung nicht ausgenutzt. Zur Überbrückung von Mikrorissen im Instandsetzungsmaterial (Spritzmörtel) können Kurzfasern eingesetzt werden.

4.2.2 Ausführungsvarianten

4.2.2.1 Dünnschichtige faserbewehrte, unverankerte Spritzmörtel

Bild 15 zeigt eine schematische Darstellung der Instandsetzung mit dünnschichtigen faserbewehrten Spritzmörteln. Die Ausführung entspricht den Angaben der ZTV-W LB 219 /ZTV219/, Abschnitt 5 „unbewehrte Spritzmörtel“. Zu den in Tabelle 1 des Merkblattes „Spritzmörtel/Spritzbeton nach ZTV-W LB 219, Abschnitt 5“ zusammengefassten Anforderungen wird jedoch zusätzlich eine höhere Zug- und Biegezugfestigkeit der faserbewehrten Spritzmörtel gefordert. Durch die hohe Zugfestigkeit der faserbewehrten Spritzmörtel kann der Einsatzbereich um gerissene Betonuntergründe erweitert werden (s. ZTV-W LB 219, Abschnitt 0.2, Sonderlösungen).

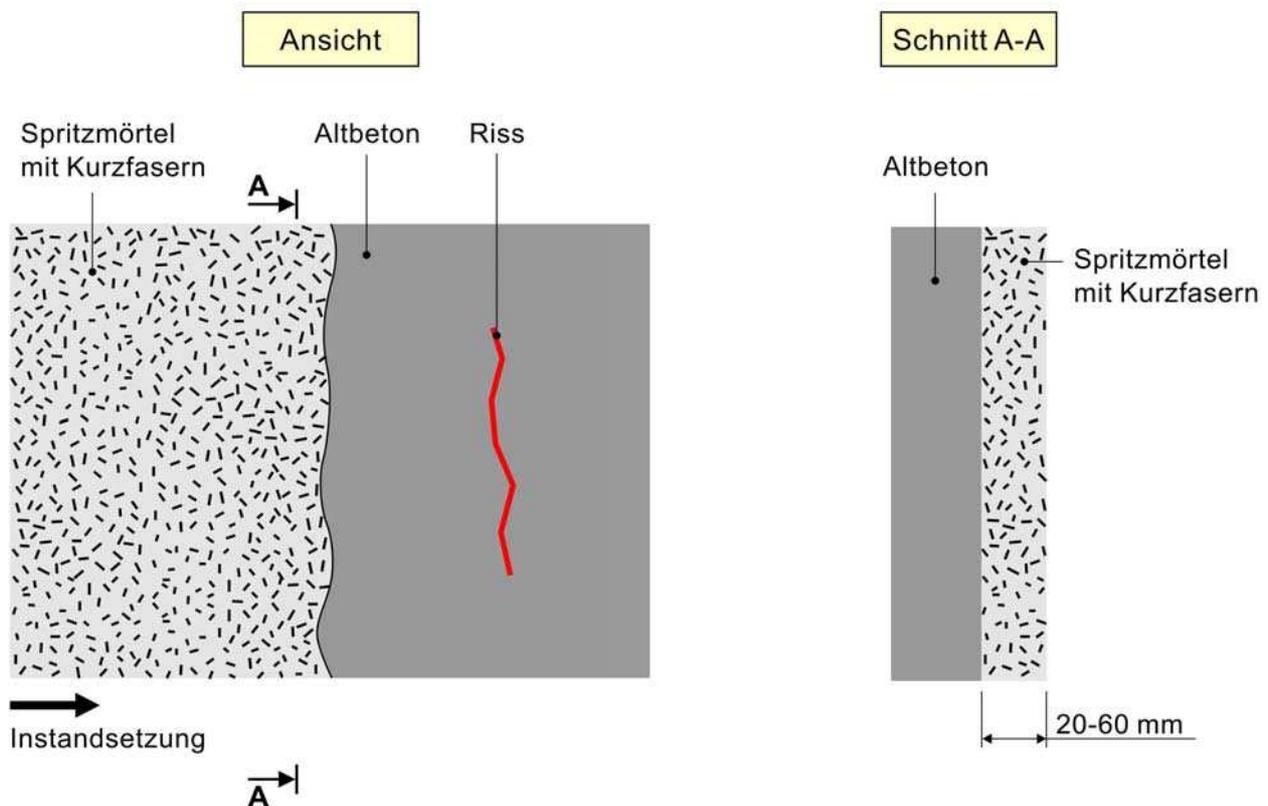


Bild 15: Ausführung der Instandsetzung mit dünn-schichtigen faserbewehrten Spritzmörteln

4.2.2.2 Dünn-schichtige faserbewehrte, unverankerte Spritzmörtel mit lokalen Bandagen

Treten neben Betonuntergründen ausreichender Oberflächenzugfestigkeit lokal sich bewege-nde Risse oder Arbeitsfugen an der Betonoberfläche auf, so sind in diesen Bereichen Bandagen mit Textilien vorzunehmen. Die Ankopplung der Textilien zum Untergrund erfolgt über lokal aufgetragene Mörtel. Die Ausführung ist in Bild 16 schematisch dargestellt. Eine gesonderte Darstellung der lokalen Bandagen erfolgt in Abschnitt 4.3.

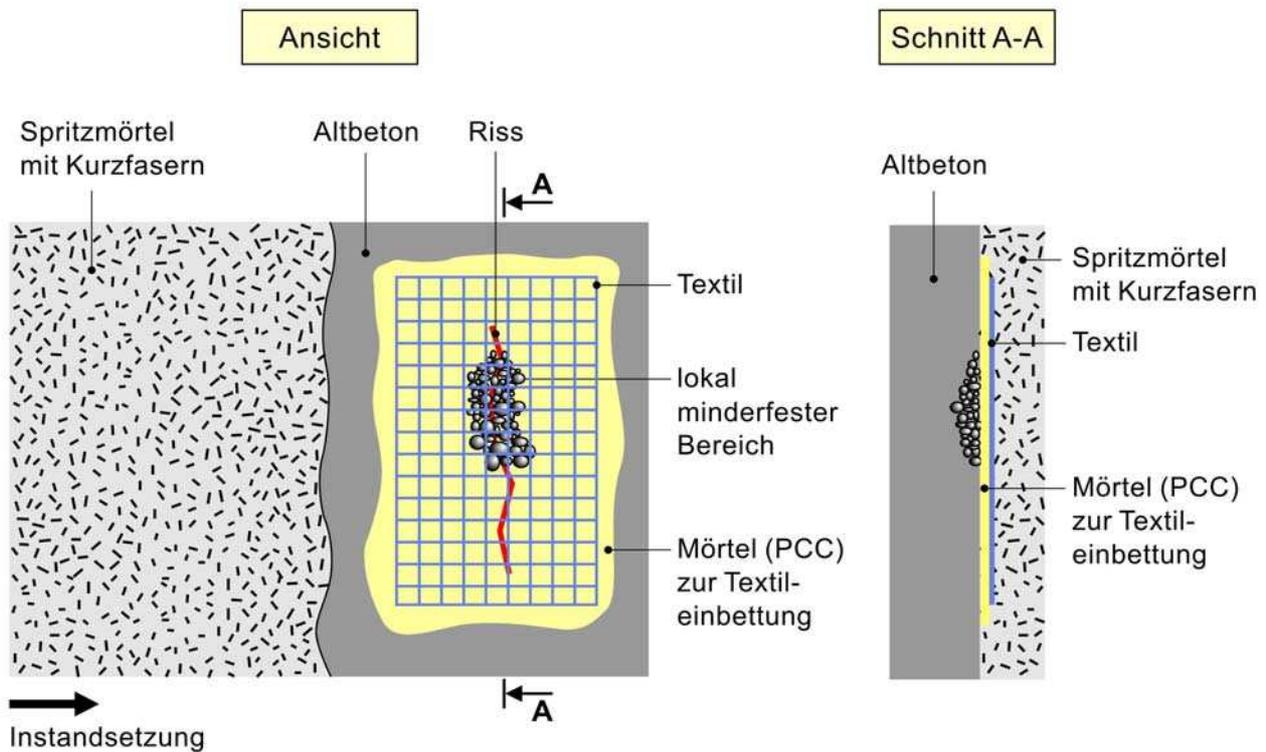


Bild 16: Ausführung der Instandsetzung mit dünn-schichtigen faserbewehrten Spritzmörteln mit lokalen Bandagen

4.2.3 Materialien

Zu den wesentlichen Vorzügen von faserverstärkten zementgebundenen Baustoffen gehören die Erhöhung der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung sowie die Vergrößerung des Arbeitsvermögens. Faserbewehrte zementgebundene Baustoffe versagen nicht schlagartig, sondern halten ein gewisses Spannungsniveau auch bei großen Dehnungen wie schematisch in Bild 17 dargestellt. Mit zunehmendem Fasergehalt nehmen diese Eigenschaften zu.

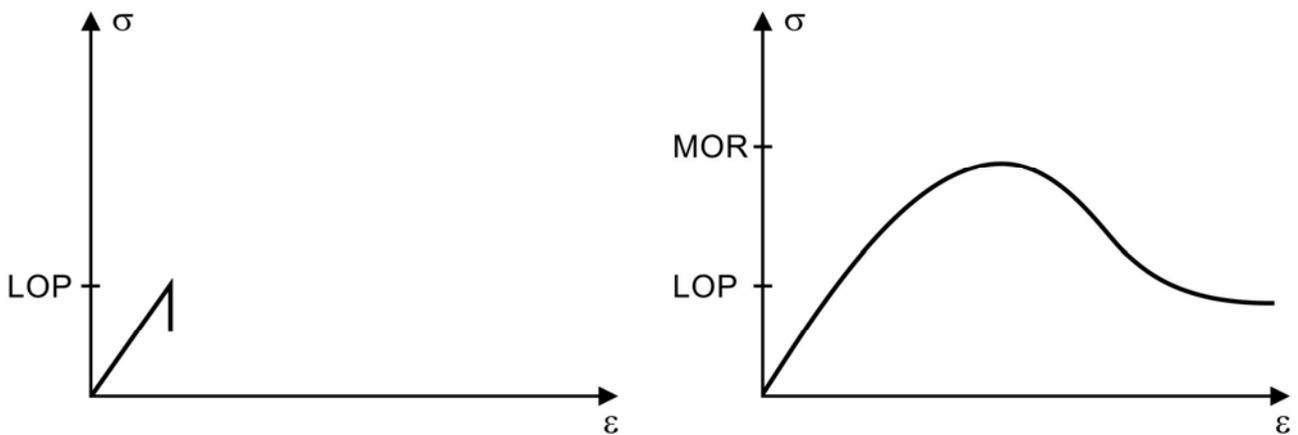


Bild 17: Schematischer Vergleich des Spannungs-Dehnungsverhaltens von zementgebundenen Baustoffen mit und ohne Kurzfasern

Der Begriff Faserbeton umfasst jedoch aufgrund der großen Bandbreite an Fasern mit unterschiedlichen Materialeigenschaften ein weites Spektrum. So können Polypropylenfasern (PP) zur Erhöhung der Brandbeständigkeit zugegeben werden /Ba103/, High-Density Polyethylene (HDPE: E-Modul = 5000 N/mm², Zugfestigkeit = 200 N/mm²) Fasern erhöhen die Zähigkeit /Kob82/ während AR-Glas-, Aramid, Carbon- und Stahlfasern die Erstrisslast wesentlich beeinflussen (Bild 18). Die Kombination unterschiedlicher Fasermaterialien ermöglicht sowohl die Erhöhung der Zugfestigkeit als auch der Duktilität /Rei05/.

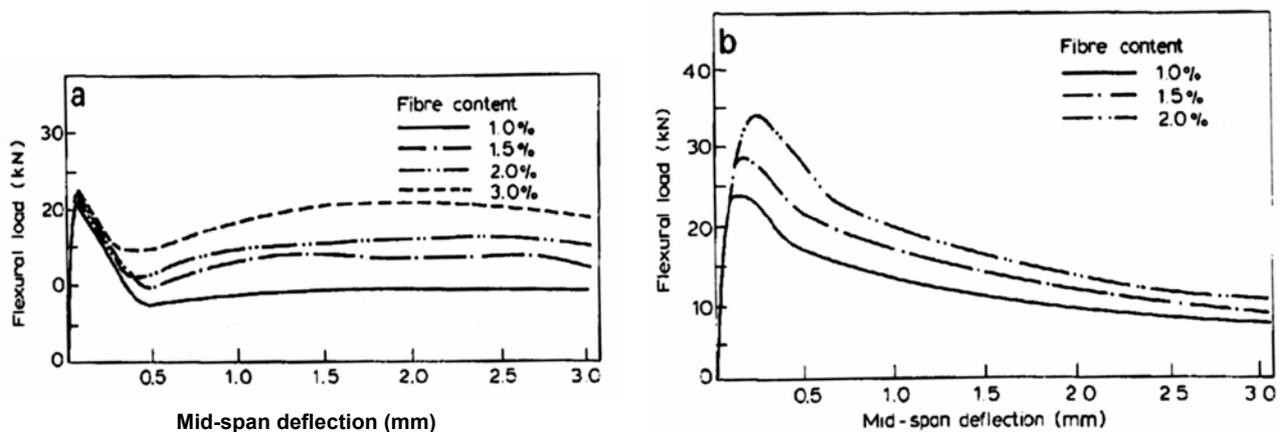


Bild 18: Einfluss des Fasergehaltes auf die Biegezugfestigkeit und Vergleich der Biegezugfestigkeit von Mörteln mit Polyethylenfasern (a) und Stahlfasern (b) /Kob82/

Aufgrund des kontinuierlich anstehenden Wassers bei Wasserbauwerken und der damit verbundenen Reduktion der Langzeitbeständigkeit von AR-Glas- und Stahlfasern bietet sich der Einsatz von Carbonfasern an. Zur Erhöhung der Duktilität können ggf. zusätzlich Polyethylen- oder Polyvinylalkoholfasern zugegeben werden. Zurzeit sind jedoch keine Mörtel bzw. Spritzmörtel mit Carbonfasern am Markt erhältlich. Hier ist noch Forschungsbedarf hinsichtlich der Mischungszusammensetzung und Verarbeitbarkeit vorhanden (siehe Abschnitt 4.2.4).

Am Markt erhältlich sind Spritzmörtel mit Kunststofffasern (Tabelle 11), die im Wesentlichen die Duktilität des Mörtels erhöhen. Des Weiteren werden Glasfaserbetone, die entweder im Premix- oder Spry-Verfahren aufgebracht werden /Pac03/, eingesetzt. Beim Premix-Verfahren, werden die Kurzfasern dem Beton während des Mischvorganges zugegeben, während beim Spry-Verfahren eine Zugabe der Kurzfasern an der Sprühdüse erfolgt.

Die Bandagen sollten aus AR-Glas- oder Carbontextilien ausgeführt werden, um eine hohe Rissüberbrückungsfähigkeit im Bereich der Fehlstelle zu erreichen.

4.2.4 Offene Fragen

Entsprechend des vorliegenden Kenntnisstandes ist zurzeit kein Spritzmörtel mit Carbonfasern am Markt erhältlich. Da Carbonfasern eine hohe Querdruckempfindlichkeit aufweisen ist zunächst zu überprüfen, ob eine Verarbeitung im Spritzverfahren zu einer deutlichen Reduktion der Festigkeit der Carbonfasern führt. Wäre dies der Fall müsste auf AR-Glasfasern ausgewichen werden. Erste positive Erfahrungen mit glasfaserverstärkten Spritzmörteln liegen am Institut für Bauforschung Aachen (ibac) vor. Ist die Eignung der Fasern geklärt, folgt die Entwicklung eines geeigneten (hohe Zugfestigkeit und hohe Duktilität) faserbewehrten Spritzmörtels. Dabei sollte auf die Erfahrungen der Industrie hinsichtlich Spritzmörteln zurückgegriffen werden.

4.3 Bandagen als lokale Verstärkung

4.3.1 Allgemeines

Untergründe die im Wesentlichen eine ausreichende Oberflächenzugfestigkeit aufweisen, keine Belastung senkrecht zum Bauwerk aus dem Untergrund erfahren sowie keine Überbrückung von Mikrorissen erfordern, können mit herkömmlichen Methoden (Spritzmörteln)

instandgesetzt werden. Liegen bei diesen Bauwerken lokal begrenzt Bereiche vor, in denen kein vollflächiger Verbund zwischen Untergrund und Spritzmörtel gewährleistet ist, können Bandagen mittels Textilien angeordnet werden.

Bei der Auslegung der Bandagen ist zwischen deren Einsatzzwecken zu differenzieren:

- a) Belastung in der Instandsetzungsebene, z. B. Überbrückung sich bewegender Risse
- b) Belastung senkrecht zur Instandsetzungsebene, z. B. Überbrückung lokal mindere fester Bereiche mit mangelndem Adhäsionsverbund, in denen u. a. durch lokale, hohe Sättigungsgrade im Altbeton Spaltwasserdruck und Eisdruck entstehen können.

4.3.2 Ausführung

In dem zuvor beschriebenen Fall a) werden Textilien aus AR-Glas oder Carbon über dem Rissbereich angeordnet und mit polymermodifiziertem Mörtel fixiert (Bild 16). Die Einbettungslänge des Textils hängt von der Belastung durch die Rissbewegung ab. Das Textil nimmt die Belastung infolge Rissbewegung auf und sorgt für eine Lastverteilung, wodurch im darüberliegenden Spritzmörtel ein fein verteiltes Rissbild entsteht. Das entstehende Rissbild im Spritzmörtel wird wesentlich durch die Ausbildung des Textils beeinflusst. Es wird ein Textil mit Hauptbewehrung in 90°-Richtung benötigt. Die Rovings des Textils sollten einen geringen Titer (max. 1200 tex pro Roving) und einen flächigen Querschnitt aufweisen.

Im Fall b) werden Textilien aus AR-Glas oder Carbon über den Rissbereich angeordnet und vernadelt (z. B. Direktmontage spezieller Nägel, Dübel). Das Raster der Vernadelung wird durch die Belastung, die senkrecht auf die Instandsetzung einwirkt bestimmt. Über die Vernadelung und das Textil erfolgt die Ankopplung zum Spritzmörtel. Die Textilausbildung sollte der im Fall a) beschriebenen Variante entsprechen.

Als Spritzmörtel können die für den Wasserbau gemäß ZTV-W LB 219 zugelassenen Produkte eingesetzt werden. Es ist jedoch zu prüfen, inwieweit das Auftragen der Spritzmörtel zu einer Schädigung der Bandagen führt. Ggf. ist ein Nassspritzverfahren mit geringeren Drücken erforderlich.

4.4 Textilbewehrter Beton am Wasserbauwerk

4.4.1 Allgemeines

Der textilbewehrte Beton ermöglicht die Kombination dünnschichtiger Spritzmörtel entsprechend Spalte 4 der Tabelle 0.3 der ZTV-W LB 219 (siehe Tabelle A2) mit einer Bewehrung und Verankerung. Hierdurch können erstmalig auch Instandsetzungssysteme mit Dicken zwischen 20 und 60 mm Einwirkungen aus Spaltwasserdruck, Rissbewegung und Eisbildung in der Verbundzone standhalten.

Im Folgenden werden aufbauend auf den in Tabelle 10 dargestellten Gruppen von Randbedingungen und Einwirkungen drei Varianten der Instandsetzung mit textilbewehrtem Beton im Wasserbau dargestellt:

- Dünnschichtige textilbewehrte, verankerte Spritzmörtel.
- Textilbewehrte Fertigteile.
- Verankerte Vorsatzschale.

Es werden jeweils einsetzbare Materialien vorgestellt und offene Fragen diskutiert.

4.4.2 Dünnschichtige textilbewehrte, verankerte Spritzmörtel

4.4.2.1 Ausführung

Bild 20 zeigt die mögliche Vorgehensweise bei einer Instandsetzung mit dünnschichtigem textilbewehrtem Spritzmörtel. In den vorbehandelten Untergrund werden zunächst die Anker eingesetzt. Dann wird eine Lage Spritzmörtel aufgetragen, das Textil wird an den Ankern befestigt und es wird eine weitere Lage Spritzmörtel aufgebracht. Gegebenenfalls ist erneut ein Textil einzubringen bevor eine abschließende Spritzmörtelschicht aufgetragen wird.

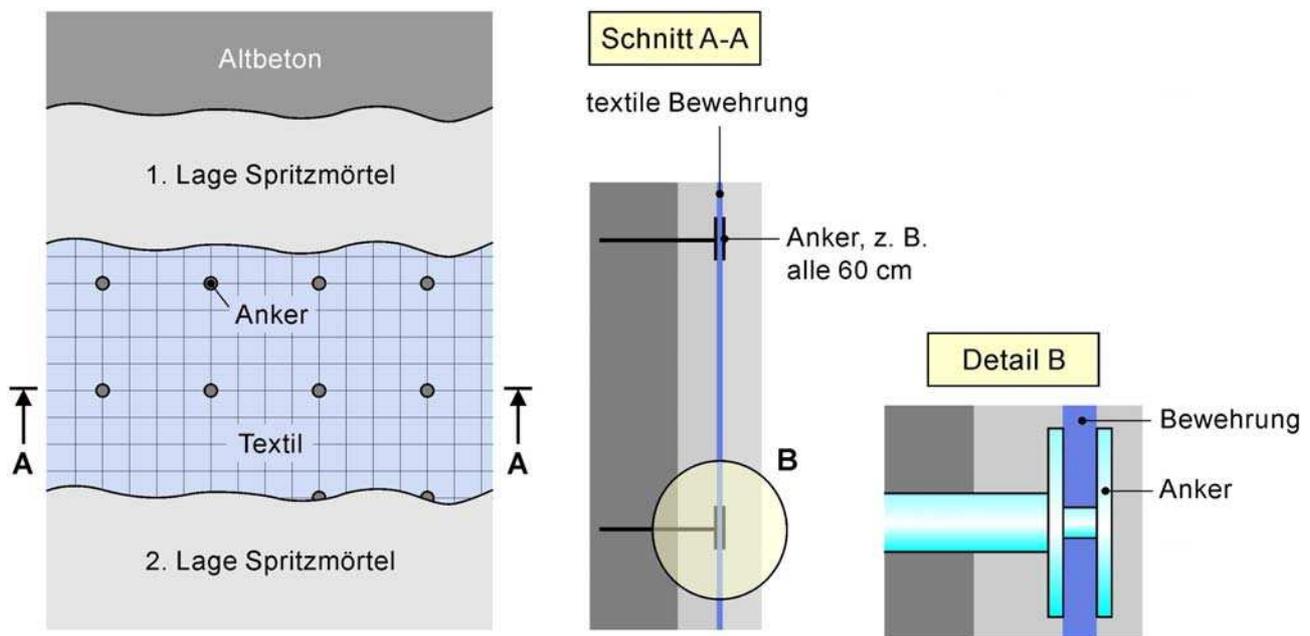


Bild 20: Ausführung der Instandsetzung mit dünn-schichtigen textilbewehrten Spritzmörteln

Diese Instandsetzungsvariante ist unabhängig von der Abreißfestigkeit des Untergrundes und ermöglicht die Aufnahme von rückseitig einwirkenden Drücken (s. Gruppe II, Tabelle 10). Allerdings sollte der E-Modul des Instandsetzungsmaterials dem E-Modul des Untergrundes entsprechen.

Im Rahmen eines aktuellen Forschungsvorhabens am ibac wird die Herstellung textilbewehrter Spritzmörtelschichten mit Verankerung zurzeit erprobt. Somit liegen im begrenzten Umfang Erfahrungen mit der Ausführung der Anker und den Ankerabständen vor. Zurzeit wird mit einem Ankerraster von 60 cm x 60 cm gearbeitet.

4.4.2.2 Materialien

Spritzmörtel

Zurzeit sind sechs Spritzmörtel/Spritzbetone für den Wasserbau gemäß ZTV-W LB 219, Abschnitt 5.4 (Ausgabe 2004) zugelassen. Alle Spritzmörtel/Spritzbetone erfüllen die Mindestanforderungen für Altbetonklasse S-A4. Die Anforderungen im Rahmen des Verwendbarkeitsnachweises für die Altbetonklassen sind in Tabelle 1 des Merkblattes „Spritzmörtel/Spritzbetone nach ZTV-W LB 219, Abschnitt 5“ dargestellt. Die Überarbeitung dieses Merkblattes ist im Februar 2007 veröffentlicht worden. Die Entscheidung über die Eignung der Produkte für die jeweiligen Altbetonklassen wird bauteilspezifisch getroffen. Im Fol-

genden werden in Tabelle 11 die jeweiligen Produkte mit ihren Eigenschaften kurz beschrieben, um die Eignung für dünn-schichtige textilbewehrte Spritzmörtel beurteilen zu können.

Zur vollständigen Durchdringung des Textils ist ein möglichst kleines Größtkorn erforderlich. Die Eignung eines Spritzmörtels mit 2 mm Größtkorn ist für textilbewehrte Spritzmörtel zu überprüfen. In jedem Falle sollten alternative Spritzmörtel mit einem Größtkorn ≤ 1 mm in das Untersuchungsprogramm aufgenommen werden. Die Firma Pagel Spezial-Beton GmbH & Co.KG bietet einen Spritzmörtel mit 1 mm Größtkorn an (SP10 bzw SP10F). Dieser Spritzmörtel kann mit und ohne Kunststofffasern im Naß-Spritzverfahren eingesetzt werden. Die Untersuchung der Eignung dieses Spritzmörtels für textilbewehrte Spritzmörtelschichten erscheint sinnvoll. Bisherige Versuche mit textilbewehrten Spritzmörtelschichten deuten auf die Notwendigkeit eines Naß-Spritzverfahrens bzw. Naß-Sprühverfahrens hin. StoCrete TS 200 könnte ebenfalls im Naß-Spritzverfahren verarbeitet werden. Es ist zu überprüfen, inwiefern die Produkte auch im Naß-Sprühverfahren mit geringeren Drücken verarbeitbar sind.

Tabelle 11: Für den Wasserbau gemäß ZTV-W LB 219 zugelassene Spritzmörtel und alternative Produkte

Eigenschaft	Einheit	Nafufill GTS	Nafufill GTS-HS	SP 20 Pagel SPCC	Sakret SPCC 3	SikaCem Gunit 212S	StoCrete TS 100
1	2	3	4	5	6	7	8
Biegezugfestigkeit Lagerung B ¹⁾	N/mm ²	9,3	8,8	8,6	11	11	12
Druckfestigkeit Lagerung B ¹⁾		54,4	50	54	56	56	68
Schwinden 90 d	mm/m	0,61	0,60	0,9	0,68	0,68	0,8
Stat. E-Modul	kN/mm ²	24	20	31,8	k. A.	k. A.	31,6
Kap. Wasseraufnahme	kg/(m ² h ^{-0,5})	0,07	k. A.	0,08	0,06	0,06	0,08
Carbo.Tiefe 90 d	mm	0	k. A.	1,5	0,2	0,2	0
Chlorideindringwiderstand	10 ⁻¹² m ² /s	k. A.	k. A.	0,57	1,35	1,42	k. A.
Zuschlaggröße	mm	4	4	2	k. A.	k. A.	2
Schichtdicke: Min/Max je Arbeitsgang		10/25	10/25	-	k. A.	10/50	6/50
Max Gesamtschichtdicke		50	50	50 (Naß)	k. A.	50	50
Spritzverfahren Trocken / Naß	-	Trocken	Trocken	Naß/Trocken	Trocken	Trocken	Trocken
Alternative Produkte	-	-	-	SP10 / SP10PF	-	-	StoCrete TS 200

1) Senkrecht gespritzt nach 28 d

k. A. keine Angabe

Darüber hinaus kann die Entwicklung spezieller Spritzmörtel mit gezielt reduziertem E-Modul notwendig sein. Dies soll durch den Einsatz von Leichtzuschlägen und Polymeren erreicht werden. Dabei werden die Forderungen nach einem geringen Schwindmaß, einer diffusionsoffenen Struktur und einer niedrigen Wasseraufnahme berücksichtigt.

Bewehrung

Die textile Bewehrung sollte aus getränkten AR-Glas- oder Carbongeleiten bestehen. Als Tränkungsmaterial wird Epoxidharz vorgeschlagen. Dies hat folgende Gründe:

- Die Zugfestigkeit getränkter Textilien ist gegenüber ungetränkten Textilien deutlich höher (siehe Bild B6). Dadurch kann die Anzahl der Textillagen reduziert werden.
- Getränkte Textilien sind erheblich unempfindlicher bei der Verarbeitung.
- Die höhere Steifigkeit der getränkten Textilien ermöglicht eine bessere Lagefixierung.

- Getränkte AR-Glastextilien weisen einen deutlich geringeren Festigkeitsverlust infolge AR-Glaskorrosion auf.

Die getränkten Textilien weisen jedoch gegenüber den ungetränkten Gelegen weniger Potential hinsichtlich der Mikrorissüberbrückung auf. Zum Ausgleich dieses Nachteils sind gegebenenfalls Kurzfasern einzusetzen (siehe Abschnitt 4.2.3).

Zur vollständigen Durchdringung des Textils bei einem möglichst großen Größtkorn zwischen 1 und 2 mm, ist ein offenmaschiges Textil erforderlich. Erste Versuche sollten mit dem getränkten MAG 07-03 oder MAG 04-03 Gelege (Tabelle 3) durchgeführt werden. Das Carbongelege MAG 04-03 ermöglicht im Vergleich zum AR-Glasgelege MAG 07-03 den Abtrag höherer Lasten bei gleicher Dehnung (siehe Bild 6), hat jedoch auch einen höheren Materialpreis. Es ist zu überprüfen, ob der höhere E-Modul des Carbongeleges für diese Anwendung zweckdienlich ist.

4.4.2.3 Spezielle Fragestellungen zu dieser Ausführungsart

Zunächst ist festzustellen inwieweit am Markt erhältliche Spritzmörtel für die Einbettung des beschriebenen Textils geeignet sind. Des Weiteren ist die Lagefixierung des Textils in Abhängigkeit von Ankerart und -raster sowie Spritzverfahren in einer Parameterstudie zu untersuchen.

Inwiefern Kurzfasern im Spritzmörtel in Kombination mit einer textilbewehrten Bewehrung eingesetzt werden können ist ebenso wie die Rissüberbrückungsfähigkeit textilbewehrter Spritzmörtel noch nicht untersucht. Auf welches Niveau der E-Modul des Spritzmörtels anhand von Leichtzuschlägen und Polymeren reduziert werden kann, ist zurzeit noch nicht bekannt.

Basierend auf den Materialuntersuchungen kann mit numerischen Berechnungen der Einfluss von Spaltwasserdruck und Frost in der Verbundebene abgebildet werden. Die Berechnungen sind anhand von Bauteiluntersuchungen zu überprüfen.

4.4.3 Textilbewehrte Vorsatzschale

4.4.3.1 Ausführung

Mittels textilbewehrter Fertigteile ist die Ausführung einer Vorsatzschale, die über Anker an den Altbeton befestigt wird, möglich. Der Spalt zwischen Altbeton und Textilbetonschale ist mit einem Material geringer Steifigkeit und einer guten Drainagefähigkeit auszufüllen. Die Vorsatzschalen werden im Fertigteilwerk hergestellt. Nach der Befestigung der Fertigteile vor Ort, werden die Fugen mit Ortbeton verfüllt. Dazu ist die Bewehrung aus den Fertigteil-elementen herauszuführen und die Betonflanken sind zur Verbesserung der Haftung mit einer rauen Oberfläche herzustellen. Diese Instandsetzungsvariante ist weitgehend unabhängig vom E-Modul des Untergrundes und kann somit auch für die Gruppe III der Tabelle 10 eingesetzt werden.

4.4.3.2 Materialien

Feinbetone

Als Matrix können im Rahmen des SFB 532 verfügbare Feinbetone eingesetzt werden. Es werden Betone mit einem geringen Schwindmaß, einer hohen Wasserdichtigkeit und einem geringen pH-Wert der Porenlösung favorisiert. Erste Untersuchungen könnten mit dem Feinbeton PZ-0899-01 (Tabelle 3) durchgeführt werden, da hierzu die größte Datenbasis vorliegt. Langfristig ist die Zusammenarbeit mit einem Fertigteilwerk zur Abstimmung der Vorgehensweise bei der Herstellung erstrebenswert. Kontakte zu Fertigteilwerken bestehen bereits im Rahmen der Arbeiten im Sonderforschungsbereich.

Bewehrung

Da die Verarbeitung der Bewehrung im Fertigteilwerk erfolgt ist eine Tränkung der Textilien zum Schutz während der Verarbeitung nicht zwingend erforderlich. Der Einbau mehrerer Lagen ungetränkter Gelege ist ebenfalls im Fertigteilwerk realisierbar. Die genaue Positionierung der Bewehrung ist insbesondere dadurch, dass die Bewehrung aus den Elementen herausgeführt und im Randbereich eingespannt wird, möglich.

Diese Gründe sprechen für die Einsparung des zusätzlichen Arbeitsschrittes der Tränkung. Allerdings sind in diesem Falle die AR-Glasgelege vor Korrosion zu schützen oder es werden Carbongelege eingesetzt. Als AR-Glasgelege könnten MAG 07-03 oder MAG 2D-02-06 und als Carbongelege MAG 04-03 (Tabelle 2) aber auch Abstandstextilien verwendet wer-

den. Die Zugabe von Kurzfasern kann zur Erhöhung des mechanischen Verschleißes notwendig werden.

4.4.3.3 Spezielle Fragestellungen zu dieser Ausführungsart

Die vom Untergrund entkoppelte Vorsatzschale aus Textilbeton weist den Vorteil auf, dass rückseitig anstehendes Wasser abgeführt werden kann und die Instandsetzungsmaßnahme weitestgehend unabhängig von der Untergrundqualität ist. Allerdings stellen die Fugen hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Instandsetzungsmaßnahme eine Schwachstelle dar. Die Ausbildung der Fugen ist detailliert zu untersuchen.

Weiterhin ist die Plattenfixierung so auszubilden, dass keine bzw. nur geringfügige Zwangsspannungen entstehen. Hierbei können die im Rahmen aktueller Forschungsprojekte mit Fassadenplatten gesammelten Erfahrungen genutzt werden.

4.4.4 Verankerte Vorsatzschale aus textilbewehrtem Beton

Eine weitere Instandsetzungsvariante ist die Herstellung einer textilbewehrten Ortbetonschale, bei der das Textil an den in den Untergrund eingebrachten Ankern befestigt wird (siehe Bild 23). Diese Variante ist ebenfalls für Bauteile der Gruppe II nach Tabelle 10 denkbar, allerdings wird eine Einschränkung der Bauteilabmessungen in Abhängigkeit vom Fließvermögen der Matrix notwendig sein.

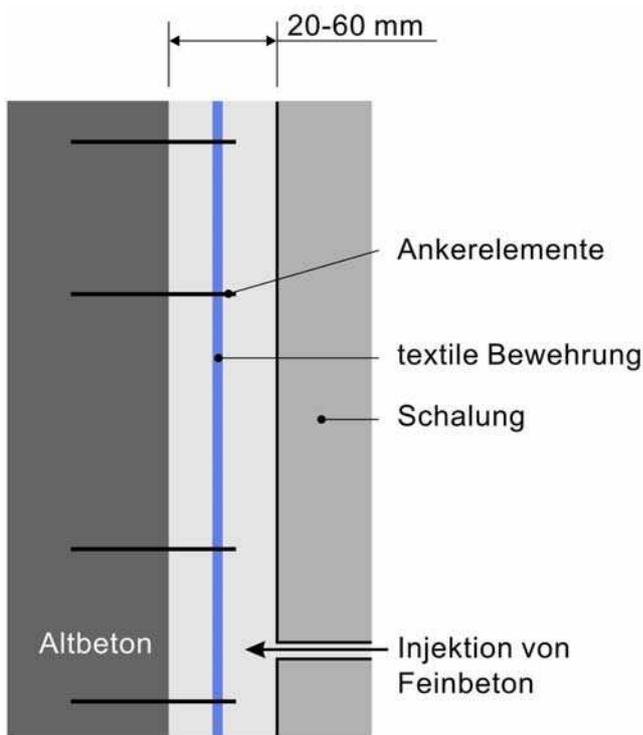


Bild 23: Schematische Darstellung einer Ortbetonschale aus Textilbeton

Das hohlstellenfreie Einbringen des Feinbetons über eine Dicke von 20 bis 60 mm mit etwa 2 bis 3 Textillagen ist jedoch wahrscheinlich nur anhand spezieller Injektionsverfahren möglich. Im Rahmen des SFB 532 wurden injizierbare Feinbetone entwickelt und untersucht /Bra06/.

Als Bewehrung sollten getränkte Textilien aus AR-Glas oder Carbon verwendet werden. Neben den in Abschnitt 4.3.2.2 erläuterten Vorteilen nehmen die getränkten Textilien kein Anmachwasser des Feinbetons auf und beeinflussen somit das Fließverhalten der Matrix weniger als ungetränkte Textilien.

Die Realisierung dieser Instandsetzungsvariante ist, wie bereits ausgeführt, wesentlich von den vorliegenden geometrischen Bedingungen, wie Dicke der Textilbetonschicht, Anzahl der Bewehrungslagen, Abmessungen der Betonierabschnitte abhängig. Das Injektionsverfahren für den Feinbeton wäre speziell für den Anwendungsfall zu optimieren.

4.5 Erste Ansätze zur Bauteilauslegung

Die Eingangsgrößen für die Bauteilauslegung wurden im Abschnitt 2 erläutert. Aus diesen Eingangsgrößen resultieren die Ausgangsgrößen für den textilbewehrten Beton im Wasserbau. Die Ein- und Ausgangsgrößen sind in Bild 24 gegenübergestellt.

Eingangsgrößen:

Altbeton/Untergrund

- E-Modul
- Druck- / Zugfestigkeit
- Kraft-Ausziehweg der Anker
- Materialstreuungen
- Risse / Rissbewegungen

Äußere Lasten

- Wasserdruck inkl. Spaltwasserdruck
- Temperaturänderungen
- Erddruck
- Rückwertige Durchfeuchtung (Eis)
- Anprall / Schiffsreibung



Ausgangsgrößen für TRC:

Beton

- E-Modul
- Druck- / Zugfestigkeit
- Schwinden
- Porosität

Schichtdicke

Bewehrung

- Material
- Textilart
- Anzahl der Textilien
- Kurzfasern
(Menge, Art)

Verankerung

- Ankerart
- Ankeranzahl pro m²
- Verankerungstiefe

Bild 24: Ein- und Ausgangsgrößen zur Auslegung des textilbewehrten Betons im Wasserbau

Mit dem FEM-Programmpaket ANSYS der Firma ANSYS Inc. wurden erste Finite Elemente Berechnungen hinsichtlich Verformungen und Spannungen in einer dünnwandigen textilbewehrten Spitzmörtelschicht durchgeführt. Den Rechnungen liegen folgende Annahmen zu Grunde:

- Ankerraster: 60 cm x 60 cm
- E-Modul: 22 kN/mm²
- Querdehnzahl: 0,3
- Rotation an den Ankerpunkten, keine Horizontalverschiebungen in x- und y-Richtung ($u_x = 0$, $u_y = 0$, $\varphi \neq 0$ an den Ankerpunkten).
- Isotropes, linear elastisches Materialverhalten.

Bild 25 und Bild 26 zeigen die Ergebnisse der FEM-Berechnungen für eine 10 mm dicke Platte, beaufschlagt mit dem Wasserdruck einer 1 m hohen Wassersäule.

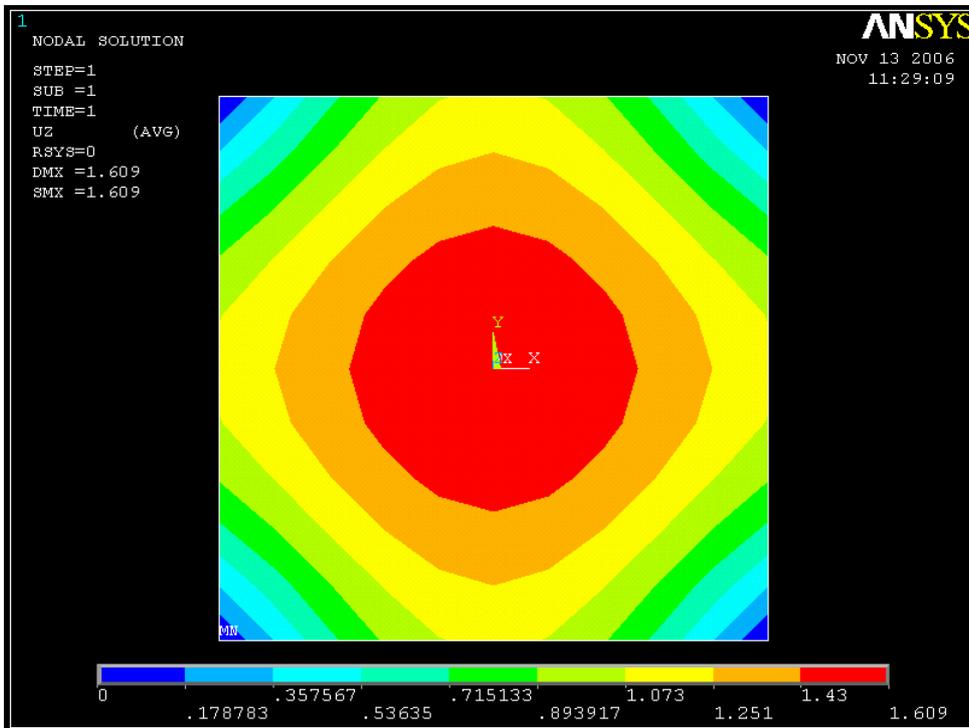


Bild 25: Verformung einer textilbewehrten Platte in z-Richtung in mm, Plattendicke: 10 mm, Wasserdruck aus 1 m Wassersäule

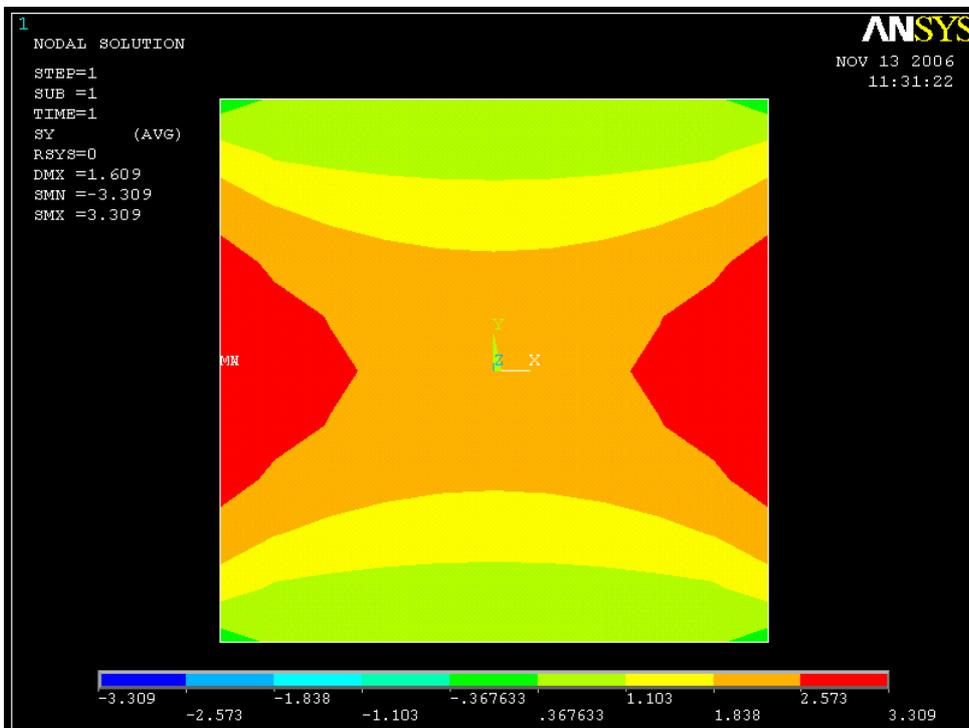


Bild 26: Spannungsverteilung einer textilbewehrten Platte in y-Richtung in N/mm², Plattendicke: 10 mm, Wasserdruck aus 1 m Wassersäule

In den nachfolgenden FEM-Berechnungen (Tabelle 12 und Tabelle 13) wurde der Wasserstand variiert und die notwendige Plattendicke sowie die dabei auftretenden Durchbiegungen unter der Annahme, dass eine maximale Bauteilspannung von 5 bzw. 10 N/mm² auftreten darf, berechnet. Bei einer Bauteilspannung von 5 N/mm² werden noch keine Risse in der textilbewehrten Platte auftreten, während bei 10 N/mm² in Abhängigkeit von den Materialien ein nahezu abgeschlossenes Rissbild vorliegen kann. Die zunehmende Steifigkeit bei höheren Plattendicken bedingt eine Reduzierung der Durchbiegung.

Tabelle 12: Auslegung der Plattendicke in Abhängigkeit vom Wasserstand bei einer maximalen Bauteilspannung von 5 N/mm²

Wassersäule	Notwendige Plattendicke	Durchbiegung
m	mm	
1	2	3
1	8	3,1
5	18	1,4
10	26	0,92
20	37	0,63

Tabelle 13: Auslegung der Plattendicke in Abhängigkeit vom Wasserstand bei einer maximalen Bauteilspannung von 10 N/mm²

Wassersäule	Notwendige Plattendicke	Durchbiegung
m	mm	
1	2	3
1	6	7,5
5	13	3,7
10	18	2,8
20	26	1,6

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

5.1 Zusammenfassung

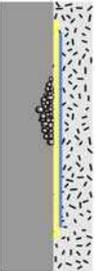
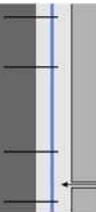
Der neue Verbundwerkstoff Textilbeton bietet im Bereich der Instandsetzung von Wasserbauten die Chance, dünnwandige (20-60 mm) und dennoch bewehrte, hoch tragfähige Schutzschichten zu realisieren. Damit könnten mittelfristig alternative Instandsetzungsvarianten bereit gestellt werden, die gegenüber herkömmlichen Methoden eine Zeit- und Kostenersparnis ermöglichen.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde zunächst der Stand der Forschung zum Textilbeton hinsichtlich ausgewählter, für den Wasserbau wesentlicher Aspekte vermittelt. Durch die Arbeiten im Sonderforschungsbereich stehen zur Anwendung des neuen Verbundwerkstoffes eine Vielzahl von Materialkombinationen sowie Bemessungskonzepte zur Verfügung. Durch die zunehmende Akzeptanz in der Bauindustrie wird Textilbeton mittlerweile für unterschiedliche Anwendungsbereiche verwendet und damit liegen vermehrt Erfahrungen mit der Praxisumsetzung vor.

Eine große Vielzahl von Wasserbauwerken aus Beton weist minderfeste Betonoberflächen mit wassergesättigten und gerissenen Bereichen auf. Hier sind bisher häufig bewehrte Vorsatzschalen aus Ortbeton notwendig. Die Realisierung derartiger Schalen ist arbeits- und zeitintensiv. Tabelle 14 stellt die im Rahmen dieser Studie erarbeiteten alternativen Instandsetzungsvarianten gegenüber. Nicht wassergesättigte Betonuntergründe mit ausreichender Oberflächenzugfestigkeit und geringen Rissbewegungen könnten, insofern keine Belastung aus Spaltwasserdruck vorliegt, mit kurzfaserbewehrten Spritzmörteln instandgesetzt werden. Zur Überbrückung lokal begrenzter minderfester Bereiche ist der Einsatz textiler Bandagen denkbar.

Liegen jedoch größere Bereiche mit unzureichender Oberflächenzugfestigkeit vor bzw. besteht die Gefahr von Drücken aus Spaltwasser und Eisbildung, so ist eine Verankerung der aufgetragenen Schicht erforderlich. Hierzu wurden drei Ausführungsvarianten aufgezeigt: dünnwandige textilbewehrte Spritzmörtelschichten, Vorsatzschalen aus textilbewehrten Fertigteilen und textilbewehrte Ortbetonschalen (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Gegenüberstellung der Instandsetzungsvarianten mit Fasermaterialien

Instandsetzungsvariante	Abschnitt	Vorteile	Nachteile
1	2	3	4
Kurzfaserbewehrte, unverankerte Spritzmörtelschicht 	4.2.2.1	<ul style="list-style-type: none"> • Geringer Arbeitsaufwand • Zeitersparnis • Geringe Schichtdicken 	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatzbereich stark begrenzt
Kurzfaserbewehrte, unverankerte Spritzmörtelschicht mit Bandagen 	4.2.2.2	<ul style="list-style-type: none"> • Lokal mindere Bereiche werden integriert • Geringer Arbeitsaufwand 	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatzbereich begrenzt
Spritzmörtelschicht mit lokalen Bandagen 	4.3.2	<ul style="list-style-type: none"> • Bekannte Instandsetzungsmethode mit • Integration lokal mindere bzw. gerissener Bereiche 	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatzbereich begrenzt
Textilbewehrte, verankerte Spritzmörtelschicht 	4.4.2	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Tragfähigkeit • Großer Einsatzbereich 	<ul style="list-style-type: none"> • Gegenüber kurzfaserbewehrte Spritzmörtelschichten aufwendiger
Textilbewehrte Vorsatzschale „elastisch gelagert“ 	4.4.3	<ul style="list-style-type: none"> • Weitgehend unabhängig vom E-Modul des Untergrundes -> max. Einsatzbereich 	<ul style="list-style-type: none"> • Abdichtende Fugen • Begrenzte Tragfähigkeit bei Anprall
Textilbewehrte Ortbetonschale 	4.4.4	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Tragfähigkeit • Großer Einsatzbereich 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohlstellenfreies Betonieren nur mit größerer Schalendicke (~ 60 mm) und Injektionstechnik

Erste Berechnungen anhand der Finite Elemente Methode bestätigen die Realisierbarkeit von textilbewehrten Schichtdicken zwischen 20 und 40 mm bei rückseitig anstehendem Wasserdruck. Allerdings weisen die vorgestellten 5 Instandsetzungsvarianten vor der Realisierung allesamt noch Forschungsbedarf insbesondere auf dem Gebiet der Ausführung auf. Dieser Forschungsbedarf wird im nachfolgenden Abschnitt zusammenfassend dargestellt.

5.2 Ausblick – Forschungsbedarf

5.2.1 Kurzfaserbewehrte, unverankerte Spritzmörtelschichten

Herkömmliche im Wasserbau eingesetzte Spritzmörtel sind zurzeit lediglich in Kombination mit Kunststofffasern erhältlich. Des Weiteren gibt es Glasfaserbetone, die im Sprühverfahren aufgetragen werden. Die optimale Materialkombination zur Instandsetzung von Wasserbauwerken wären jedoch Sprühbetone mit einer Faserkombination aus Carbon- und Polymerfasern, um einerseits die Erstrisslast deutlich zu erhöhen und andererseits ein duktileres Matrixverhalten zu erzielen.

Inwieweit diese theoretisch optimale Materialkombination realisierbar ist, bleibt zu überprüfen. Hierzu ist eine Zusammenarbeit mit einer Firma denkbar, die zurzeit Glasfaserbetone im Sprayverfahren herstellt. Gemeinsam mit der Firma könnten Proben mit Glasfasern, Carbonfasern und Faserkombinationen hergestellt werden, um deren Materialeigenschaften zu untersuchen. Neben der Prüfung der Rissüberbrückungsfähigkeit und der Duktilität sollten die Materialeigenschaften in Anlehnung an das Merkblatt „Spritzmörtel/Spritzbeton nach ZTV-W LB 219, Abschnitt 5“ bestimmt werden.

Der entwickelte Spritzmörtel sowie die Spritztechnik sind an einem Wasserbauwerk zu erproben. In diesem Zusammenhang sollte ebenfalls die Umsetzung von lokalen Bandagen mit Textilien untersucht werden.

In Bild 27 ist die Vorgehensweise bei der Entwicklung kurzfaserbewehrter, unverankerter Spritzmörtelschichten zur Instandsetzung von Wasserbauwerken schematisch dargestellt.

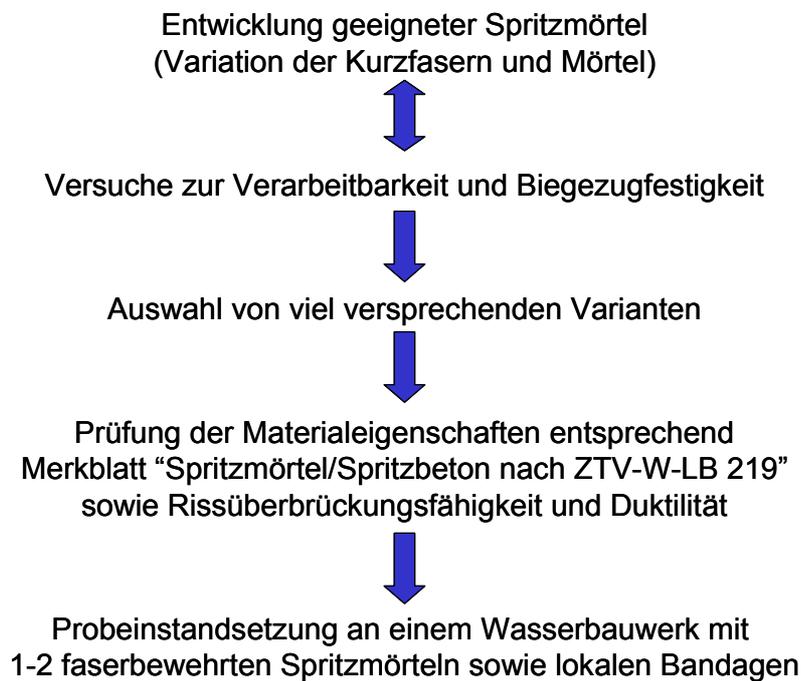


Bild 27: Mögliche Vorgehensweise bei der Entwicklung kurzfaserbewehrter, unverankerter Spritzmörtelschichten zur Instandsetzung von Wasserbauwerken

5.2.2 Bandagen als lokale Verstärkung

5.2.2.1 Fall a) textile Bandage

Die Wirksamkeit der textilen Bandagen ist in Abhängigkeit von

- Textilart,
- Einbettungslänge,
- Einbettungsmörtel,
- Spritzbeton und
- Rissbewegung

zu überprüfen. Hierzu sind zunächst Versuche zur Rissüberbrückung an einer Probengeometrie sinnvoll.

Zur Ermittlung der Rissüberbrückungsfähigkeit können Betongrundkörper (Zusammensetzung nach Merkblatt „Spritzmörtel/Spritzbeton nach ZTV-W LB 219, Abschnitt 5“) in den Abmessungen von rund 60x60x6 cm³ mit einer zentrisch angeordneten Sollrissstelle und

einem speziellen Bewehrungskorb zur definierten Einstellung variabler Rissbreiten hergestellt werden. Auf die sandgestrahlten Betonplatten sind die Bandagen und der Spritzmörtel aufzubringen. Das Aufbringen des Spritzmörtels sollte gemeinsam mit den Produktherstellern erfolgen. Nach einer definierten Nachbehandlung (und ggf. an ausgewählten Systemen nach Bewitterung) werden die Proben über einbetonierte Gewindestangen mit der Einspannvorrichtung der Zug-Prüfmaschine verbunden. Die Proben werden weggesteuert auf Zug bzw. zyklisch belastet. Während des Versuchs erfolgt die Erfassung der Rissaufweitung jeweils rechts und links der Betonplatte mittels induktiver Wegaufnehmer. An diesem Versuch kann die Auswirkung der Rissbewegung auf den Spritzmörtel untersucht werden. Bild B7 vermittelt einen Eindruck über die mögliche Versuchsdurchführung.

5.2.2.2 Fall b) textile Bandage mit Vernadelung

Die Effektivität der textilen Bandagen mit Vernadelung ist in Abhängigkeit von

- Textilart,
- Nadelart,
- Nadelraster,
- Spritzmörtel und
- Belastung (auch Ausbildung der minderfesten Bereiche)

zu überprüfen. Hierzu sind zunächst Versuche, bei denen rückwärtig anstehender Wasserdruck die Belastung senkrecht zum Instandsetzungssystem simuliert sinnvoll.

Zur Untersuchung des Einflusses von rückwärtigem Wasserdruck auf das Instandsetzungssystem können die in Abschnitt 5.2.2.1 beschriebenen Probekörper verwendet werden. Allerdings sind anstelle bzw. zusätzlich zum Riss Kiesneser im Probekörper einzubauen. Zum Aufbringen des Wasserdrucks wird ein Packer betonseitig über den Riss/das Kiesnest verklebt. Der übrige Bereich wird ebenso wie die Kanten des Probekörpers abgedichtet. Nach Aufbringen des Wasserdrucks ist zu verfolgen, wie sich der Spritzmörtel an der Oberfläche infolge der rückwärtigen, senkrechten Belastung verhält. Die Belastung kann über den Wasserdruck variiert werden.

Durch die beschriebenen Versuche kann zunächst die Festlegung der Materialien und Randbedingungen erfolgen. Mit einer reduzierten Versuchsmatrix sind dann weitere Untersuchungen, wie z. B. zur thermischen Verträglichkeit, durchzuführen.

5.2.3 Dünnschichtige, textilbewehrte und verankerte Schichten

5.2.3.1 Vorgehensweise bei der Entwicklung dünnwandiger textilbewehrter Spritzmörtelschichten für Wasserbauwerke

Hinsichtlich verankerter, dünnwandiger, textilbewehrter Spritzmörtelschichten liegen zurzeit nur geringfügige Erfahrungen im Labormaßstab vor. Hinsichtlich der Textilien kann auf Erfahrungen im SFB 532 zurückgegriffen werden. Bild 28 gibt einen Überblick über ein mögliches Untersuchungsprogramm.

Die Positionierung und Einbettung der Textilien in Spritzmörtelschichten ist anhand eines Spritzstandes am ibac zu untersuchen. Gegebenenfalls sind zunächst geeignete Spritzmörtel zu entwickeln, da der Spritzdruck voraussichtlich gegenüber herkömmlichen Methoden reduziert werden muss. Nachdem geeignete Proben im Spritzmörtelstand hergestellt werden können, sind diese hinsichtlich ihrer Materialeigenschaften zu charakterisieren. Auf Basis der Materialkenndaten können dann weitergehende numerische Berechnungen ausgeführt werden. Nachdem anhand der Materialuntersuchungen und numerischen Berechnungen die Randbedingungen für eine Ausführung weitestgehend festgelegt sind, erfolgt die Durchführung von Bauteilversuchen und die Erprobung am Bauwerk. Basierend auf den Erfahrungen der Bauteilversuche und des Pilotprojektes können weitergehende Optimierungen und die Erarbeitung von Detaillösungen erfolgen.

■ Untersuchungen am Spritzstand

1) Prüfung kommerziell erhältlicher Spritzmörtel

- Pagel SP 20, Pagel SP 10, Pagel SP 10F, StoCrete TS 200
- offenmaschige, EP getränkte Textilien (min. 2lagig)
- Variation der Spritz- bzw.. Sprühtechnologie
- Variation der Fixierungspunkte

2) Entwicklung eigener Spritzmörtel

- Reduzierung des E-Moduls mit Polymeren und Leichtzuschlag
- Zugabe von Kurzfasern
- Beachtung des Schwindmaßes

■ Charakterisierung der Materialien

1) Zugversuche

2) Druckversuche

3) Schwinden

4) Wasseraufnahme / Wasserdampfdiffusion

5) Dauerhaftigkeit

6) Untersuchungen am Verbundkörper (Haftzug, Rissaufweitung etc.)

■ Weitergehende numerische Berechnungen anhand der Materialkennwerte

- 1) Berücksichtigung des Verbundes zum Untergrund (z. B. Federelemente, Kontaktelemente)
- 2) rückwärtiger Frost
- 3) Spaltwasserdruck
- 4) Ankerabstände

■ Bauteilversuche / Erprobung am Bauwerk

■ Optimierung anhand vorliegender Ergebnisse

■ Detaillösungen

Bild 28: Vorgehensweise bei der Entwicklung dünnwandiger textilbewehrter Spritzmörtelschichten für Wasserbauwerke

5.2.3.2 Vorgehensweise bei der Entwicklung textilbewehrter Vorsatzschalen mit elastischer Lagerung für Wasserbauwerke

Vorsatzschalen in Form textilbewehrter Fertigteile sind am Markt erhältlich. Hier ist eine Zusammenarbeit mit entsprechenden Fertigteilwerken erforderlich. Zunächst ist eine Anpassung der Bewehrung und der Feinbetonmischung auf die Bedürfnisse des Wasserbaus gemeinsam mit dem Fertigteilwerk erforderlich. Anschließend sind die Materialkennwerte der Fertigteile zu bestimmen.

Das Hauptaugenmerk dieser Instandsetzungsvariante ist der Verankerung, Fugenausbildung und Bettung zu widmen. Hierzu sind sowohl FEM-Berechnungen als auch großformatige Bauteilversuche erforderlich.

5.2.3.3 Vorgehensweise bei der Entwicklung einer Vorsatzschale aus Ortbeton für Wasserbauwerke

Die Herausforderung bei der Entwicklung einer Vorsatzschale aus Ortbeton besteht in der hohlstellenfreien Einbringung des Feinbetons. Hierzu sind Untersuchungen unter Variation des Feinbetons, der Bewehrung, der Schalendicke sowie der Abmessungen des Betonierabschnittes und der Einbringungsart durchzuführen. Da die Instandsetzung von Wasserbauwerken mit dünnschichtigen textilbewehrten Spritzmörtelschichten ein wesentlich größeres Potential hinsichtlich der Arbeits- und Zeitersparnis aufweist, sollte die Variante des Ortbetons zunächst zurückgestellt werden.

LITERATUR

- /All06/ Allers, P. ; Maier, D.H. ; Dr. Fleischer, H.: Vergleichende Beispielrechnung Schleuse Süfeld – Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 89 (2005)
- /Bal03/ Balthaus, H. ; Dahl, J.: Neue Wege beim Brandschutz im Tunnelbau. Berlin : Ernst & Sohn, 2003. - In: Deutscher Bautechnik-Tag 2003, Vorträge, S. 397-409
- /Bec06/ Becker, H.: Bemessungsbeispiel Stever-Durchlass – Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 89 (2005)
- /Böd06/ Bödfeld, J.: Bemessungsbeispiel Schleuse Hohenwarte - Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 89 (2005)
- /Bra02/ Brameshuber, W. ; Banholzer, B. ; Gries, T. ; Al-Masri, A.: Methode zur Untersuchung des Versagensmechanismus unter Zugbelastung von Multifilament-Garnen für die Betonbewehrung. In: Technische Textilien 45 (2002), Nr. 2, S. 98-99
- /Bra06/ Brameshuber, W. ; RILEM ; RILEM TC 201-TRC: Textile Reinforced Concrete. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC. Bagneux : RILEM, 2006. – Report 36
- /Bra07/ Brameshuber, W.; Mott, R.: Nachträgliche Abdichtung von Gebäuden mit Textilbeton - Konzeption und erste Erfahrungen. (Subsequent Waterproofing of Buildings with Textile Concrete - Conzeption and first Experiences). In: BFT International 73 (2007), Nr. 2, S. 146-147 [ISSN 0373-4331]
- /Cur03/ Proceedings of the 2nd Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS2). Dresden : Lehrstuhl für Massivbau, 29.9.2003-1.10.2003, (Curbach, M. (Ed.))
- /Cur03a/ Curbach, M. ; Ortlepp, R.: Besonderheiten des Verhaltens von Verstärkungsschichten aus textilbewehrtem Beton. Dresden : Lehrstuhl für Massivbau, 2003. - In: Textile Reinforced Structures, Proceedings of the 2nd Colloquium, Dresden, 29.9.2003-1.10.2003, (Curbach, M. (Ed.)), S. 361-374
- /Cur03b/ Curbach, M. ; Brückner, A.: Textile Strukturen zur Querkraftverstärkung von Stahlbetonbauteilen. Dresden : Lehrstuhl für Massivbau, 2003. - In: Textile Reinforced Structures, Proceedings of the 2nd Colloquium, Dresden, 29.9.2003-1.10.2003, (Curbach, M. (Ed.)), S. 347-360
- /DIN1045/ DIN 1045-1:2001-07 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Teil 1: Bemessung und Konstruktion
- /DIN1055/ DIN 1055-1:2002-06 Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1: Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen
- /DIN18551/ DIN 18551:2005-01 Spritzbeton – Anforderungen, Herstellung, Bemessung und Konformität
- /DIN19702/ DIN 19702:1992-10 Standsicherheit von Massivbauwerken im Wasserbau

- /DIN206/ DIN EN 206-1:2001-07 Beton; Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206-1:2000
- /Har00/ Haroske, G.: Hydroabrasionsverschleiß von Betonoberflächen. Berlin : Beuth. - In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (2000), Nr. 511, S. 1-121
- /Har00a/ Haroske, G. ; Vala, J. ; Diederichs, U.: Beton und Mörtel für die Instandsetzung verschleißgeschädigter Betonbauteile im Wasserbau. Berlin : Beuth. - In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (2000), Nr. 511, S. 123-134
- /HEG04/ Hegger, J. ; Will, N. ; Curbach, M. ; Jesse, F.: Tragverhalten von textilbewehrtem Beton. In: Beton und Stahlbetonbau 99 (2004), Nr. 6, S. 452-455
- /Hin06/ Hinzen, M. ; Brameshuber, W.: Hybrid Short Fibres in Fine Grained Concrete. Bagneux : RILEM, 2006. - In: Textile Reinforced Concrete. Proceedings of the 1st International RILEM Symposium, Aachen, 6./7. September 2006, (Hegger, J. ; Brameshuber, W. ; Will, N. (Eds.)), S. 23-32
- /ICT06/ Hegger, J. ; Brameshuber, W. ; Will, N. ; DFG ; RILEM: Textile Reinforced Concrete. Proceedings of the 1st International RILEM Symposium, Aachen, 6./7. September 2006. Bagneux : RILEM, 2006
- /ISB01/ Bewehren von Stahlbeton-Tragwerken; Institut für Stahlbeton Bewehrung e.V.
- /Krü03/ Krüger, M. ; Reinhardt, H.-W. ; Ozbolt, J.: Einfluß des Verbunds auf das Tragverhalten vorgespannter und nicht vorgespannter textilbewehrter Betonplatten. Frankfurt : Messe, 2003. - In: 12th International Techtexil Symposium for Technical Textiles, Nonwovens and Textile Reinforced Materials, Frankfurt, 7-10 April, 2003, Paper 4.15, 15 Seiten
- /Krü05/ Krüger, M. ; Reinhardt, H.W. ; Raupach, M. ; Orłowsky, J.: Textilbewehrter Beton unter Brandbeanspruchung : Untersuchungen zum Tragverhalten im Brandfall. In: Betonwerk und Fertigteile-Technik 71 (2005), Nr. 10, S. 38-40,42, 44-48
- /Kob02/ Kobayashi, K. ; Cho, R.: Flexural Characteristics of Steel Fibre and Polyethylene Fibre Hybrid-Reinforced Concrete. In: Composites 13 (1982), Nr. 2, S. 164-168
- /Mau04/ Maultzsch, M.: Dünnschichtige Spritzmörtel - Materialien für geringer feste Untergründe. Karlsruhe, Hamburg, Ilmenau : Bundesanstalt für Wasserbau, BAW, 2004. - In: BAW-Kolloquium der Abteilung Bautechnik, Instandsetzen von Wasserbauwerken ZTV-W LB 219 (2004), Hannover, 17. Oktober 2004, S. 41-46

- /Ori05/ Orlowsky, J.: Zur Dauerhaftigkeit von AR-Glasbewehrung in Textilbeton. Berlin : Beuth. - In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (2005), Nr. 558; zugl.: RWTH Aachen, Fachbereich 3, Dissertation, 2004
- /Pac03/ Pachow, U.: Textil - Reinforced Concrete New Manufacturing Technologies and Applications. Frankfurt : Messe, 2003. - In: 12th International Techtexil Symposium for Technical Textiles, Nonwovens and Textile Reinforced Materials, Frankfurt, 7-10 April, 2003, Paper 4.17, 24 Seiten
- /Rau06/ Raupach, M. ; Orlowsky, J. ; Büttner, T. ; Dilthey, U. ; Schleser, M.: Epoxy-impregnated Textiles in Concrete - Load Bearing Capacity and Durability. Bagnaux : RILEM, 2006. - In: Textile Reinforced Concrete. Proceedings of the 1st International RILEM Symposium, Aachen, 6./7. September 2006, (Hegger, J. ; Brameshuber, W. ; Will, N. (Eds.)), S. 77-88
- /Rei05/ Reinhardt, H.W. ; Naaman, A.E.: Geschichtliche Entwicklung hochduktiler Betone mit Kurzfaserbewehrung. Stuttgart : ibidem, 2005. - In: Hochduktiler Betone mit Kurzfaserbewehrung : Entwicklung - Prüfung - Anwendung, Tagungsband, Kaiserslautern, Oktober 2005, (Mechtcherine, V. (Ed.)), S. 1-9
- /RLSIB/ Deutscher Ausschluß für Stahlbeton ; DAfStb ; DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze. Teil 2: Bauprodukte und Anwendung. Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und Überwachung der Ausführung. Teil 4: Prüfverfahren. Ausgabe Oktober 2001. Berlin : Deutscher Ausschluß für Stahlbeton
- /Vos05/ Voss, S.: Tragverhalten und Bemessung von Bauteilen aus Textilbewehrtem Beton. In: Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005), Tagungsband Doktoranden-Symposium 45. Forschungskolloquium des DAfStb am 6. - 7. Oktober 2005 in Wien, S. 215-218
- /Wal04/ Walk-Laufer, B. ; Raupach, M. ; Dilger, K. ; Böhm, S. ; Mund, F. ; ET AL: The Interconnection Between Inner Filaments of Textile Reinforcement by Means of Polymer Modified Concrete. Napoli : Liguori Editore, 2004. - In: Proceedings of the First Intern. Conf. on Innovative Materials and Technologies for Construction and Restoration, Lecce, June 6-9, 2004, (La Tegola, A. ; Nanni, A. (Eds.)) Vol. 1, S. 150-159
- /Wes01/ Westendarp, A.: Frostbeanspruchung von Verkehrswasserbauten. Düsseldorf : VBT, Verlag für Bau und Technik, 2002. - In: Hüttensandhaltiger Zement (Rendchen, K. (Hrsg.)), S. 121-127 Karlsruhe, Hamburg, Ilmenau : Bundesanstalt für Wasserbau, BAW, 2001. - In: BAW-Kolloquium der Abteilung Bautechnik, Messwertgestützte Nachweise für Wasserbauwerke, 17. Oktober 2001, Hannover, S. 5-6
- /Wes06/ Westendarp, A. ; Reschke, T. ; Kühne, H.-C. ; Maultzsch, M. ; Dauberschmidt, C. ; Rößler, G.: Instandsetzung von Wasserbauwerken aus Beton : Planung, Bauausführung und Qualitätssicherung, Teil 1+2. In: Beton 56 (2006), Nr. 1/2, S. 22-24,26-29, Nr. 3, S. 94-96,97-100

- /ZTV215/ Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen ; BMV ; ZTV-W: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken (Leistungsbe- reich 215) Ausgabe 2004
- /ZTV219/ Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen ; BMV ; ZTV-W: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken (Leistungsbe- reich 219) Ausgabe 2004

Tabelle A1: Einordnung des Altbetons im Bereich der Instandsetzungsebene

Altbetonklasse	Druckfestigkeit ¹⁾	Oberflächenzugfestigkeit ²⁾	
		Mittelwert	kleinster Einzelwert
N/mm ²			
1	2	3	4
A1	≤ 10	–	–
A2	> 10	≥ 0,8	≥ 0,5
A3	> 20	≥ 1,2	≥ 0,8
A4	> 30	≥ 1,5	≥ 1,0

1) Mittelwert der Druckfestigkeit (Bestimmung nach DIN EN 12504-1)

2) kleinster Einzelwert/Mittelwert (Bestimmung nach DIN EN 1542)

Tabelle A2: Zulässige Schutz- und Instandsetzungssysteme bzw. Instandsetzungsverfahren gemäß ZTV-W LB 219 bei flächigem Auftrag

Altbetonklasse	Beton (Abschnitt 3)	Spritzbeton (Abschnitt 4)	Spritzmörtel/ Spritzbeton (Abschnitt 5)	PCC (Abschnitt 6)	OS (Abschnitt 7)
	d ≥ 90 mm ¹⁾	d ≥ 90 mm ¹⁾	20 ≤ d ≤ 60 mm	10 ≤ d ≤ 50 mm	
	verankert, bewehrt		unverankert, unbewehrt		
1	2	3	4	5	6
A1	X	X ²⁾	–	–	–
A2	X	X	S-A2 ³⁾	–	–
A3	X	X	S-A3 ³⁾	–	X ⁴⁾
A4	X	X	S-A4 ³⁾	X	X

1) Für Vorsatzschalen für Schleusenammerwände und vergleichbare Bauteile siehe Abschnitte 3.3.2 bzw. 4.3.2

2) Nur bei d ≥ 150 mm

3) Spritzmörtel/Spritzbetone gemäß Abschnitt 5, die hinsichtlich ihres Festigkeits- und Verformungsverhaltens den entsprechenden Altbetonen angepasst sind. Insbesondere bei den Altbetonklassen A2 und A3 ist darüber hinaus bei der Planung von Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen das mögliche Auftreten erhöhter Wassersättigungsgrade im Altbeton hinter dem Schutz- und Instandsetzungssystem zu berücksichtigen

4) Nur für Betonuntergründe, bei denen der Mittelwert der Oberflächenzugfestigkeit mindestens 1,3 N/mm² beträgt

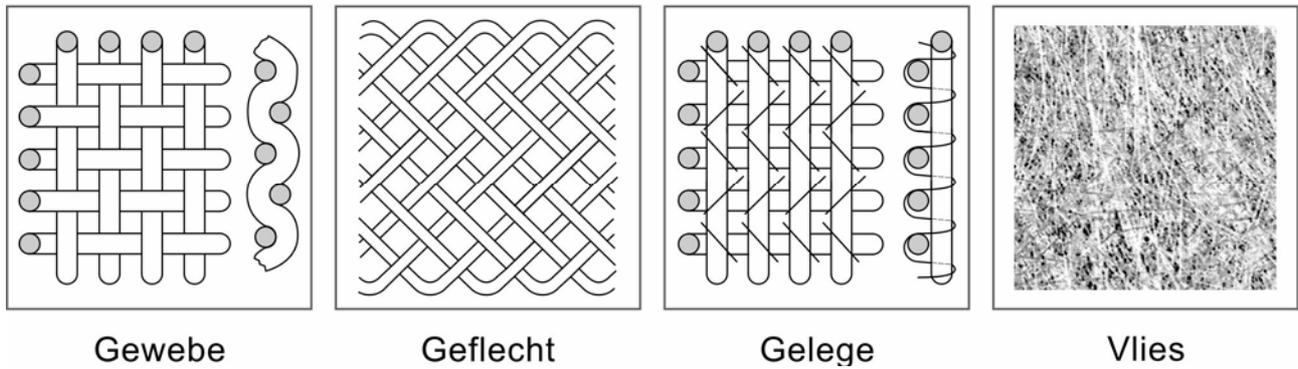


Bild B1: Ausführungsvarianten von technischen Textilien: Gewebe (nur 0/90°-Ausrichtung möglich), Geflecht (beliebige Ausrichtung der Garne), Gelege, Vlies

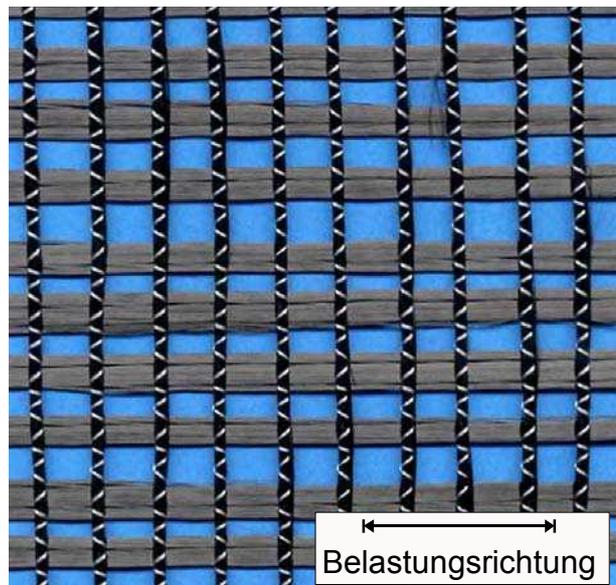
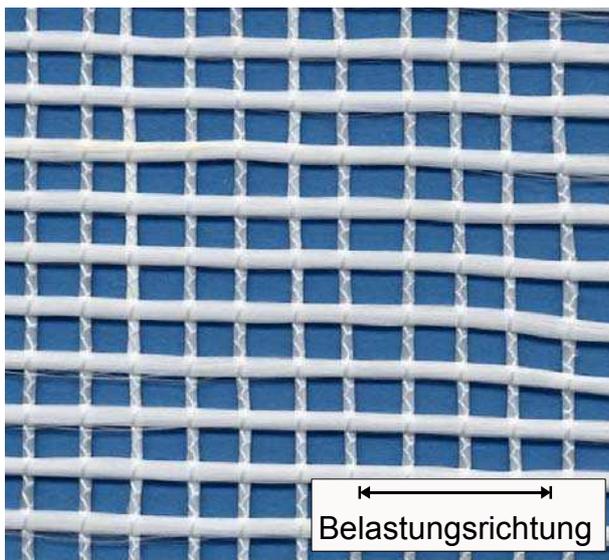


Bild B2: Links: AR-Glasgelege MAG 07-03; Rechts: Carbongelege MAG 04-03

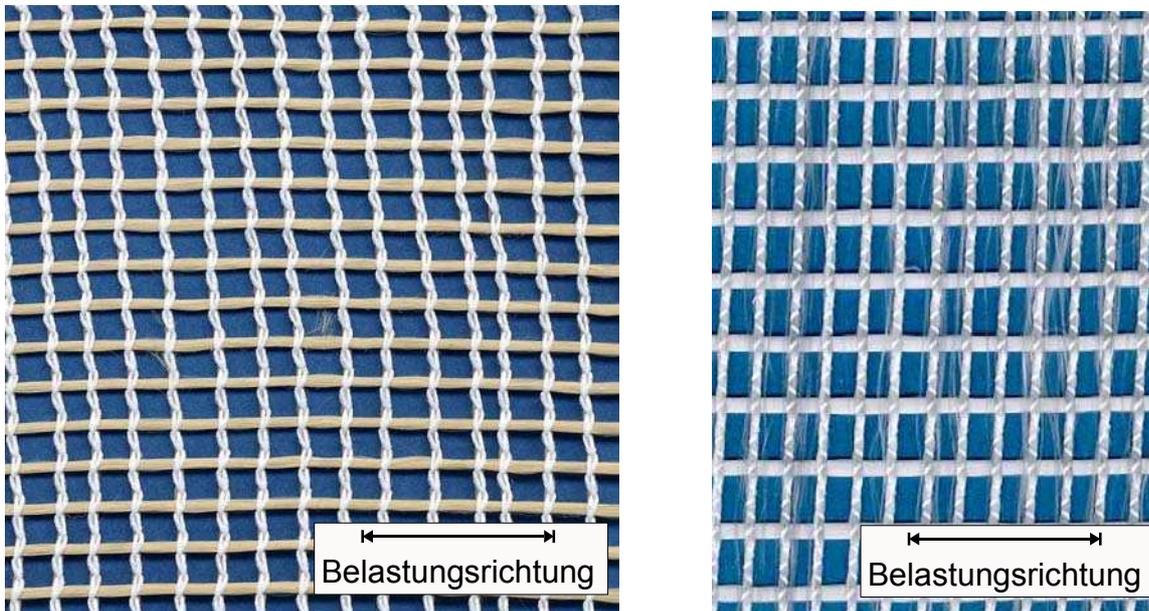


Bild B3: Links: Aramidgelege MAG 09-03; Rechts: AR-Glasgelege MAG 01-03

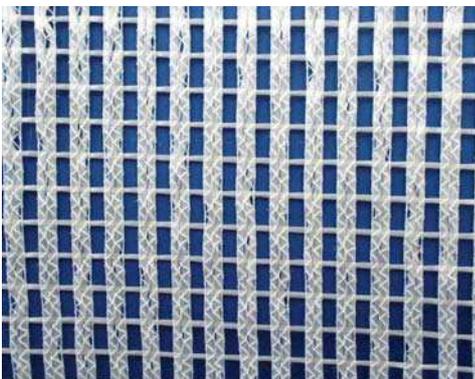


Bild B4: AR-Glasgelege MAG 2D-02-06

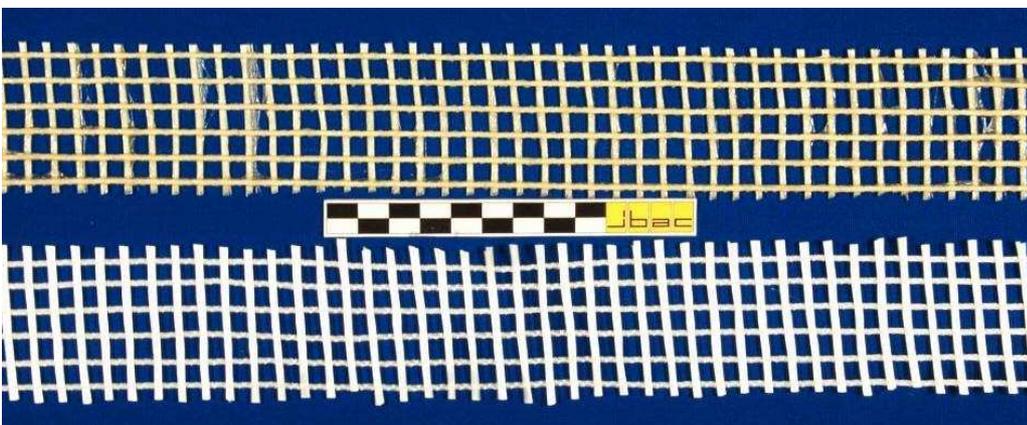


Bild B5: Ansicht von zwei mit Epoxidharz getränkten Gelegen

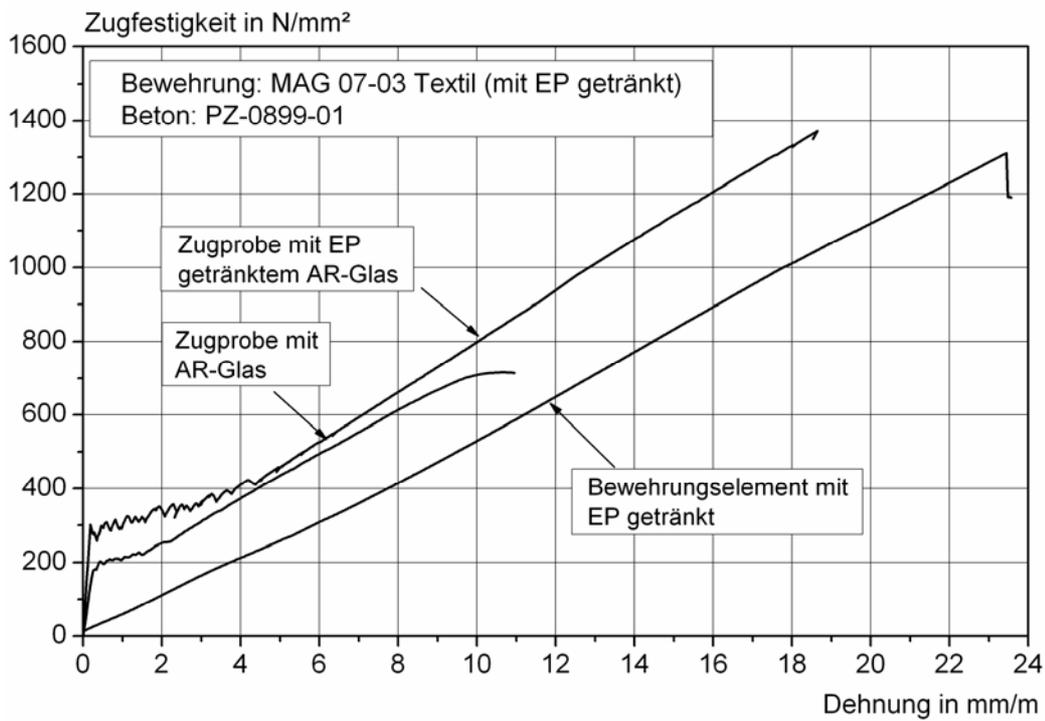
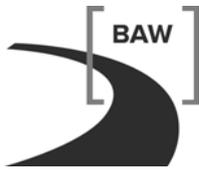


Bild B6: Vergleich der Spannungs-Dehnungslinien von Textilbetonen mit AR-Glasgelegen mit und ohne Epoxidharztränkung

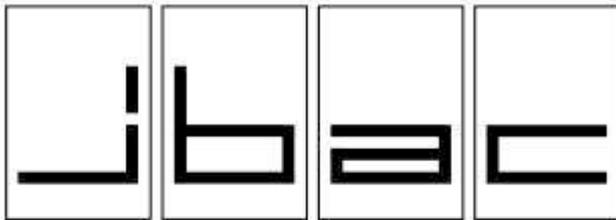


Bild B7: Mögliche Versuchsdurchführung zur Prüfung der Rissüberbrückungsfähigkeit von textilen Bandagen



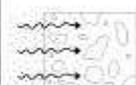
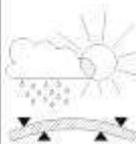
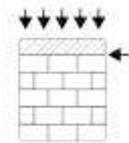
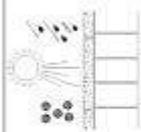
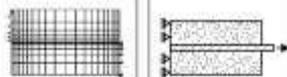
Anlage 2:

Forschungsbericht Nr. F 7071 des Institutes für Bauforschung (ibac) der RWTH Aachen:
Instandsetzung von Wasserbauwerken mit dünnen textil- bzw. faserbewehrten Spritzmörtel-
schichten



INSTITUT FÜR BAUFORSCHUNG AACHEN

FORSCHUNG · ENTWICKLUNG
ÜBERWACHUNG
PRÜFUNG · BERATUNG



RWTHAACHEN
UNIVERSITY

Forschungsbericht F 7071

Instandsetzung von
Wasserbauwerken mit dünnen
textil- bzw. faserbewehrten
Spritzmörtelschichten

OJ/Fk

0. Ausfertigung

THEMA

Instandsetzung von Wasserbauwerken mit
dünnen textil- bzw. faserbewehrten
Spritzmörtelschichten

- ABSCHLUSSBERICHT -

Forschungsbericht Nr.

F 7071

vom 07.05.2012

Projektbearbeitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Raupach

Dr.-Ing. J. Orłowsky

Auftraggeber/Förderer

Bundesanstalt für Wasserbau
Kußmaulstr. 17
76187 Karlsruhe

Vertragsdatum/Auftragsbestätigung 07.11.2008

Ihr Aktenzeichen A 395 103 10238

Dieser Bericht umfasst Seiten, davon Textseiten.

Soweit Versuchsmaterial nicht verbraucht ist, wird es nach 4 Wochen vernichtet. Eine längere Aufbewahrung bedarf einer schriftlichen Vereinbarung. Die auszugsweise Veröffentlichung dieses Berichtes, seine Verwendung für Werbezwecke sowie die inhaltliche Übernahme in Literaturdatenbanken bedürfen der Genehmigung des ibac.

<u>INHALTSVERZEICHNIS</u>		Seite
1	EINLEITUNG	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung.....	2
1.3	Vorgehensweise	2
2	PRÜFMETHODEN.....	3
2.1	Mörtelcharakterisierung	3
2.1.1	Allgemeines	3
2.1.2	Biegezug- und Druckfestigkeit	4
2.1.3	E-Modul.....	4
2.1.4	Schwinden	4
2.2	Zugversuche an textilbewehrten Verbundkörpern.....	4
2.3	Rissüberbrückungsversuche.....	5
2.3.1	Versuchsaufbau zum Ende des Forschungsprojektes (Schritt 4).....	5
2.3.2	Versuchsaufbau im Schritt 1 und 2	6
2.3.3	Versuchsaufbau im Schritt 3	6
2.4	Haftzugfestigkeiten	7
3	UNTERSUCHUNGSMATERIALIEN	8
3.1	Textilien.....	8
3.2	Spritzmörtel.....	11
3.3	Probekörperherstellung.....	12

Seite

4	UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	12
4.1	Mörtelcharakterisierung	12
4.2	Zugversuche an den Verbundkörpern.....	14
4.2.1	Arbeitsschritt 1	14
4.2.2	Arbeitsschritt 2	14
4.2.3	Arbeitsschritt 3	14
4.2.4	Arbeitsschritt 4	15
4.3	Rissüberbrückungsversuche.....	16
4.3.1	Arbeitsschritt 1	16
4.3.2	Arbeitsschritt 2	17
4.3.3	Arbeitsschritt 3	18
4.3.4	Arbeitsschritt 4	19
4.4	Haftzugfestigkeiten	22
5	ERPROBUNG AM BAUWERK	22
5.1	Wehr Horkheim	22
5.2	Applikation der textilbewehrten Spritzmörtelschicht	23
5.3	Bauwerksüberwachung.....	26
6	ZUSAMMENFASSUNG	28
7	AUSBLICK	29
8	LITERATUR	30

1 EINLEITUNG

1.1 Problemstellung

Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) an über 140 Bauwerken bzw. Bauteilen, die vorwiegend in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts erstellt worden waren, ergaben, dass 23 % der Betone eine Druckfestigkeit zwischen 10 und 20 N/mm² und eine mittlere Abreißfestigkeit zwischen 0,8 und 1,1 N/mm² aufweisen /Mau04/. Bei 35 % der untersuchten Bauwerke bzw. Bauteile lag die Druckfestigkeit zwischen 20 und 30 N/mm², während die mittlere Abreißfestigkeit etwa 1,2 bis 1,4 N/mm² betrug. Diese massigen, weitgehend unbewehrten Betonbauteile weisen Risse und offene Arbeitsfugen auf /Mau04/. Die Rissbreiten betragen teilweise über 1 mm. Aufgrund tages- und insbesondere jahreszeitlicher Temperaturänderungen sind Rissbreitenänderungen mit Spannweiten von bis zu etwa 0,6 mm rechnerisch möglich. In der Praxis ist jedoch davon auszugehen, dass die Rissbreitenänderungen geringer sein werden. Zur groben Abschätzung der Rissbreitenänderung wurde von einem Abstand der Arbeitsfugen von 1,2 m und einer Temperaturänderung von 50 K ausgegangen. Über diese Risse können Wasser und Schadstoffe in das Bauteil eindringen. Die Instandsetzung derartiger Betonbauwerke wird im Geschäftsbereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) seit 1997 auf Basis der ZTV-W LB 219 /ZTV219/ geplant und ausgeführt. Im Jahr 2004 erschien die überarbeitete Fassung der ZTV-W LB 219 /ZTV219/.

Ist eine flächige Instandsetzung notwendig, so kann entsprechend ZTV-W LB 219 (2004) für die Altbetonklassen A1 bis A4 Beton, Spritzbeton und Spritzmörtel verwendet werden. Beton und Spritzbeton sind in einer Dicke ≥ 90 mm bewehrt und mit dem Untergrund verankert herzustellen. Die Vergrößerung des Bauteilvolumens, insbesondere der Bauteildicke, bzw. der hohe Herstellungsaufwand sprechen häufig gegen dieses Vorgehen. Für Bauteile mit den Altbetonklassen A2 bis A4 können auch unbewehrte und nicht verankerte Spritzmörtel bzw. Spritzbetonschichten in einer Dicke von 20 bis 60 mm eingesetzt werden, die hinsichtlich ihrer Festigkeits- und Verformungseigenschaften den entsprechenden Altbetonen angepasst sind. Insbesondere für die Altbetonklassen A2 und A3 bietet der Markt derzeit nur wenige geeignete Systeme an. Treten die bereits beschriebenen Rissbewegungen im Untergrund auf, so sind die unbewehrten Spritzmörtelschichten nur einsetzbar, wenn das Durchschlagen von Rissen in die Instandsetzungsschicht akzeptiert werden kann. Die Anordnung konventioneller Verankerung und Bewehrung ist bei diesen Schichtdicken wegen der im Hinblick auf den Korrosionsschutz der Bewehrung unzureichenden Betondeckung im Regelfall nicht möglich. Dies wurde angesichts der skizzierten Rissproblematik bereits bei der Erstellung der ZTV-W kritisch betrachtet, alternative technische Lösungen standen zum damaligen Zeitpunkt allerdings noch nicht zur Verfügung. Hieraus resultiert somit der Bedarf nach alternativen Verfahren zur flächigen Instandsetzung von Wasserbauwerken.

1.2 Zielsetzung

Im Rahmen dieses von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) initiierten und beauftragten sowie vom Institut für Bauforschung Aachen (ibac) realisierten Forschungsvorhabens sollte in Anbetracht der erläuterten Problemstellung untersucht werden, inwieweit mit Hilfe textilbewehrter Spritzmörtel eine Verteilung eines im Altbetonuntergrund vorhandenen Risses auf viele feine Risse im Instandsetzungsmörtel möglich ist. Die Spritzmörtel sollten dabei die Anforderungen der ZTV-W LB 219, Abschnitt 5, erfüllen. Bild 1 zeigt eine Skizze der Zielsetzung.

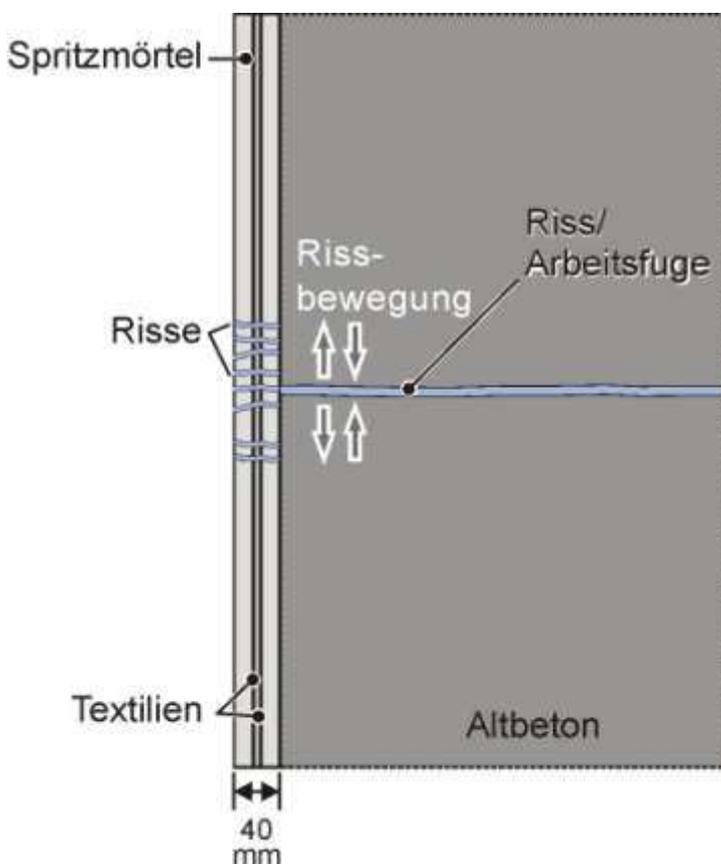


Bild 1: Prinzipskizze zur Verdeutlichung der Zielsetzung

1.3 Vorgehensweise

Zur Realisierung dieses Ziels wurde das Forschungsvorhaben in fünf Arbeitsschritte eingeteilt. Nach jedem Arbeitsschritt wurde anhand der Untersuchungsergebnisse der nächst geplante Arbeitsschritt angepasst. Bild 2 gibt einen Überblick über die fünf Arbeitsschritte.

Hinsichtlich der untersuchten Materialkombinationen weichen Schritte 2, 3, 4 und 5 aufgrund der im 1. Schritt gemachten Erfahrungen von der ursprünglichen Planung ab. Dies erfolgte in enger Absprache mit dem Auftraggeber.

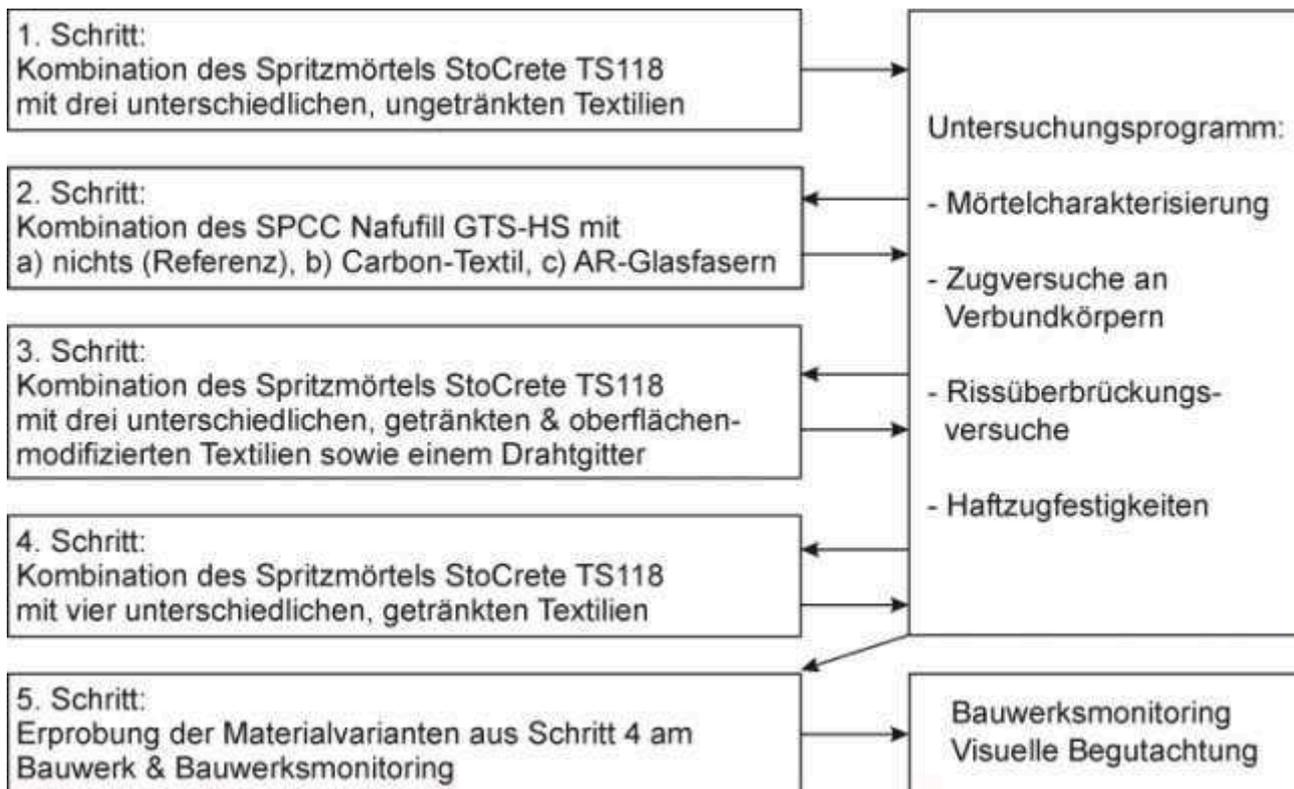


Bild 2: Vorgehensweise im Forschungsprojekt

Abschließend im Schritt 5 erfolgte die Erprobung der anhand der Laboruntersuchungen favorisierten Lösungsvarianten am Bauwerk. Hierfür stand ein Wehrpfeiler am Wehr Horkheim zur Verfügung.

2 PRÜFMETHODEN

2.1 Mörtelcharakterisierung

2.1.1 Allgemeines

Zur Charakterisierung des Spritzmörtels wurden während der Probekörperherstellung Spritzpfannen mit dem Spritzmörtel im Trockenspritzverfahren gefüllt. Die Spritzpfannen wurden zuvor durch Strahlen mit festem Strahlmittel aufgeraut. Die Mörtelcharakterisierung erfolgte nach RL SIB /RL01/.

2.1.2 Biegezug- und Druckfestigkeit

Biegezug- und Druckfestigkeit wurden gemäß DIN EN 196-1 an jeweils 3 Prismen der Altersstufen 7 d, 28 d und 90 d nach Lagerung B (24 h feucht, dann 23 °C / 50 % relative Luftfeuchte) ermittelt.

2.1.3 E-Modul

Der Elastizitätsmodulus wurde nach DIN EN 13 412 im Druckversuch an jeweils 3 Zylindern bestimmt. Die Zylinder hatten einen Durchmesser von 50 mm und eine Höhe von 150 mm.

2.1.4 Schwinden

Das Schwinden wurde an jeweils 6 Prismen nach 2 d, 7 d, 14 d, 21 d und 28 d bei Lagerung B bestimmt. Zusätzlich wurden zwei weitere Varianten zur Erfassung des frühen Schwindens betrachtet. Bei der ersten Variante erfolgte das kontinuierliche Messen des Schwindens des SPCCs in einer Schwindrinne. Bei der zweiten Variante sollte mittels Messmarken und eines Setzdehnungsmessers das Schwinden der hergestellten Probekörper innerhalb der ersten 3 d verfolgt werden.

2.2 Zugversuche an textilbewehrten Verbundkörpern

Zur Charakterisierung des neuen Verbundwerkstoffes wurden textilbewehrte Spritzmörtelplatten im Trockenspritzverfahren mit einer Dicke von 30-40 mm (abhängig von der textilen Bewehrung) hergestellt. Aus den Platten wurden jeweils vier Streifenproben mit einer Länge von 500 mm und einer Breite von 100 mm herausgesägt. Die Ermittlung der Bruchlast dieser Streifenproben erfolgte im Zugversuch mit einer Prüfgeschwindigkeit von 0,5 mm/min. Die Lasteinleitung geschah über aufgeklebte Stahllaschen mit einer Länge von 100 mm. Bild 3 zeigt die Probekörper.



Bild 3: Probekörper für die Zugversuche

2.3 Rissüberbrückungsversuche

2.3.1 Versuchsaufbau zum Ende des Forschungsprojektes (Schritt 4)

Zur Bestimmung der Rissverteilung im bewehrten Instandsetzungsmörtel, ausgehend von einem im Betonuntergrund vorhandenen Riss, wurden die in Bild 4 dargestellten Rissüberbrückungskörper hergestellt. Zur Herstellung des Betonkörpers wurde der in der ZTV-W LB 219 definierte Grundkörperbeton A3 verwendet. Die Körper hatten eine Breite von 120 mm. Um die freie Dehnlänge der Instandsetzungsschicht zu erhöhen, wurde ab dem 2. Arbeitsschritt (Bild 4) im Bereich des Risses mittels eines 10 cm breiten Trennstreifens aus Klebeband eine Kraftübertragung zwischen Altbeton und Spritzmörtel unterbunden.

Die Lasteinleitung erfolgte in der Prüfmaschine mit einer Prüfgeschwindigkeit von 0,05 mm/min über Stahlträger, welche auf den Altbeton aufgeklebt worden waren. Während des Versuches wurde die Rissöffnung im Betonkörper beidseitig über induktive Wegnehmer kontinuierlich ermittelt. Es folgten zyklische Versuche mit Rissöffnungen im Betonkörper bis 0,7 mm. Hierbei wurden Rissbreiten, Rissanzahl und Rissabstände im Instandsetzungsmörtel in Abhängigkeit von der Belastung bestimmt.

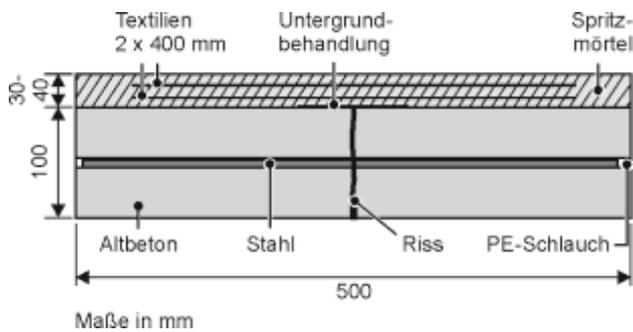


Bild 4: Links: Rissüberbrückungskörper zur Untersuchung textilbewehrter Spritzmörtel. Rechts: Herstellung der Rissüberbrückungskörper

2.3.2 Versuchsaufbau im Schritt 1 und 2

Der in Bild 4, links, dargestellte Probenaufbau wies im Schritt 1 noch keine lokale Untergrundbehandlung oberhalb des Risses auf. Diese lokale Untergrundbehandlung erfolgte erst im Schritt 2. Ansonsten wurde der Riss im Altbeton wie in Abschnitt 2.3.1 im Rahmen eines Zugversuchs geöffnet und das Verhalten des bewehrten Spritzmörtels dabei beobachtet.

2.3.3 Versuchsaufbau im Schritt 3

Im Schritt 3 wurden erstmalig getränkte Textilien verwendet. Die daraus resultierenden, deutlich höheren Zugkräfte während der Versuche verursachten immer ein Versagen im Altbeton. Da anhand der Prüfmaschine lediglich der Riss im Altbeton aufgeweitet werden sollte, wurde wie bereits geschrieben, die Last über Stahllaschen in den Altbeton eingebracht. Diese sollte dann über die Rissöffnung in den Spritzmörtel übertragen werden. Durch das frühzeitige Versagen im Altbeton konnte jedoch das Verhalten des Spritzmörtels nicht mehr überprüft werden. Aus diesem Grund wurde nach Erkennen der Problematik der Versuchsaufbau auf einen 4-Punkt-Biegeversuch umgerüstet (Bild 5). Dabei erfolgte eine weggesteuerte Belastung mit 0,1 mm/min.



Bild 5: Biegeversuch an den Rissüberbrückungskörpern

Zur Durchführung des Schritts 4 wurde dann der Altbeton komplett mit Stahllaschen gesichert, wie in Bild 10 dargestellt.

2.4 Haftzugfestigkeiten

Zur Beurteilung der Adhäsion zwischen Altbeton/Spritzmörtel sowie Spritzmörtel/Textilien wurden Haftzugversuche durchgeführt. Dazu wurden in den geprüften Rissüberbrückungskörpern Ringnuten im Durchmesser von 50 mm bis in eine Tiefe von 10 mm in den Betonuntergrund gebohrt und ein zylindrischer Stahlstempel aufgeklebt. Das Abziehen des Stahlstempels erfolgte mit einer Laststeigerungsrate von 100 N/s mit einem Haftzuggerät. Da das Versagen immer im Altbeton auftrat, wurde die Adhäsion zwischen Spritzmörtel und Textilien in einem zusätzlichen Zugversuch an den abgezogenen Zylindern bestimmt. Die Laststeigerungsrate betrug dabei ebenfalls 100 N/s. Bild 6 zeigt die Probekörper.



Bild 6: Zugversuche am textilbewehrten Spritzmörtel zur Bestimmung der Adhäsion zwischen Spritzmörtel und Textilien

3 UNTERSUCHUNGSMATERIALIEN

3.1 Textilien

Insgesamt wurden 10 unterschiedliche Textilien und 1 Edelstahlgitter getestet. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die untersuchten Textilien.

Tabelle 1: Übersicht über die untersuchten Bewehrungen

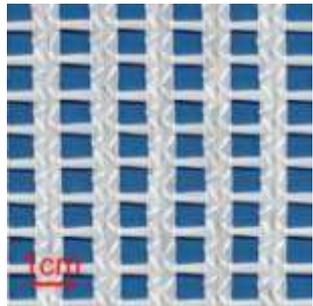
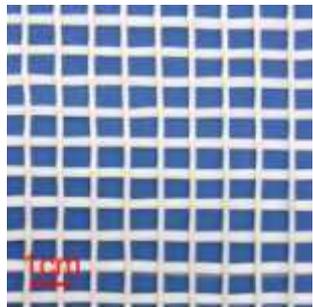
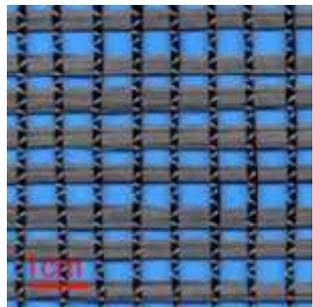
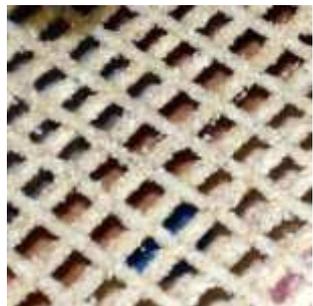
Foto	Bezeichnung	Beschreibung
1	2	3
	2D-G-1200	AR-Glastextil, 2x1200 tex in 0° & 1x2400 in 90°, Gitterweite 8 mm x 8 mm
	2D-G-2400	AR-Glastextil, 2400 tex in 0° & 90°, Gitterweite 8 mm x 8 mm
	2D-C-1600	Carbontextil, 1600 tex in 0° & 90°, Gitterweite 8 mm x 8 mm
	2D-G-2400m1	AR-Glastextil, 2400 tex in 0° & 90°, Gitterweite 8 mm x 8 mm Mit Epoxidharz getränkt und Sand abgestreut

Tabelle 1: Fortsetzung (1)

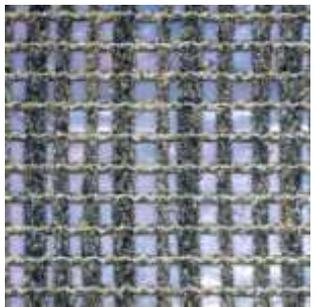
Foto	Bezeichnung	Beschreibung
1	2	3
	2D-G-2400m2	AR-Glastextil, 2400 tex in 0° & 90°, Gitterweite 8 mm x 8 mm Mit Epoxidharz getränkt und AR-Glaskurzfasern abgestreut
	2D-C-1600m1	Carbontextil, 1600 tex in 0° & 90°, Gitterweite 8 mm x 8 mm Mit Epoxidharz getränkt und Sand abgestreut
	Hasendraht	Edelstahlgitter
	2D-15-09+EP	Epoxidharzgetränktes AR-Glastextil, 2400 tex in 0° & 90°, Gitterweite 8 mm x 8 mm
	41-521	Styrol-Butadienbeschichtetes AR-Glastextil, 2400 tex in 0° & 90°, Gitterweite 16 mm x 10 mm

Tabelle 1: Fortsetzung (2)

Foto	Bezeichnung	Beschreibung
1	2	3
	G600	Styrol-Butadienbeschichtetes Carbontextil, 3500 tex in 0° & 90°, Gitterweite 14 mm x 7 mm
	41-521 + G300	AR-Glastextil 41-521 und Styrol-Butadienbeschichtetes Carbontextil, 3500 tex in 0° & 90°, Gitterweite 28 mm x 28 mm

Im Allgemeinen wurden in jedem Probekörper Textilien in zwei Ebenen eingelegt. Dabei wurde lagenweise gearbeitet, d. h. nach der ersten Spritzmörtelschicht von knapp 1 cm Dicke wurde die erste Textillage eingebracht, dann folgten eine Spritzmörtelschicht und die zweite Textillage sowie abschließend die letzte Spritzmörtelschicht. Ausnahme war das Textil 41-521 – hier wurden in der 2. Textillage 2 Lagen Textilien eingebracht. Zusätzlich wurde die Kombination von 41-521 (2lagig) mit G300 (einlagig in der 2. Schicht) geprüft.

Bei der Bemessung der Textilien wurde angenommen, dass die Bruchkraft des Mörtels je laufenden Meter kleiner sein muss als die 1,5fache Bruchkraft der textilen Bewehrung je laufenden Meter. Der Faktor von 1,5 beinhaltet Materialalterung /Orl08/, stellt aber noch nicht den für Bauteilbemessungen erforderlichen Sicherheitsfaktor dar.

3.2 Spritzmörtel

Es wurden zwei unterschiedliche Spritzmörtel betrachtet. Bei dem Spritzmörtel S-A3 handelt es sich um StoCrete TS 118 der Fa. StoCretec GmbH. Der polymermodifizierte Trockenspritzmörtel (SPCC) wurde entsprechend den Anforderungen der ZTV-W LB 219 zur Instandsetzung von Betonbauteilen von Wasserbauwerken speziell für Betonuntergründe

der Altbetonklasse A3 entwickelt. Er ist durch die BAW hierfür zugelassen und gelistet. Mit diesem Mörtel wurden alle Bewehrungsvarianten, die in Tabelle 1 aufgeführt sind, untersucht.

Zusätzlich wurde der Einfluss von Kurzfasern untersucht. Hierzu wurde der Trockenspritzmörtel SPCC Nafufill GTS-HS der Firma MC-Bauchemie verwendet. Dieser Mörtel wurde einerseits mit AR-Glasfasern (CemFil 62/3) mit 12 mm Länge und einem Fasergehalt von 2 Vol.-% und andererseits mit dem Carbondtextil 2D-C-1600 kombiniert.

3.3 Probekörperherstellung

Die Herstellung der Proben im Trockenspritzverfahren erfolgte jeweils beim Hersteller des Spritzmörtels. Hierbei wurden jeweils vier Rissüberbrückungskörper in einer Schalung zusammengefasst. Somit erfolgte je Materialvariante die Herstellung einer textilbewehrten Spritzmörtelplatte (-> 4 Streifenproben für Zugversuche) und eines Verbundkörpers mit Altbeton A3 unterhalb des textilbewehrten Spritzmörtels (-> 4 Rissüberbrückungskörper, siehe Bild 4, rechts). Es wurde wie bereits erläutert lagenweise gearbeitet, d. h. nach der ersten Spritzmörtelschicht von knapp 1 cm Dicke wurde die erste Textillage eingebracht, dann folgten eine Spritzmörtelschicht und die zweite Textillage sowie abschließend die letzte Spritzmörtelschicht. Zielgröße waren jeweils Spritzmörtellagen von 1 cm Dicke. Die Textilien wurden somit einlagig in zwei Ebenen eingebracht. Ausnahme war das Textil 41-521 – hier wurden in der 2. Textillage 2 Lagen Textilien eingebracht. Zusätzlich wurde die Kombination von 41-521 (2lagig) mit G300 (einlagig in der 2. Schicht) geprüft.

Die Oberflächen wurden spritzrau belassen. Die Bilder B1 bis B2 verdeutlichen die Probenherstellung. Zur Befestigung der Textilien am Bauwerk bei der in Schritt 5 geplanten Erprobung wurden Glasfaserdübel mit Edelstahltellern verwendet. Nach einer 7tägigen Lagerung unter Folie erfolgten der Probentransport zum Labor sowie die Vorbereitung der Versuchskörper.

4 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

4.1 Mörtelcharakterisierung

In Tabelle 2 werden die Ergebnisse der Mörtelcharakterisierung zusammengefasst. Der Spritzmörtel StoCrete TS 118 weist nach 28 Tagen eine Biegezugfestigkeit von 8,2 N/mm² auf, die Druckfestigkeit beträgt 47,8 N/mm² und der E-Modul 32600 N/mm². Das Schwind-

maß liegt zu diesem Zeitpunkt bei -0,59 mm/m. Der Spritzmörtel Nafufill GTS-HS weist nach 28 Tagen vergleichbare Biegezug-, Druck- und Schwindwerte auf. Allerdings ist der E-Modul mit 21500 N/mm² deutlich geringer. Durch die Zugabe von AR-Glasfasern zum Nafufill GTS-HS wurde die Verarbeitung des Spritzmörtels erschwert, wahrscheinlich wurde die Wasserzugabe deswegen erhöht. Dies würde die geringeren Druckfestigkeiten und das höhere Schwindmaß im Vergleich zum nicht modifizierten Nafufill GTS-HS erklären. Der Verlust an Biegezugfestigkeit aufgrund des höheren w/z-Wertes wird durch die AR-Glasfasern anscheinend kompensiert.

Tabelle 2: Kennwerte der Mörtel StoCrete TS 118, Nafufill GTS-HS und Nafufill GTS-HS mit AR-Glasfasern (Lagerung: 2d feucht, danach 23 °C und 50 % r.F.)

Probenkennung	Prüfgröße	Einheit	Prüfalter			
			7 d	14 d	28 d	90 d
1	2	3	4	5	6	7
1.1 TS 118	Biegezug	N/mm ²	5,5	-	8,2	7,7
	Druck		42,1	-	47,8	44,3
	Schwinden	mm/m	-0,31	-0,46	-0,59	-0,70
	E-Modul	N/mm ²	-	29900	32600	-
2.1 GTS-HS	Biegezug	N/mm ²	5,9	-	8,2	8,7
	Druck		38,8	-	48,0	48,2
	Schwinden	mm/m	-0,21	-0,51	-0,64	-0,74
	E-Modul	N/mm ²	-	-	21500	-
2.2 GTS-HS & AR-Glasfasern	Biegezug	N/mm ²	5,9	-	8,2	7,6
	Druck		30,7	-	37,9	37,5
	Schwinden	mm/m	-0,27	-	-0,78	-0,86
	E-Modul	N/mm ²	-	-	26200	-

Bild 7 zeigt ein geringeres Schwinden des StoCrete TS 118 in der Schwindrinne im Vergleich zu den Prismen. Eventuell wird das Schwinden in der Schwindrinne behindert. Im 2. Schritt wurde deswegen versucht das Schwinden über Setzdehnungsmesser an den Rissüberbrückungsprismen zu bestimmen. Hierfür wurden Messmarken in den frischen Spritzmörtel eingelegt und deren Abstand mit dem Setzdehnungsmesser gemessen. Während der Aushärtung des Spritzmörtels haben sich jedoch die Positionen der Messmarken so verschoben, dass die Schwindmessungen an fünf Probekörpern zu einem Zeitpunkt zwischen 1,67 und -0,48 mm/m streuen. Somit kann mit diesem Vorgehen keine Aussage zum Schwinden getroffen werden.

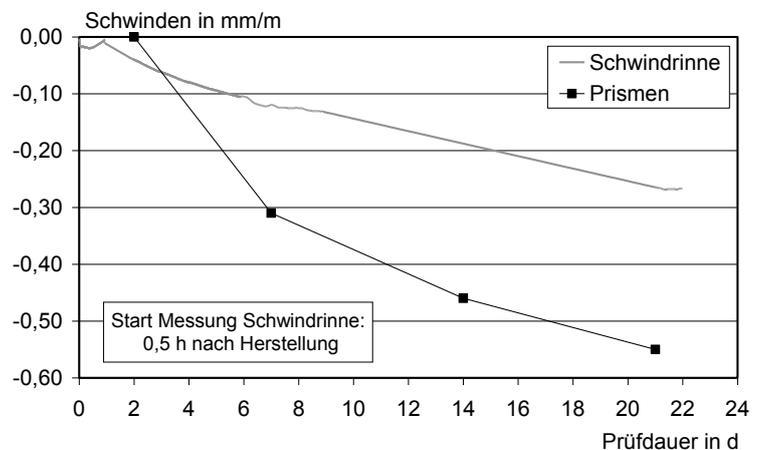


Bild 7: Kontinuierliche Messungen an der Schwindrinne im Vergleich zum Schwinden der Prismen

4.2 Zugversuche an den Verbundkörpern

4.2.1 Arbeitsschritt 1

Im ersten Arbeitsschritt wurden Verbundkörper mit dem Spritzmörtel StoCrete TS 118 und den Textilien 2D-G-1200, 2D-C-1600 und 2D-G-2400 hergestellt. Die in Bild B3 dargestellten Zugversuche zeigen, dass mit den gewählten Textilien kein fein verteiltes Rissbild erzeugt werden konnte. Nach dem Erstriss im Spritzmörtel konnten die Textilien keine weiteren Lasten aufnehmen, stattdessen wurden die ungetränkten Textilien aus dem Probekörper im Bereich des Risses herausgezogen.

4.2.2 Arbeitsschritt 2

Die Rissüberbrückungsversuche an den in Arbeitsschritt 2 hergestellten Proben ergaben, dass das Ziel eines fein verteilten Rissbildes mit den untersuchten Materialkombinationen nicht erreicht wurde. Somit wurde auf die Durchführung der Zugversuche verzichtet.

4.2.3 Arbeitsschritt 3

Im dritten Arbeitsschritt wurden Verbundkörper mit dem Spritzmörtel StoCrete TS 118 und den mit Epoxidharz getränkten Textilien 2D-C-1600m1 (Bezeichnung 3-1-1 bis 3-1-3), 2D-G-2400m1 (Bezeichnung 3-2-1 bis 3-2-4) und 2D-G-2400m2 (Bezeichnung 3-3-1 bis 3-3-3) hergestellt und geprüft. Die Ergebnisse sind in den Bildern B4 bis B8 dargestellt.

Mit den getränkten und oberflächlich modifizierten Textilien wurde ein fein verteiltes Rissbild in den Verbundkörpern erzielt. Nach dem Erstriss im Spritzmörtel traten zahlreiche weitere Risse mit Rissabständen von 20 bis 30 mm auf. Eine Differenzierung zwischen den Oberflächenmodifizierungen mit Sand und AR-Glasfasern bei dem Textil 2D-G-2400 war anhand der Zugversuche nicht möglich, mit beiden Varianten wurde ein vergleichbares Materialverhalten beobachtet. Die Proben mit getränkten Carbontextilien weisen nur $\sim 1/3$ der Dehnung der Proben mit getränkten AR-Glastextilien auf. Alle textilbewehrten Proben versagten im Verbund Spritzbeton/Textil.

Die Probekörper mit dem Edelstahlgitter waren mit zwei Lagen Edelstahlgitter jedoch unterbewehrt (Bild B7). Mit dem Erstriss versagten auch die Edelstahlgitter. Die Erhöhung des Bewehrungsgrades mit einer zusätzlichen Lage Edelstahlgitter war aufgrund der damit verbundenen Erhöhung der Probekörperdicke nicht möglich.

Der Einsatz getränkter Textilien erwies sich somit als zielführend! Im vierten Arbeitsschritt sollte nun untersucht werden inwiefern auf die aufwendige, händische Oberflächenmodifizierung durch Sand bzw. AR-Glasfasern verzichtet werden kann.

4.2.4 Arbeitsschritt 4

Bild 8 zeigt exemplarisch Ergebnisse der Zugversuche an den in Schritt 4 hergestellten Streifenproben. Anhand des Kraft-Dehnungsverlaufs ist zu erkennen, dass die Bewehrung nach dem Erstriss des Spritzmörtels Kräfte aufnimmt und eine weitere Rissentwicklung folgt. Mit dem Carbontextil G600 wurden die höchsten Bruchkräfte (17 kN entspricht etwa 1000 N/mm^2) bei den geringsten Dehnungen erzielt. Insbesondere mit der epoxidharzgetränkten Bewehrung wurde ein fein verteiltes Rissbild mit Rissabständen von etwa 20 bis 30 mm erzielt (Bild 8, rechts). Die geringste Lastaufnahme bei den größten Dehnungen trat mit dem AR-Glastextil 41-521 auf. Aufgrund der großen Gitterweite und der Textilart (Drehverbindung über Kettfäden) ist dieses Textil am flexibelsten und weist entsprechend die größte Welligkeit in der Einbettung im Spritzmörtel auf. Das Versagen trat bei allen Probekörpern in der Verbundzone auf. Alle Textilien waren gut im Spritzmörtel eingebettet, es gab keine Lunkerbildung in den Probekörpern.

Die einzelnen Versuchskurven sind in den Bildern B9 bis B13 dargestellt.

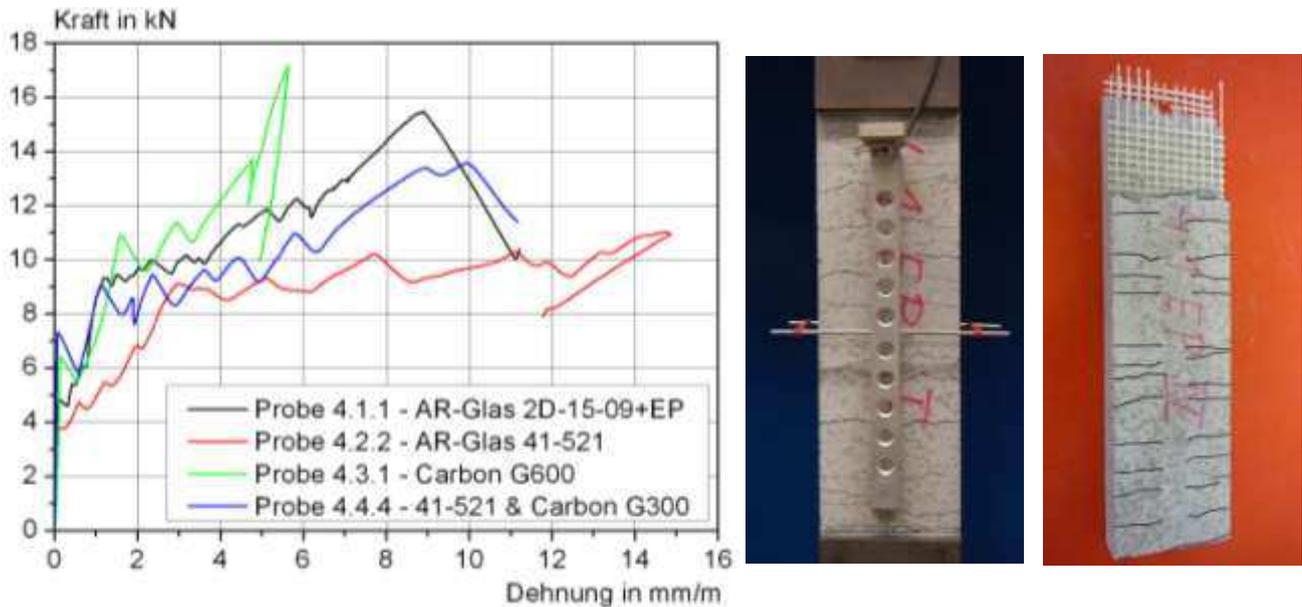


Bild 8: Zugversuche an Streifenproben aus StoCrete TS 118 mit unterschiedlichen Textilien: Links: Kraft-Dehnungsverläufe. Mitte: Durchführung des Zugversuchs. Rechts: Bruchbild der Streifenprobe mit 2D-15-09+EP

4.3 Rissüberbrückungsversuche

4.3.1 Arbeitsschritt 1

Im ersten Arbeitsschritt wurden Rissüberbrückungskörper mit dem Spritzmörtel StoCrete TS 118 und den Textilien 2D-G-1200, 2D-C-1600 und 2D-G-2400 hergestellt. Die Ergebnisse der Prüfungen sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Bei allen Versuchskörpern schlug der Riss aus dem Betonkörper in die Spritzmörtelschicht durch. Eine Verteilung auf viele, feine Risse wurde nicht erreicht. Stattdessen wurden die Textilien im Riss herausgezogen. Die Bilder B14 und B15 zeigen die Durchführung des Versuchs und das Versagen der Proben.

Fazit des 1. Schrittes war, dass der SPCC im Bereich des Risses vom Untergrund getrennt werden muss, um eine Rissverteilung erreichen zu können (Erhöhung der „freien“ Dehnlänge der bewehrten SPCC-Schicht).

Tabelle 3: Zusammenfassung der Rissüberbrückungsversuche im Arbeitsschritt 1

Probe-Nr.	SPCC	Bewehrung	Bemerkungen
1	2	3	4
1-1-1	StoCrete TS 118	2D-G-1200	nur 1 Riss
1-1-2			nur 1 Riss
1-2-1		2D-C-1600	nur 1 Riss
1-2-2			nur 1 Riss
1-3-1		2D-G-2400	nur 1 Riss
1-3-2			nur 1 Riss

4.3.2 Arbeitsschritt 2

Zur Trennung des SPCC vom Untergrund im Bereich des gerissenen Altbetons wurden ca. 10 cm breite Teflonfolienstreifen auf den Untergrund geklebt. Zum Vergleich der Wirkweise des Teflonbandes wurden 2 Rissüberbrückungsprismen mit und 2 Prismen ohne hergestellt (Bild B16, links). Bei den Proben mit Carbontextilien entstanden mit Teflonfolie 2 bis 3 Risse während ohne Teflonfolie nur ein Riss auftrat. Dennoch wurde die Carbonbewehrung wieder aus dem Riss herausgezogen (Bild B18).

Die Trockenmischung des Nafufill GTS-HS mit AR-Glasfasern ist in Bild B16, rechts dargestellt. Bild B17, links, zeigt das bei der gespritzten Mischung deutlich AR-Glasfasern an der Oberfläche heraustreten. Mit den 2 Vol.-% AR-Glasfasern waren die Proben entsprechend der Versuchsergebnisse unterbewehrt. Nach dem Auftreten des Erstrisses versagten die Proben (Bild B17, rechts). Tabelle 4 fasst die Ergebnisse des Arbeitsschritts 2 zusammen.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Rissüberbrückungsversuche im Arbeitsschritt 2

Probe-Nr.	SPCC	Bewehrung	Bemerkungen
1	2	3	4
2-1-1	Nafufill GTS-HS	Keine Bewehrung	1 Riss mittig
2-1-2			1 Riss mittig
2-1-3 Folie			Probe beim Sägen zerbrochen
2-1-4 Folie			1 Riss untere Folienkante
2-1-1 Folie	Nafufill GTS-HS	2D-C-1600	3 Risse bei unterer, oberer Folienkante & Mitte
2-1-2 Folie			2 Risse bei unterer & oberer Folienkante
2-2-3			1 Riss mittig
2-2-4			1 Riss mittig
2-3-1 Folie	Nafufill GTS-HS	AR- Glasfasern (62/3, 12 mm)	1 Riss untere Folienkante
2-3-2 Folie			1 Riss obere Folienkante
2-3-3			1 Riss mittig
2-3-4			1 Riss mittig

4.3.3 Arbeitsschritt 3

Im Arbeitsschritt 3 wurde der Spritzmörtel StoCrete TS 118 mit getränkten Textilien kombiniert. Dazu wurden die bereits verwendeten Textilien 2D-G-2400 und 2D-C-1600 mit Epoxidharz getränkt. Um den Verbund zum Spritzmörtel zu verbessern, wurden auf das frische Epoxidharz Sand bzw. Glasfasern aufgestreut.

Nach dem Erstriss des Spritzmörtels übernahmen die Textilien die Zugkräfte. Nun trat ein versuchstechnisches Problem auf: Aufgrund des hohen Lastniveaus von ~12 kN folgte nach Ausbildung der ersten 1 bis 2 Risse ein Versagen im Grundkörperbeton A3. Somit musste auf die Untersuchung der Rissüberbrückung im Biegeversuch ausgewichen werden. Bild B19 verdeutlicht das Versagen im Altbeton. Der Biegeversuch ist im Abschnitt 2.3.3 erläutert.

Die Versuchsergebnisse sind in den Bildern B20 bis B23 dargestellt. Bild 9 zeigt einen Vergleich der Textilvarianten. Die Ergebnisse aus den Zugversuchen spiegeln sich auch in den Versuchen zur Rissüberbrückung wider. Die getränkten Textilien sind in der Lage Zugkräfte vom gerissenen Untergrund aufzunehmen und über Rissbildung im Spritzmörtel zu verteilen. Die getränkte Carbonbewehrung nimmt bei gleichem Weg höhere Lasten auf. Eine Differenzierung zwischen einer Abstreuerung mit Sand und einer Abstreuerung mit Kurzfasern ist nicht möglich. Der Hasendraht versagt mit dem ersten Riss.

Bild B24 und B25 verdeutlichen, dass das Material auch zyklisch belastbar ist. Für die zyklische Belastung wurde die auf die Probe aufgebrachte Last zwischen einer Ober- und einer Untergrenze (5 kN) kontinuierlich verändert.

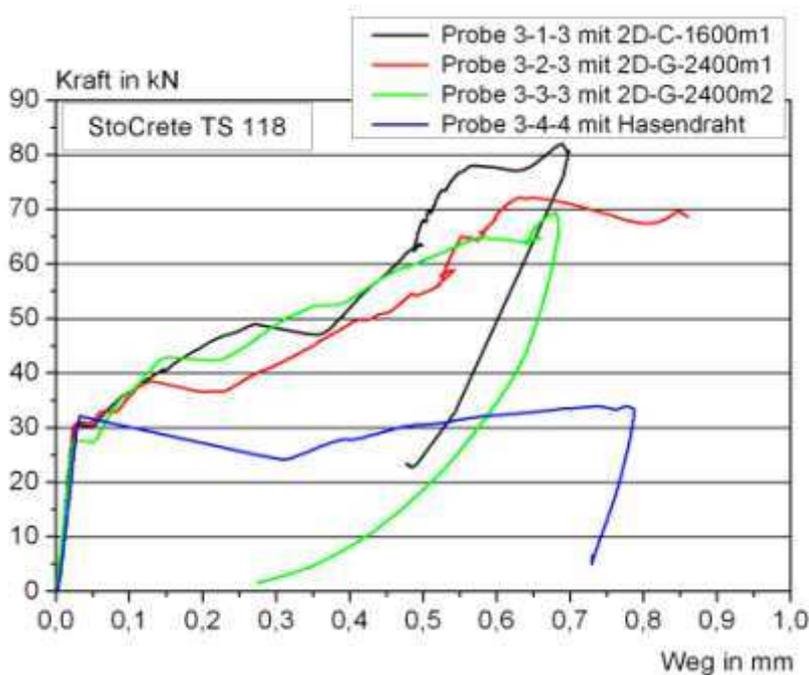


Bild 9: Biegeversuche an den Rissüberbrückungskörpern

4.3.4 Arbeitsschritt 4

Bild 10 verdeutlicht die Durchführung der Rissüberbrückungsversuche im Arbeitsschritt 4. Basierend auf der Erfahrung im Arbeitsschritt 3 wurde der Altbeton hier nun komplett mit Stahlträgern geschient. Die Last wurde dann über diese aufgeklebten Stahlträger in den Altbeton eingeleitet. Die textilbewehrte Spritzmörtelschicht weist keine Verbindung zur Lasteinleitung auf, der Lastübertrag in das Instandsetzungssystem erfolgt allein über die Verbundfuge. Das Versagen des Rissüberbrückungskörpers begann entweder im Altbeton oder durch ein Überschreiten der Textilzugfestigkeit. Das Versagen des Verbundes zwischen SPCC und Textil, entsprechend Bild 10, rechts, trat erst nach Überschreiten der Altbetonzugfestigkeit auf.

In den Bildern 11 und 12 ist die Rissöffnung im Altbeton über die Kraft aufgetragen. Bild 11 zeigt die Kraftentwicklung in der textilbewehrten Spritzmörtel-Schicht während einer Rissöffnung bis zu 0,7 mm. Die gemessenen Kraftabfälle deuten jeweils auf eine Riss- bzw. Mikrorissbildung im Instandsetzungssystem hin. Generell wurde somit mit allen vier Be-

wehrungsvarianten eine Verteilung der Rissbreitenänderung des einzelnen Untergrundrisses auf mehrere Risse in der Spritzmörtelschicht erreicht. Dabei konnten mit dem epoxidharzgetränkten AR-Glastextil die meisten Risse im Spritzmörtel erzeugt werden (Bild 11, rechts).



Bild 10: Links: Durchführung des Rissüberbrückungsversuchs. Rechts: Bruchbild – Zunächst trat der Bruch im Altbeton auf, dann folgte das Versagen in der Verbundebene Textil/SPCC

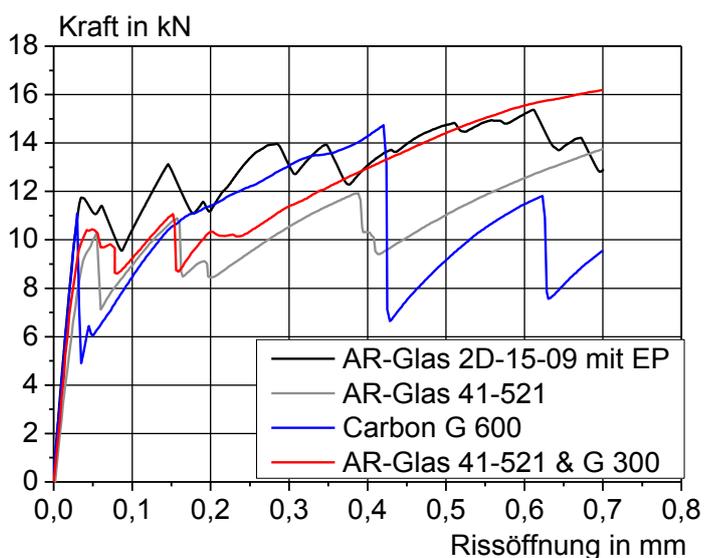


Bild 11: Links: Kräfte in der textilbewehrten Spritzmörtelschicht während der Rissöffnung des Altbetons bis zu einer Rissbreite von 0,7 mm. Rechts: Rissbild einer Probe mit AR-Glas 2D-15-09 mit EP

Bild 12 verdeutlicht, dass eine zyklische Belastung der textilbewehrten Spritzmörtelschichten über die Rissbewegungen im Betonkörper möglich ist. Hierzu wurde der Riss im Altbeton zunächst bis 0,7 mm geöffnet und danach wieder bis zu einer Rissbreite von 0,1 mm geschlossen. Dieser Vorgang wurde 55-mal wiederholt, dann erfolgte die Öffnung des Risses bis zum Versagen des Probekörpers. Nach 55 Zyklen war keine Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit der Instandsetzungssysteme messbar. Selbst nach 200 Zyklen war die mit AR-Glas 41-521 bewehrte Probe noch intakt.

Das Lastniveau der carbonbewehrten Spritzmörtelschicht ist bei einer Rissöffnung von 0,7 mm zwar niedriger als das der EP-AR-Glasbewehrten Spritzmörtelschicht, aber beide Materialien erfüllen ihre Aufgabe und die Bruchlasten liegen auf gleichem Niveau (Bild 12). Die Bruchlasten mit etwa 17 kN sind mit den Ergebnissen aus den Zugversuchen (Bild 8) vergleichbar.

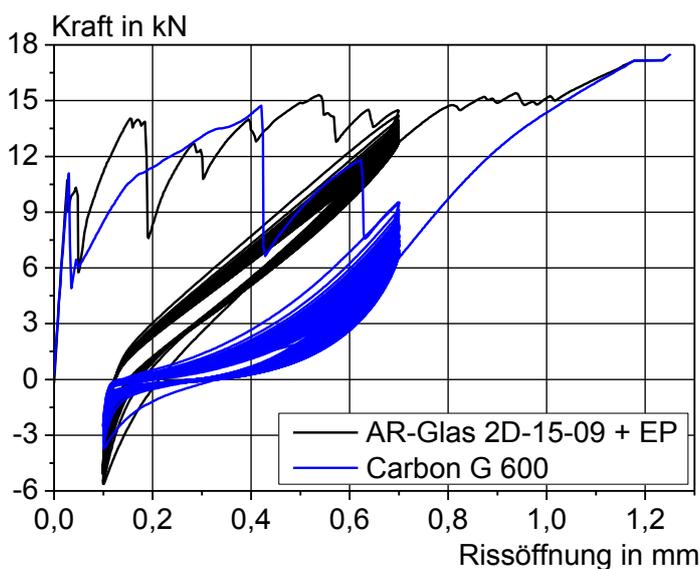


Bild 12: Zyklische Beanspruchung der Rissüberbrückungskörper mit 55 Zyklen, Rissöffnung zwischen 0,1 und 0,7 mm

Die Einzelversuche sind in den Bildern B26 bis B36 dargestellt.

4.4 Haftzugfestigkeiten

Die am Rissüberbrückungskörper nach der Prüfung ermittelten Haftzugfestigkeiten ergaben stets ein Versagen im Altbeton. Das Kohäsionsversagen im Altbeton trat bei rund $0,5 \text{ N/mm}^2$ auf (Tabelle A1). Die Prüfung des Adhäsionsversagens zwischen Spritzmörtel und Textil ergab im Mittel Werte von mindestens $1,5 \text{ N/mm}^2$ (Tabelle A2). Damit wird bei Altbetonen der Klasse A3 der Verbund zwischen Untergrund und Spritzmörtel die schwächste Stelle bleiben. Die Textilien bedingen somit keine Beeinflussung des Verbundes der Instandsetzungssysteme.

5 ERPROBUNG AM BAUWERK

5.1 Wehr Horkheim

Das Wehr Horkheim, erbaut 1927 bis 1929 vom Architekten Paul Bonatz, trennt die Schifffahrtsstraße vom Altarm des Neckars. Die Anlage besteht aus drei Wehrfeldern mit vier massiven Wehrpfeilern. In den auf den Wehrpfeilern angeordneten Windwerkhäusern befinden sich die zweistufigen offenen Stirnradgetriebe, die die Tore entsprechend dem Wasserstand betreiben. Die Wehrpfeiler weisen zahlreiche Risse und offene Arbeitsfugen auf. Die Rissbreiten liegen zwischen $0,1$ und etwa $3,0 \text{ mm}$. Die Bilder B37 bis B39 verdeutlichen die Situation vor Ort.

Die Entnahme von Bohrkernen ergab, dass das Innere des Pfeilers aus Schüttbeton besteht, während die äußere Schale höhere Betonfestigkeiten aufweist. Tabelle A3 fasst die Untersuchungsergebnisse an den von der BAW entnommenen und geprüften Bohrkernen zusammen. Die Druckfestigkeiten streuen zwischen 11 und 105 N/mm^2 . Tabelle A4 verdeutlicht die Existenz einer äußeren Schale mit höherer Betonqualität: Die Oberflächenzugfestigkeiten der entnommenen Bohrkernbetone betragen $3,4$ bis $4,5 \text{ N/mm}^2$. Die Kartierung der Risse im Bereich der geplanten Probestellen ist in den Bildern C1 und C2 dargestellt. Die Kartierung wurde von der BAW durchgeführt.

Die Betonoberflächen des Wehrpfeilers wurden durch Hochdruckwasserstrahlen bis zum Freilegen der Gesteinskörnung vorbereitet. Die vor Ort nach dem Strahlen ermittelten Haftzugfestigkeiten sind in Tabelle A5 zusammengefasst. Die Oberflächenzugfestigkeiten von mindestens $4,4 \text{ N/mm}^2$ verdeutlichen die gute Qualität der äußeren Betonschale.

5.2 Applikation der textilbewehrten Spritzmörtelschicht

Zur umfassenden Erprobung des neuen Verbundwerkstoffes wurden acht Probeflächen am Wehr Horkheim angelegt. Sieben Flächen befinden sich am Wehrpfeiler 3 (Bild 13) im Bereich des Oberwassers, die achte Fläche ist unterwasserseitig im Bereich der Wasserwechselzone angeordnet. Die Gesamtfläche beträgt knapp 50 m². Tabelle 3 und Bild B40 geben eine Übersicht über die Untersuchungsparameter in den einzelnen Flächen. Als Spritzmörtel wurde StoCrete TS 118 verwendet. Nach der Untergrundvorbehandlung durch Hochdruckwasserstrahlen wurden vor dem Auftrag des Instandsetzungssystems ausschließlich die offenen Arbeitsfugen mit einem Klebeband mit einer Breite von 10 cm abgeklebt, um analog zum Rissüberbrückungsversuch die freie Dehnlänge des Instandsetzungssystems lokal zu erhöhen (Bild B41). Auf diese Abklebung wurde in den Flächen 2 und 3 verzichtet. Mit Ausnahme von Fläche 5 wurde je Fläche Textil in zwei Ebenen mit drei Spritzvorgängen eingebettet. Bei Fläche 5 befinden sich in der zweiten Textilebene zwei Textilien. Alle Flächen sind von ihrer Exposition her als frei bewittertes Außenbauteil einzustufen. Die Flächen 7 und 8 zeichnen sich durch ihre andere Position aus. Beide Flächen sind im Gegensatz zur Stirnseite nicht der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt. Fläche 8 wird zudem bei Hochwasser direkt mit Wasser beaufschlagt.



Bild 13: Wehrpfeiler 3 des Wehrs Horkheim. Links: Ansicht der Flanke. Rechts: Ausschnitt Stirnseite

Zur Erfassung der Rissbewegungen wurden von der BAW Wegaufnehmer sowohl außerhalb als auch innerhalb der Probeflächen aufgebracht. Die Wegaufnehmer innerhalb der Probeflächen sind durch Schaumstoffringe vom Spritzmörtel entkoppelt worden. Über Dehnungsmessstreifen (DMS) werden die Bewegungen im Instandsetzungssystem in Höhe der Textilien ermittelt. Die Daten werden kontinuierlich erfasst und über Modem zur Auswertung übertragen. Der Ausgangswert aller DMS wurde zu Beginn der Messungen im September 2010 auf Null gesetzt. Die Messungen begannen einige Stunden nach Fertigstellung der Probeflächen. Infolge des ersten Schwindens stiegen die Dehnungen um rund 0,1 bis 0,2 mm/m. Diese Dehnungen gingen zum Teil innerhalb der ersten Monate wieder zurück.

Tabelle 3: Instrumentierung der Probeflächen am Wehr

Fläche	Textil (2lagig)	Sensoren
1	2	3
1	G 600	DMS über Riss an den Textillagen & außerhalb des Risses, Temperatur
2	G 600 ohne Klebeband	DMS über Riss an den Textillagen & außerhalb des Risses
3	Ohne	DMS über Riss
4	2D-15-09+EP	DMS über Riss an der inneren (ersten) Textillage
5	41-521 (3lagig)	DMS über Riss an der inneren (ersten) Textillage
6	41-521+G600	DMS über Riss an der inneren (ersten) Textillage
7	G 600	DMS über Riss an den Textillagen & außerhalb des Risses, Temperatur
8	G 600	keine

Die Fixierung der Textilien erfolgte über Glasfaserdübel mit Edelstahltellern. Im Allgemeinen genügte die Textilbefestigung an der Oberkante mit zwei Dübeln, ggf. eine weitere im Überlappungsbereich von Textilien. Bild 14 zeigt exemplarisch die Textilbefestigung mittels Dübel und die gute Durchdringung des Textils mit Spritzmörtel am Beispiel des epoxidharzgetränkten Textils. Die Bilder B41 bis B45 vermitteln einen Eindruck über die Arbeiten vor Ort. Die Textilien konnten vor Ort mittels einer Flex zugeschnitten werden. Nach der Applikation der ersten Spritzmörtelschicht erfolgte die Befestigung der DMS sowie der Textilien, dann wurde die zweite Spritzmörtelschicht aufgebracht. Die Textilien hatten einen Überlappungsbereich von rund 5 cm.

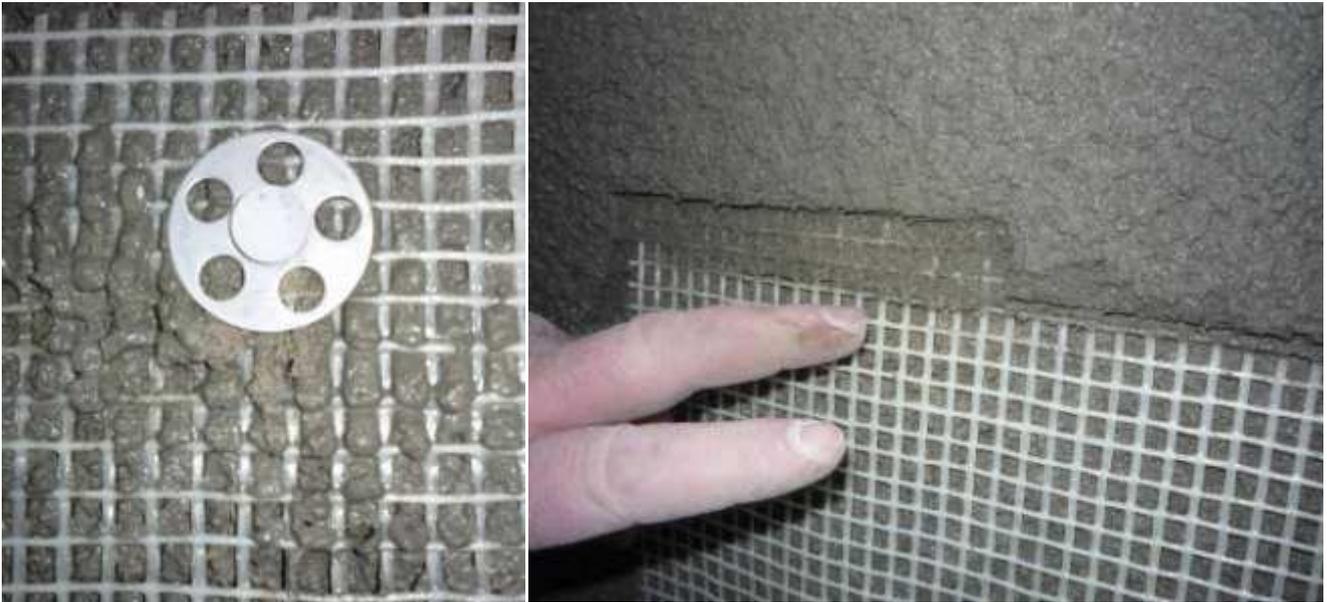


Bild 14: Textilbefestigung und Textildurchdringung

Hinsichtlich der Verarbeitung am Bauwerk hat sich das Carbontextil G 600 als am einfachsten handhabbar herausgestellt. Es bedingte weniger Rückprall als das steifere epoxidharzgetränkte Textil und ist gleichzeitig formstabiler als das AR-Glastextil 41-521.

Insgesamt konnte in 1,5 Tagen die Probefläche von 50 m² mit textilbewehrten Spritzmörteln erfolgreich instandgesetzt werden. Einen hohen Zeitaufwand bedingte hierbei das Verlegen der Sensoren und die Vielfalt der eingesetzten Textilien. Beide Aspekte würden bei normalen Instandsetzungsmaßnahmen entfallen. Bild 15 zeigt Ausschnitte der fertig gestellten Fläche, die nach dem ersten Winter, also nach rund 6 Monaten fotografiert wurden.

Visuell wurde bei der Ortsbegehung im Frühjahr 2011, nach 6monatiger Freibewitterung, keine Veränderung der Spritzmörteloberfläche festgestellt, die auf Rissbewegungen im Altbeton schließen lassen. Der Betrachtungsabstand begrenzte jedoch die Möglichkeit, Risse im Bereich von rund 0,1 mm zu detektieren.



Bild 15: Durchgeführte Probeinstandsetzung nach dem ersten Winter

5.3 Bauwerksüberwachung

Bild C3 im Anhang C zeigt eine Übersicht über die am Bauwerk von September 2010 bis März 2012 gemessenen Dehnungen und Temperaturen. Bild 16 beinhaltet einen Ausschnitt aus den am Bauwerk ermittelten DMS-Daten. Dargestellt sind die Daten von Sensoren, die sich unterhalb der ersten (inneren) Textillage, also in der ersten Spritzmörtelschicht in einem Abstand von rund 10 mm vom Altbeton, befinden. Der Temperaturverlauf in dieser Schicht wird in Fläche 1 gemessen. Ein DMS befand sich im ungerissenen Bereich (Fläche2DMSR). Dieser DMS zeigt keine wesentlichen Dehnungen während des betrachteten Zeitraums zur Jahreswende 2010/2011. Die DMS oberhalb eines Risses in den Flächen 2 und 4 zeigen ebenfalls keine signifikanten Dehnungsänderungen. Da hingegen weisen die DMS in den Flächen 3 und 5, die sich oberhalb eines Risses befinden, am 26.12.2010 maximale Dehnungen von rund 1,5 mm/m auf. Die Temperatur hat zu diesem Zeitpunkt ihren Minimalwert von -7 °C erreicht. Tabelle 3 verdeutlicht, dass Fläche 3 keine Textilien beinhaltet und sich in Fläche 5 drei Lagen 41-521 befinden. Entsprechend den Laboruntersuchungen, benötigt das Textil 41-521 vergleichsweise hohe Dehnungen bevor eine Beteiligung am Lastabtrag erfolgt. Somit können die beiden Dehnungsanstiege in einen Zusammenhang mit dem fehlenden Textil bzw. einem unzureichend leistungsfähigen Textil gebracht werden.

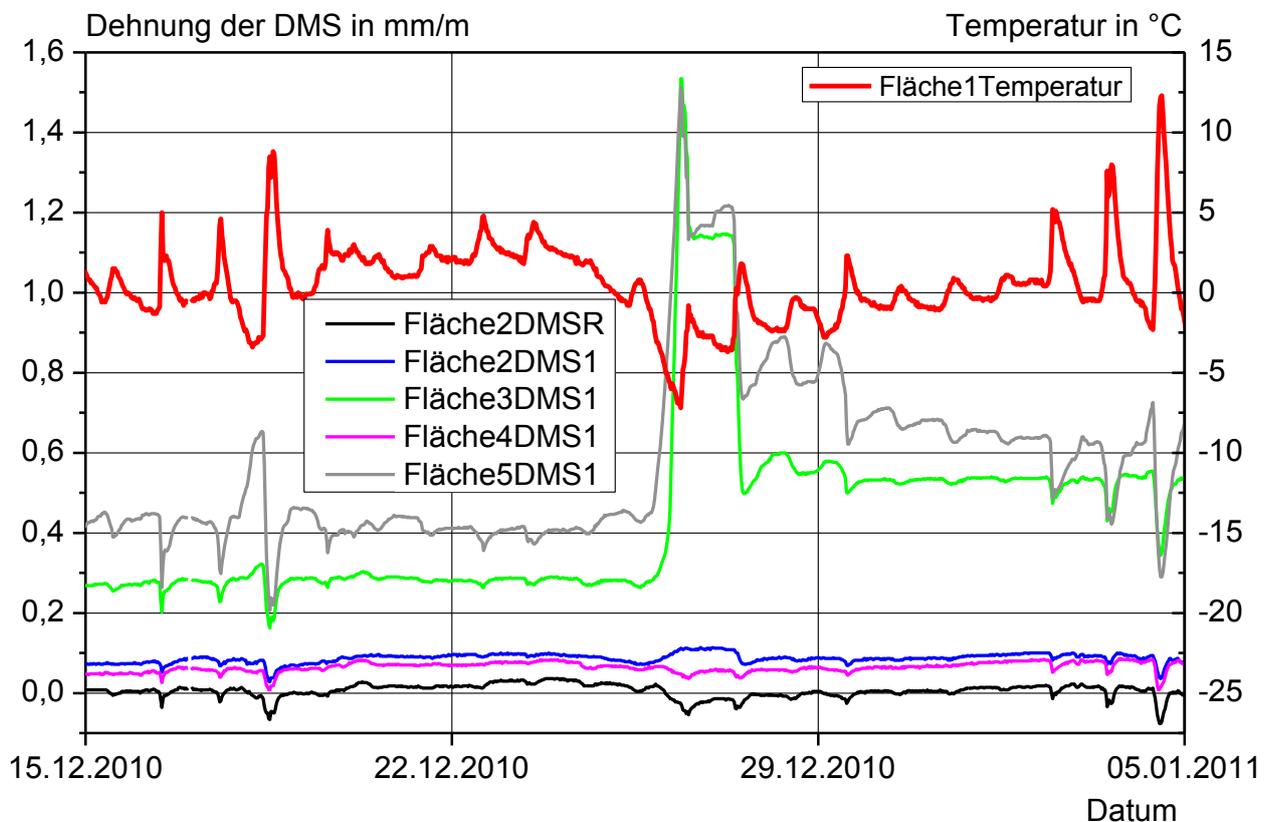


Bild 16: Dehnungen der DMS unterhalb der ersten Textillage zur Jahreswende 2010/2011

Die in Bild 16 festgestellten Tendenzen spiegeln sich im Dehnungs- und Temperaturverlauf im Februar 2012 wider (Bild B47). Im Februar 2012 bewirkte ein Kälteeinbruch das Absinken der Lufttemperatur über mehrere Tage auf etwa -17 °C (Wetterdaten Stuttgart vom Deutschen Wetterdienst). Leider versagte im Dezember 2011 die Messtechnik und die Temperatursensoren in den Mörtelflächen konnten nicht wieder aktiviert werden (Bild B46). Somit stammen die in Bild B47 angegebenen Temperaturen von den Messungen der BAW. Diese Temperatursensoren befanden sich in etwa in einer Tiefe von 6 cm innerhalb des Altbetons (Temp 1, BAW, Fläche 7 und Temp 2, BAW, mittig in der Stirnseite des Pfeilers 3). Bild B47 verdeutlicht, dass die DMS über den Rissen in den Flächen 3 und 5 deutliche Dehnungsschwankungen infolge Temperaturänderungen während der Kälteperiode aufweisen. Es treten Dehnungen bis zu $7,2\text{ mm/m}$ auf. Die DMS oberhalb von Rissen in den Flächen 2 und 4 zeigen hingegen in diesem Zeitraum genauso wie der Referenz-DMS keine signifikanten Dehnungsänderungen.

Bild B46 und die Gesamtansicht Bild C3 verdeutlichen, dass der DMS in Fläche 5 abweichend von allen anderen DMS insgesamt große Dehnungsschwankungen aufweist. Dies bedingt die Vermutung, dass der Spritzmörtel in diesem Bereich gerissen ist. Zur weitergehenden Datenanalyse müssten am Bauwerk die Bereiche in denen sich die DMS der Flächen 3 und 5 befinden nochmals speziell untersucht werden.

Zeitgleich wurden durch die BAW anhand von Wegaufnehmern die Rissöffnungen von 8 Rissen am Wehrpfeiler 3 gemessen (7 Wegaufnehmer an der Stirnseite; 1 Wegaufnehmer an der Flanke, Fläche 7). Auszüge der gemessenen Rissöffnungen an der Stirnseite sind im Anhang C, Bild C4, dargestellt. Während der Kälteperiode im Februar 2012 wurden an einem Riss Rissöffnungen von knapp 0,25 mm gemessen. Eine Korrelation zwischen den Dehnungen der DMS in Fläche 3 und 5 mit den Rissbewegungen der entsprechenden Risse (Riss 6 und Riss 10) wurde nicht festgestellt. Hierzu sei angemerkt, dass die Rissöffnungen im Bereich der Leiter und somit außerhalb der Spritzmörtelschichten gemessen wurden.

Bild B48 zeigt, dass sich der Riss an der Flanke (Fläche 7) infolge der Kälteperiode im Februar 2012 zunächst mit 0,3 mm geöffnet hat. Nach einem Rückgang der Rissbreite auf etwa 0,13 mm hat sich der Riss danach erneut bis zu 1,2 mm geöffnet.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Anhand von Laboruntersuchungen wurde gezeigt, dass nach ZTV-W LB 219, Abschnitt 5, zugelassene Spritzmörtel problemlos mit Textilien bewehrt werden können. Ein ausreichender Verbund zwischen Textilien und Spritzmörtel konnte nachgewiesen werden.

Ferner wurde gezeigt, dass die Rissbewegungen eines Untergrundrisses durch Textilbewehrung auf mehrere feinere Risse im bewehrten Instandsetzungsmörtel verteilt werden können. Die Textilien mit epoxidharzgetränktem AR-Glas haben sich hierbei im Labor als am Besten geeignet erwiesen. Hinsichtlich der Anwendung hat allerdings das Carbondtextil G 600 den Vorteil der unmittelbaren Verfügbarkeit am Markt und der besseren Handhabbarkeit im Trockenspritzverfahren.

Die Applizierbarkeit textilbewehrter Spritzmörtelschichten unter Baustellenbedingungen an einem Bauwerk wurde am Wehr Horkheim erfolgreich gezeigt. Risse im Spritzmörtel waren bei einer visuellen Begutachtung etwa 6 Monate nach der Applikation noch nicht zu detektieren. Die DMS und Wegaufnehmer zeigen jedoch die Bewegung einiger Altbetonrisse. Die Fortführung der Untersuchungen werden Aussagen zur Funktionalität des neuen Instandsetzungssystems am Bauwerk ermöglichen.

Die Forschungsergebnisse wurden in den Zeitschriften „Restoration of Buildings and Monuments“ /Orl11a/ und „Beton“ /Orl11b/ veröffentlicht sowie auf zahlreichen Vortragsveranstaltungen vorgestellt /Orl11c/, /Orl11d/, /Orl11e/.

7 AUSBLICK

Seit Anfang 2012 fördert die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) an der RWTH Aachen University das Transferprojekt „Schutzschichten aus textilbewehrtem Spritzmörtel zur Instandsetzung von Wasserbauwerken“ im Sonderforschungsbereich 532 „Textilbeton – Entwicklung einer Neuartigen Technologie“ unter der Leitung des Instituts für Bauforschung Aachen (ibac). Das Institut für Textiltechnik Aachen (ITA) und das Institut für Massivbau (IMB) sind als weitere Hochschulinstitute ebenfalls in dem Projekt involviert. Ziel des Projektes ist es, gemeinsam mit den Industriepartnern Massenberg GmbH, Moritzburg; SGL Technologies GmbH, Meitingen; STO AG, Stühlingen sowie w+s bau-instandsetzung GmbH, Kassel, die im Rahmen dieses Projektes begonnenen Arbeiten weiterzuführen und schlussendlich ein neues Verfahren zur Instandsetzung minderfester Betone mit textilbewehrten Spritzmörteln bereitzustellen.

Die noch offenen Fragen bezüglich einer feineren Rissbildung, der Untergrundbehandlung, der rückseitigen Verankerung, Dauerhaftigkeit, Bemessung sowie wirtschaftlichen Arbeitsweise werden in diesem Transferprojekt bearbeitet. Ausgangspunkt sind hierfür die im Rahmen dieses Projektes gewonnenen Erkenntnisse.

8 LITERATUR

- /Mau04/ Maultzsch, M.: Dünnschichtige Spritzmörtel - Materialien für geringer feste Untergründe. Karlsruhe, Hamburg, Ilmenau: Bundesanstalt für Wasserbau, BAW, 2004. - In: BAW-Kolloquium der Abteilung Bautechnik, Instandsetzen von Wasserbauwerken ZTV-W LB 219 (2004), Hannover, 17. Oktober 2004, S. 41-46
- /ZTV219/ Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen; BMV ; ZTV-W: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken (Leistungsbe- reich 219) Ausgabe 2004
- /RL01/ Deutscher Ausschuß für Stahlbeton ; DAfStb ; DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze. Teil 2: Bauprodukte und Anwendung. Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und Überwachung der Ausführung. Teil 4: Prüfverfahren. Ausgabe Oktober 2001. Berlin : Deutscher Ausschuß für Stahlbeton
- /Orl08/ Orlowsky, J. ; Raupach, M.: Durability Model for AR-glassFibres in Textile Rein- forced Concrete. In: Materials and Structures (RILEM) 41 (2008), Nr. 7, S. 1225-1233
- /Orl11a/ Orlowsky, J. ; Raupach, M. ; Westendarp, A.: Textilbewehrte Spritzmörtel- schichten zur Instandsetzung von Wasserbauwerken. In: Restoration of Buildings and Monuments 17 (2011), Nr. 3/4, S. 181-190 ISSN 1864-7251
- /Orl11b/ Orlowsky, J. ; Raupach, M. ; Westendarp, A. ; Öztürk, T.: Textilbewehrte Spritz- mörtel zur Instandsetzung von Wasserbauwerken. In: Beton 61 (2011), Nr. 12, S. 486-490
- /Orl11c/ Orlowsky, J. ; Raupach, M. ; Westendarp, A.: Textilbewehrte Spritzmörtel- schichten zur Instandsetzung von Wasserbauwerken. Ostfildern : Technische Akademie Esslingen, 2011. - In: 2. Kolloquium Erhaltung von Bauwerken, Esslingen, 25. und 26. Januar 2011, (Raupach, M. (Ed.)), S. 23-28
- /Orl11d/ Orlowsky, J. ; Raupach, M. ; Westendarp, A.: Textilbewehrte Spritzmörtel- schichten zur Instandsetzung von Wasserbauwerken. Berlin: Bundesgüte- gemeinschaft Instandsetzung von Betonbauwerken, 2011. - In: Beton-Insta 2011. Vortragsveranstaltung zur Betoninstandsetzung, Dresden, 27. September 2011, 9 Seiten
- /Orl11e/ Orlowsky, J. ; Raupach, M. ; Westendarp, A.: Textilbewehrte Spritzmörtel- schichten zur Instandsetzung von Wasserbauwerken. Aachen: Institut für Bau- forschung, 2011. - In: Textilbeton in der Bauwerkserhaltung. Von der Forschung zur Anwendung. 42. Aachener Baustofftag, Aachen, 10.11.2011, 9 Seiten

Tabelle A1: Haftzugfestigkeiten nach DIN EN 1542, geprüft an den Rissüberbrückungskörpern (Spritzmörtel: StoCrete TS 118, Textilien wie angegeben)

Grundkörper	Prüfstelle	Prüflast	Prüfspannung	Bruchbild			Bemerkungen
				A	AB	B	
-	-	kN	N/mm ²	%			-
1	2	3	4	5	6	7	8
3.1.2	1	1,96	1,00	100	-	-	-
	2	0,50	0,25	100	-	-	-
3.1.3	3	0,65	0,33	100	-	-	-
	4	0,25	0,13	100	-	-	-
2D-C-1600m1	5	-	-	-	-	-	-
-	kEW	-	0,13	-			-
	MW		0,43				
	s		0,39				
3.2.2	1	1,06	0,54	100	-	-	-
	2	0,73	0,37	100	-	-	-
3.2.3	3	2,07	1,05	100	-	-	-
	4	0,69	0,35	100	-	-	-
2D-G-2400m1	5	-	-	-	-	-	-
-	kEW	-	0,35	-			-
	MW		0,58				
	s		0,33				
3.3.2	1	0,93	0,47	100	-	-	-
	2	1,53	0,78	100	-	-	-
3.3.3	3	0,89	0,45	100	-	-	-
	4	0,75	0,38	100	-	-	-
2D-G-2400m2	5	-	-	-	-	-	-
-	kEW	-	0,38	-			-
	MW		0,52				
	s		0,18				

kEW: kleinster Einzelwert
 MW: Mittelwert
 s: Standardabweichung

A: Kohäsionsversagen im Beton
 A/B: Adhäsionsversagen zwischen Beton und erster Schicht
 B: Kohäsionsversagen in der zweiten Schicht

Tabelle A2: Haftzugfestigkeiten zwischen Spritzmörtel StoCrete TS 118 und den Textilien

Grundkörper	Prüfstelle	Prüflast	Prüfspannung	Bemerkungen
-	-	kN	N/mm ²	-
1	2	3	4	5
3.1.2	1	4,40	2,24	100 % Adhäsion in Textil-Ebene
	2	3,06	1,56	100 % Adhäsion in Textil-Ebene
3.1.3	3	1,90	0,97	100 % Adhäsion in Textil-Ebene
	4	2,26	1,15	100 % Adhäsion in Textil-Ebene
2D-C-1600m1	5	-	-	-
-	kEW	-	0,97	-
	MW		1,48	
	s		0,56	
3.2.2	1	6,33	3,22	100 % Adhäsion in Textil-Ebene
	2	4,26	2,17	100 % Adhäsion in Textil-Ebene
3.2.3	3	6,33	3,22	100 % Adhäsion in Textil-Ebene
	4	3,06	1,56	100 % Adhäsion in Textil-Ebene
2D-G-2400m1	5	-	-	-
-	kEW	-	1,56	-
	MW		2,54	
	s		0,82	
3.3.2	1	1,29	0,66	100 % Adhäsion in Textil-Ebene
	2	5,79	2,95	100 % Adhäsion in Textil-Ebene
3.3.3	3	2,46	1,25	100 % Adhäsion in Textil-Ebene
	4	2,57	1,31	100 % Adhäsion in Textil-Ebene
2D-G-2400m2	5	-	-	-
-	kEW	-	0,66	-
	MW		1,54	
	s		0,98	

kEW: kleinster Einzelwert
 MW: Mittelwert
 s: Standardabweichung

A: Kohäsionsversagen im Beton
 A/B: Adhäsionsversagen zwischen Beton und erster Schicht
 B: Kohäsionsversagen in der zweiten Schicht

Tabelle A3: Materialkennwerte zum Altbeton des Wehrpfeilers 3 am Wehr Horkheim. Daten der BAW

Körper Nr.	Ø mm	Höhe mm	Volumen cm ³	Gewicht g bei 20°C	Rohdichte g/cm ³	Bruchkraft kN	Druckfestigkeit N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8
B1	143,0	144,2	2315,9	5439,1	2,349	1699,0	105,8
B2	143,0	144,0	2312,7	5299,5	2,291	471,0	29,3
B4	144,0	143,3	2333,8	5254,3	2,251	185,5	11,4
B5	143,2	144,7	2330,5	5447,3	2,337	1151,5	71,5
B6	142,7	144,2	2306,2	5114,6	2,218	686,5	42,9
B7	142,9	143,4	2299,9	5433,1	2,362	1317,0	82,1

Tabelle A4: Oberflächenzugfestigkeiten des Altbetons des Wehrpfeilers 3 am Wehr Horkheim, ermittelt an den Bohrkernen. Daten der BAW

Körper Nr.	Zugfestigkeit N/mm ²	Versagensbild
1	2	3
B1	4,45	100 % im Beton
B2	3,60	90 % im Beton, 10 % im Kleber
B3	3,64	100 % im Beton
B4	4,55	100 % im Beton
B5	3,39	25 % im Beton, 25 % Kalk, 50 % zwischen Kleber/Beton
B8	3,88	100 % im Beton

Tabelle A5: Oberflächenzugfestigkeiten des Altbetons des Wehrpfeilers 3 am Wehr Horkheim, ermittelt am Bauwerk nach dem Hochdruckwasserstrahlen

Probefläche Nr.	Zugfestigkeit N/mm ²	Versagensart
1	2	3
Fläche 1, β_{HZ1}	5,7	100 % Betonversagen
Fläche 3, β_{HZ2}	4,4	100 % Kleberversagen
Fläche 4, β_{HZ3}	4,4	100 % Betonversagen

Tabelle A6: Biegezug- und Druckfestigkeiten des Spritzmörtels StoCrete TS 118 bei der Verarbeitung am Wehr Horkheim (Mittelwerte aus 6 Prismen)

Ergebnisse	Zugfestigkeit	Druckfestigkeit	Zugfestigkeit	Druckfestigkeit
	28 d		56 d	
-	N/mm ²			
1	2	3	4	5
Mittelwert	8,6	47,4	9,2	48,1
Standardabweichung	0,23	3,25	0,49	2,39
Variationskoeffizient	2,7	6,9	5,4	5



Bild B1: Herstellung der Rissüberbrückungskörper

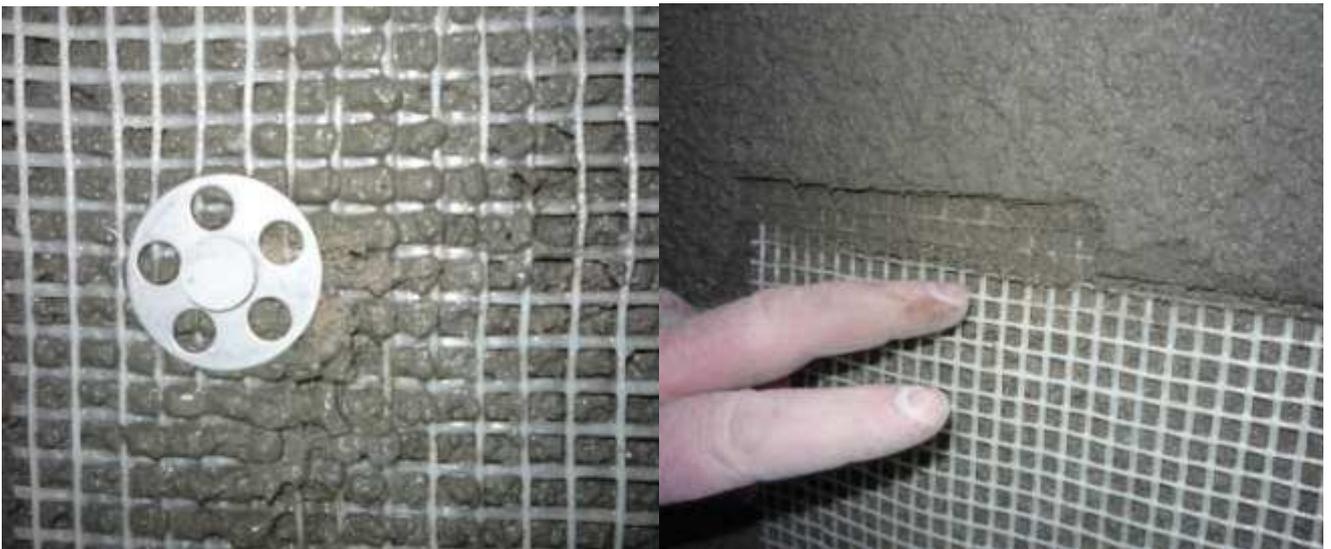


Bild B2: Links: Textilbefestigung mit Glasfaserdübel und Edelstahlteller. Rechts: Einbettung des Textils

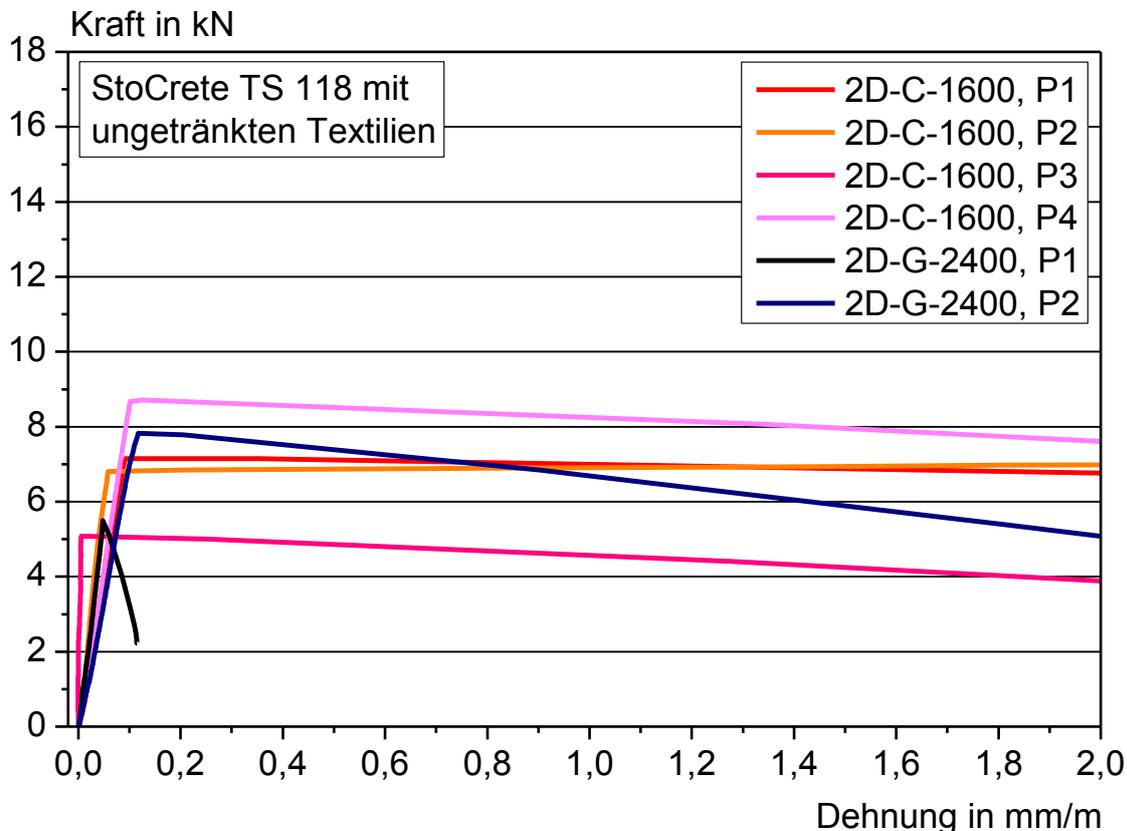


Bild B3: Zugversuche an textilbewehrten Streifenproben, Arbeitsschritt 1

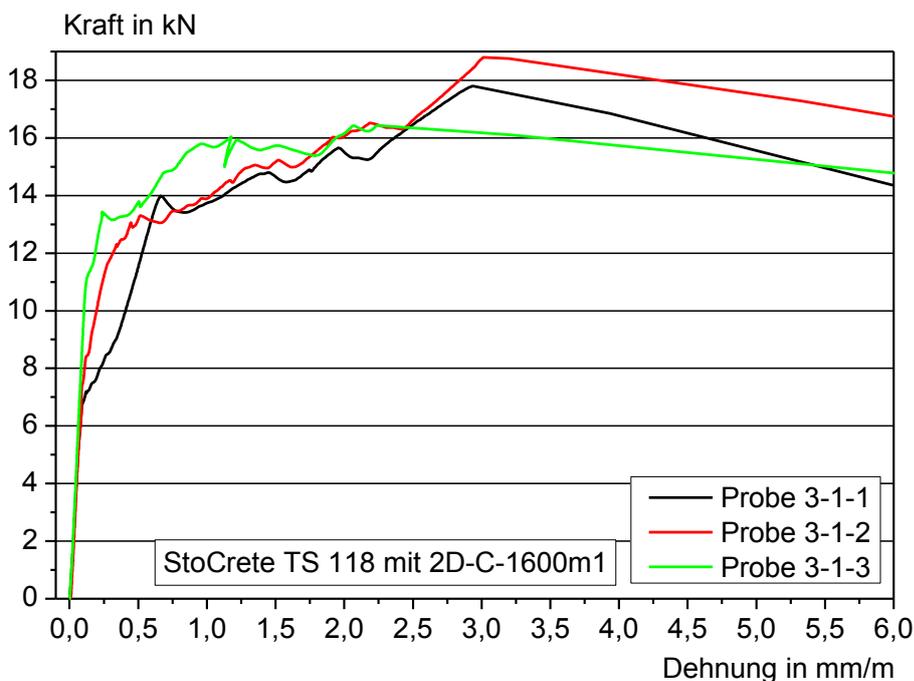


Bild B4: Zugversuche an textilbewehrten Streifenproben, Arbeitsschritt 3, StoCrete TS 118 mit 2D-C-1600m1

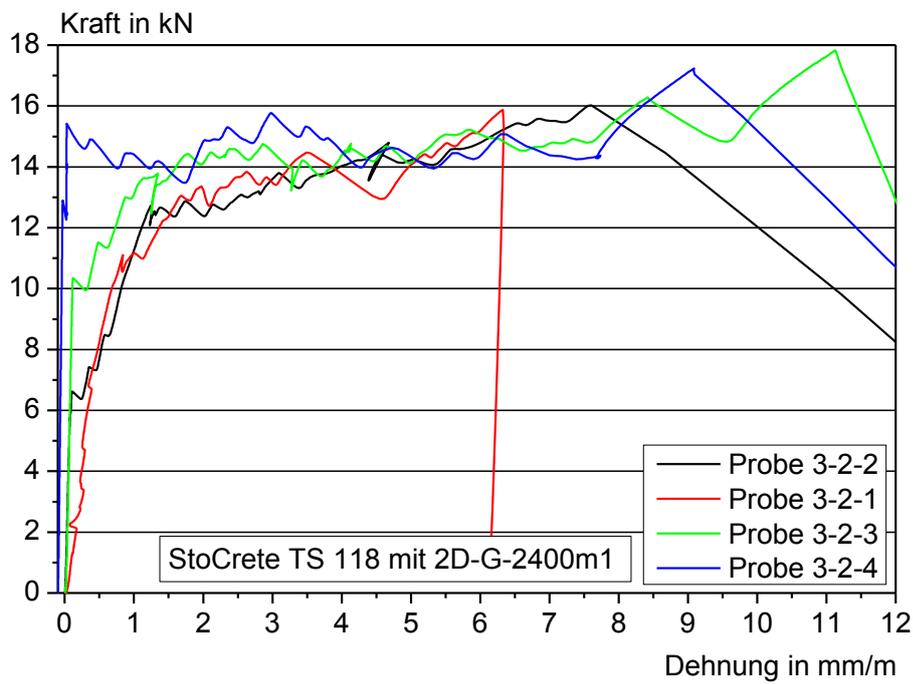


Bild B5: Zugversuche an textilbewehrten Streifenproben, Arbeits-schritt 3, StoCrete TS 118 mit 2D-G-2400m1

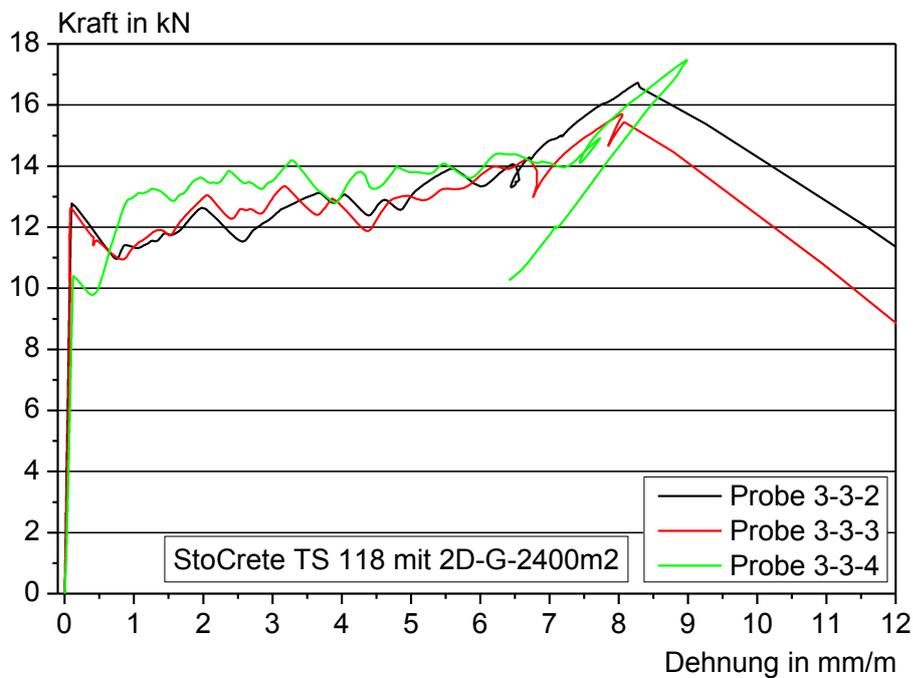


Bild B6: Zugversuche an textilbewehrten Streifenproben, Arbeits-schritt 3, StoCrete TS 118 mit 2D-G-2400m2

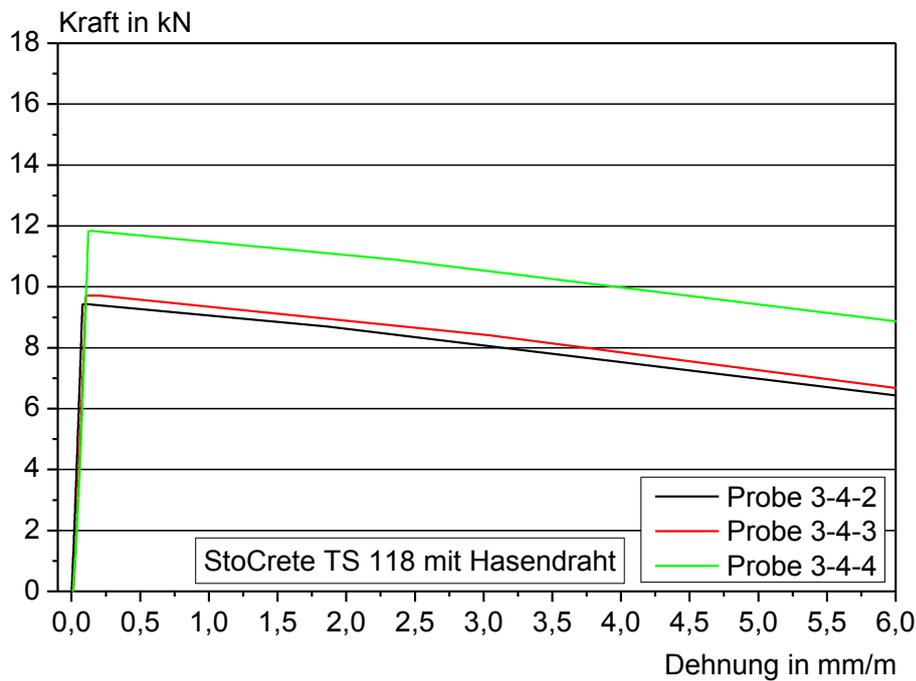


Bild B7: Zugversuche an textilbewehrten Streifenproben, Arbeitsschritt 3, StoCrete TS 118 mit Hasendraht

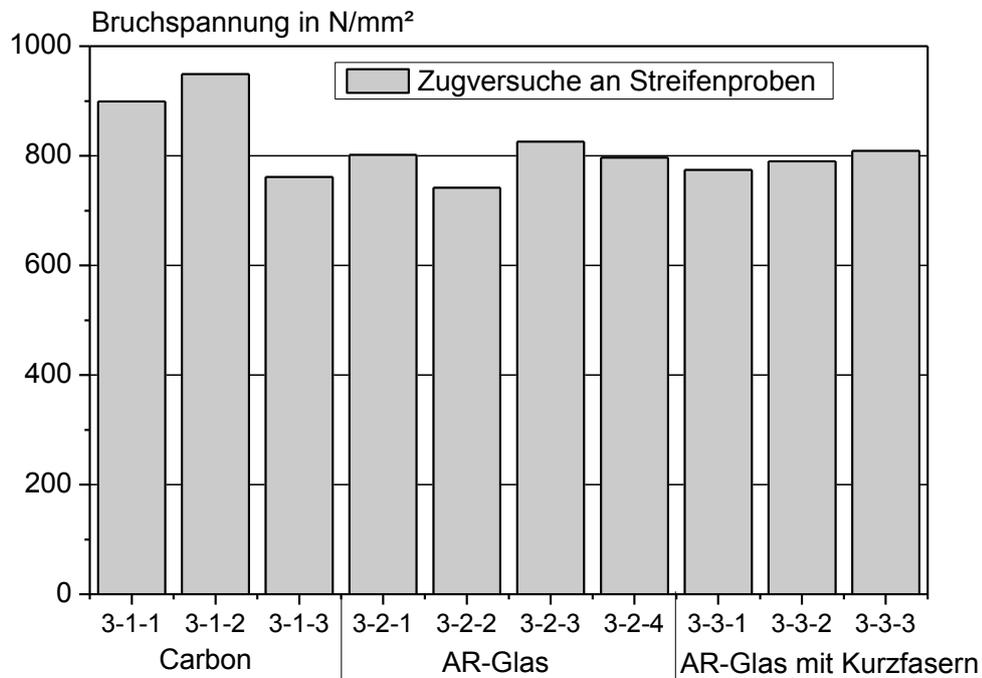


Bild B8: Zugversuche an textilbewehrten Streifenproben, Arbeitsschritt 3, Vergleich der Bruchspannungen

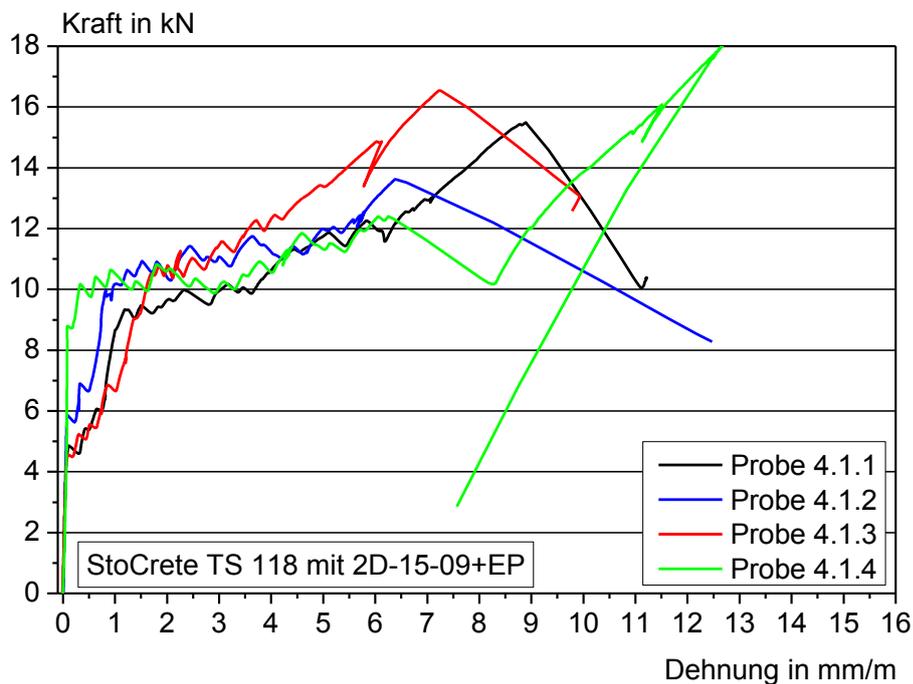


Bild B9: Zugversuche an textilibewehrten Streifenproben, Arbeitsschritt 4, StoCrete TS 118 mit 2D-15-09+EP

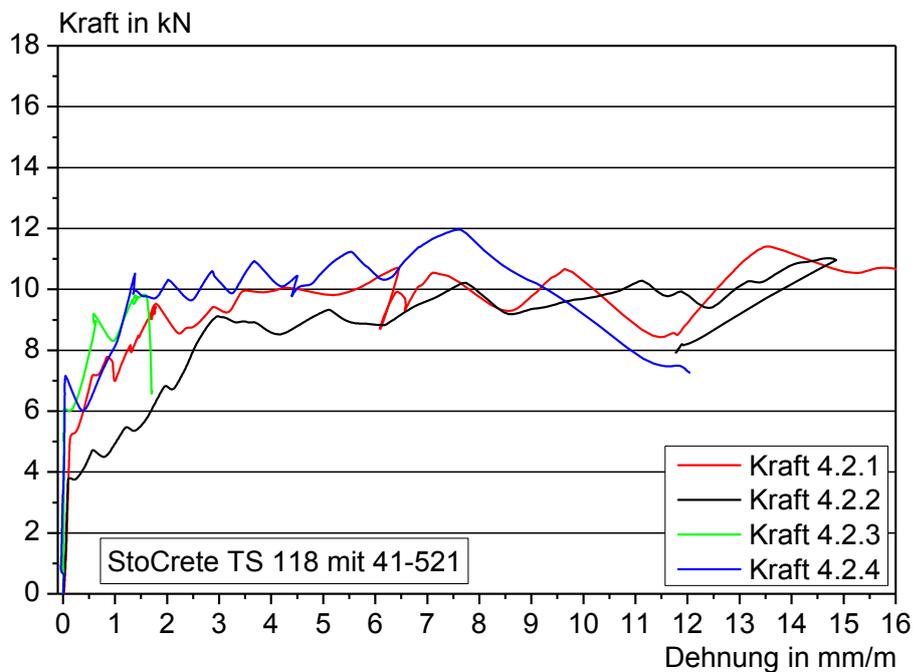


Bild B10: Zugversuche an textilibewehrten Streifenproben, Arbeitsschritt 4, StoCrete TS 118 mit 41-521

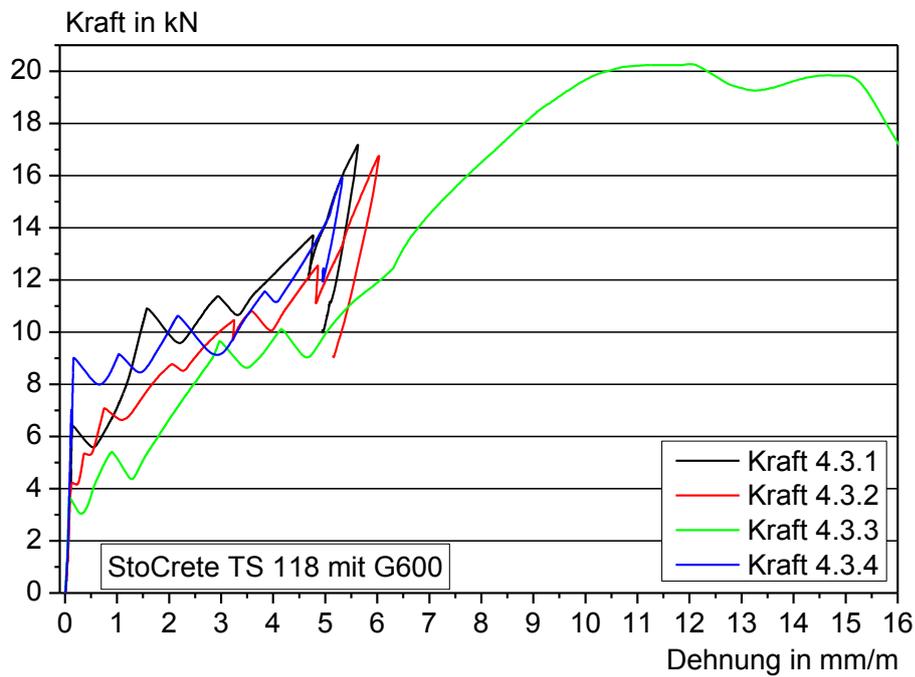


Bild B11: Zugversuche an textildewehrten Streifenproben, Arbeitsschritt 4, StoCrete TS 118 mit G600

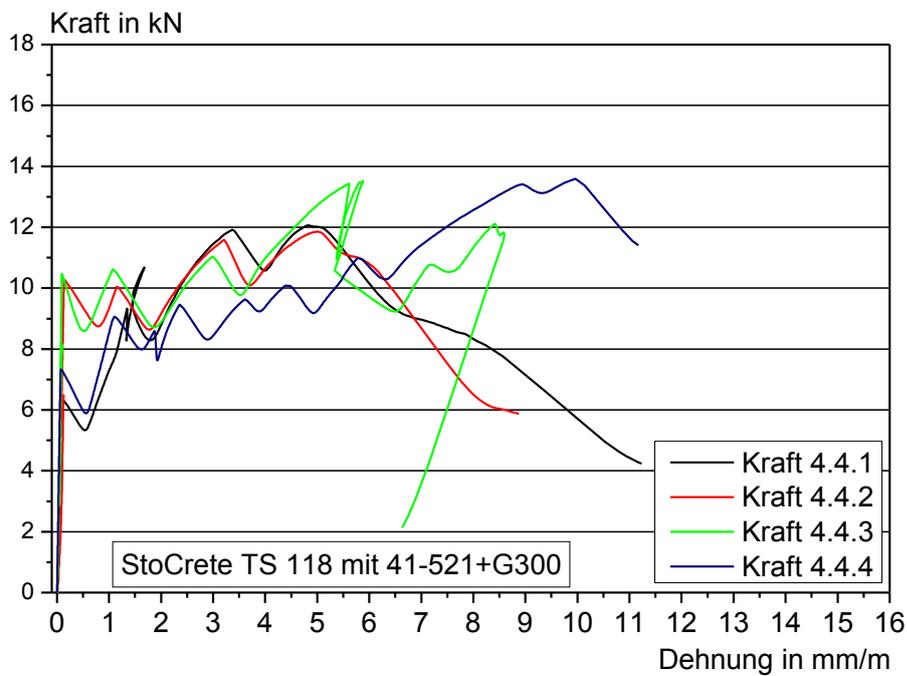


Bild B12: Zugversuche an textildewehrten Streifenproben, Arbeitsschritt 4, StoCrete TS 118 mit 41-521+G300

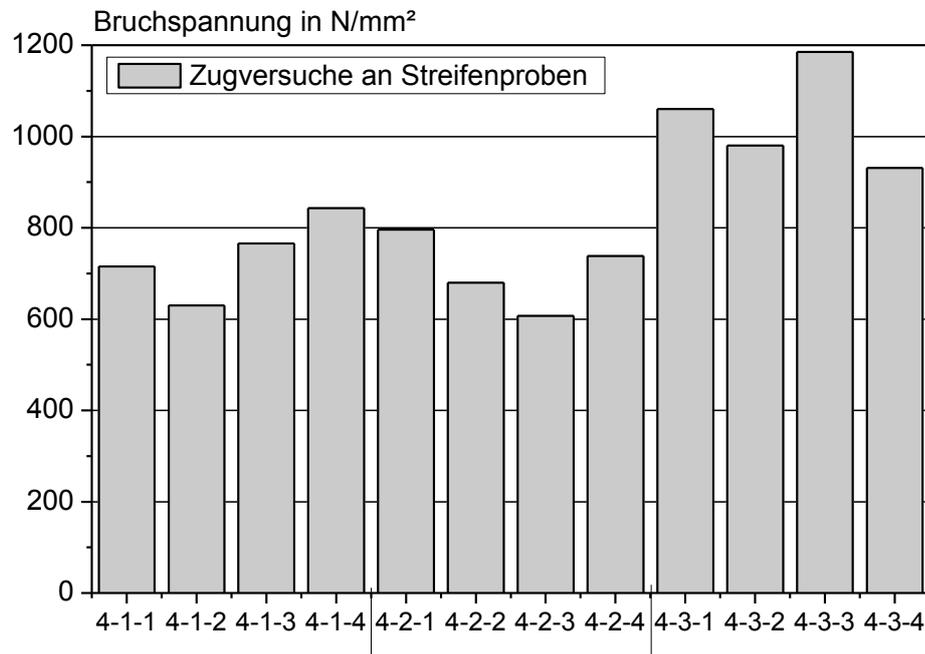


Bild B13: Zugversuche an textilbewehrten Streifenproben, Arbeitsschritt 4, Vergleich der Bruchspannungen. Aufgrund der unterschiedlichen Textilien und den damit verbundenen unterschiedlichen Garnquerschnitten wurde auf eine Auswertung für die Proben 4-4 verzichtet (StoCrete TS 118 mit 41-521+G300).



Bild B14: Links: Durchführung der Rissüberbrückungsversuche im Schritt 1. Rechts: Entstehung eines Risses oberhalb des gerissenen Altbetons (Probe 1.1.1 mit 2D-G-1200)



Bild B15: Probe 1.2.1 mit 2D-C-1600. Links: Riss gerade entstanden. Rechts: Herausziehen der Carbonbewehrung



Bild B16: Links: Lokale Untergrundbehandlung im Bereich des Risses. Rechts: Nafufill GTS-HS mit AR-Glasfasern als Trockenmischung



Bild B17: Nafufill GTS-HS mit AR-Glasfasern. Links: Nach dem Herstellen der Proben. Rechts: Im Rissüberbrückungsversuch



Bild B18: Nafufill GTS-HS mit 2D-C-1900 im Rissüberbrückungsversuch



Bild B19: Versagen des Altbetons beim Rissüberbrückungsversuch bei etwa 12 kN

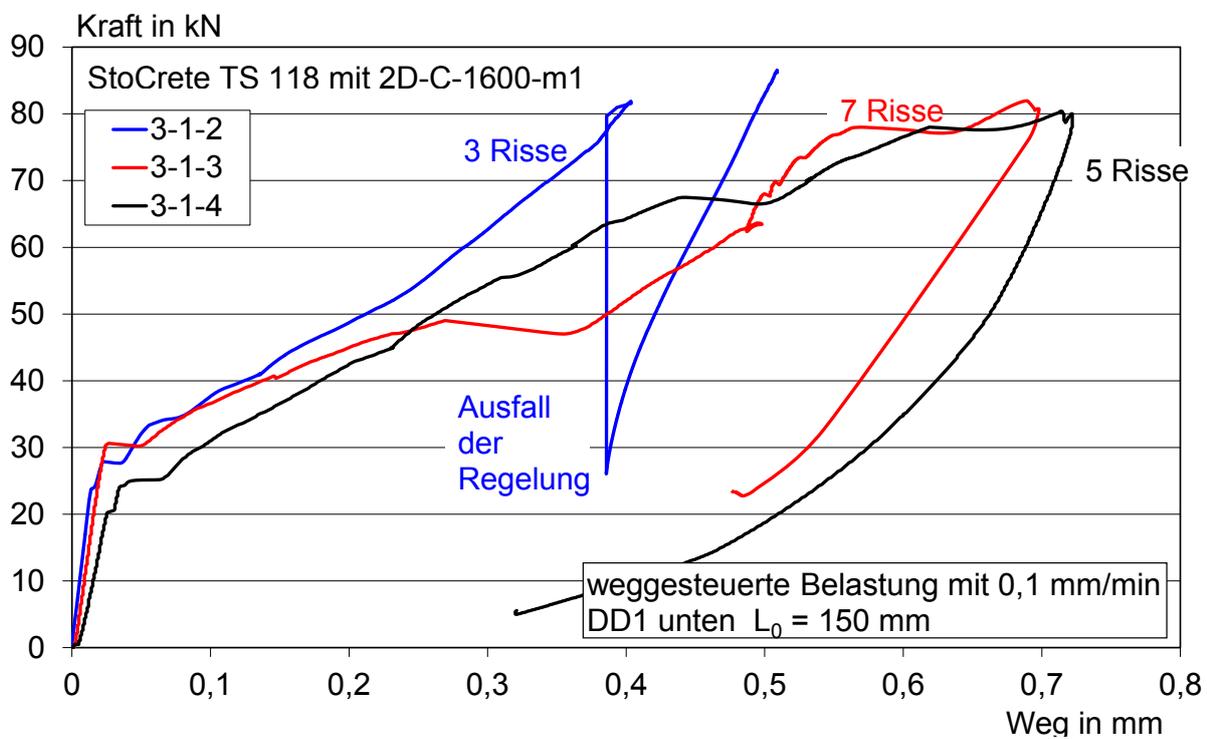


Bild B20: Biegeversuche an Rissüberbrückungskörpern, Arbeitsschritt 3, StoCrete TS 118 mit 2D-C-1600m1

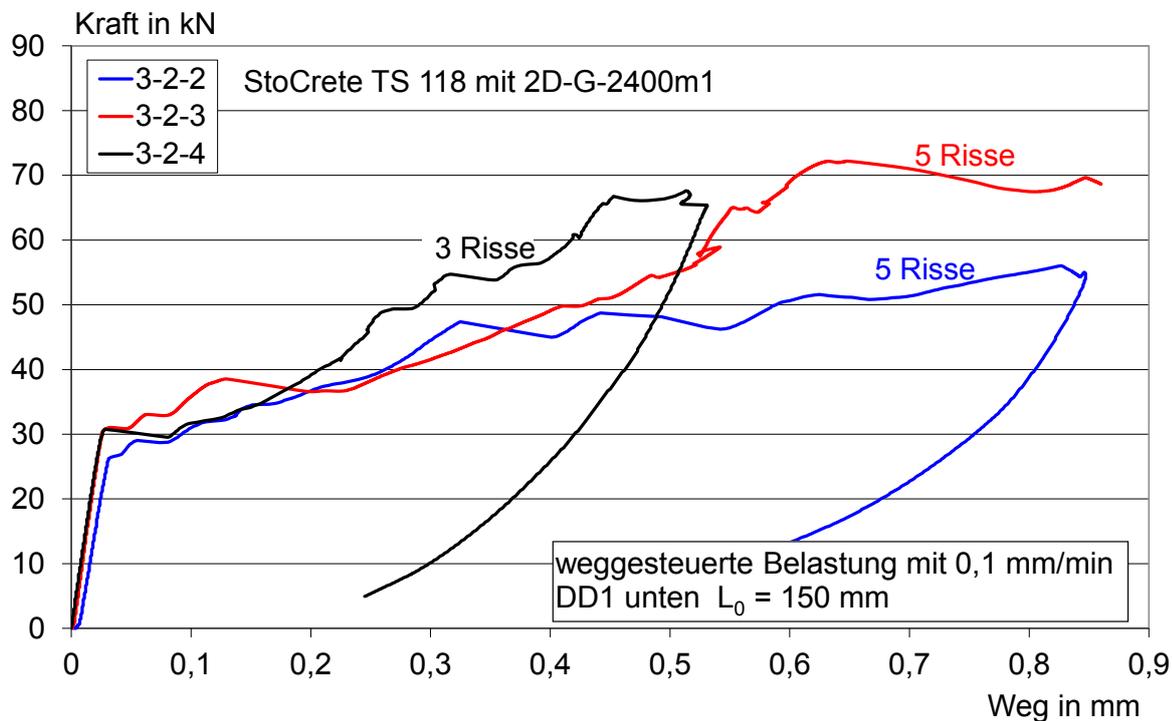


Bild B21: Biegeversuche an Rissüberbrückungskörpern, Arbeitsschritt 3, StoCrete TS 118 mit 2D-G-2400m1

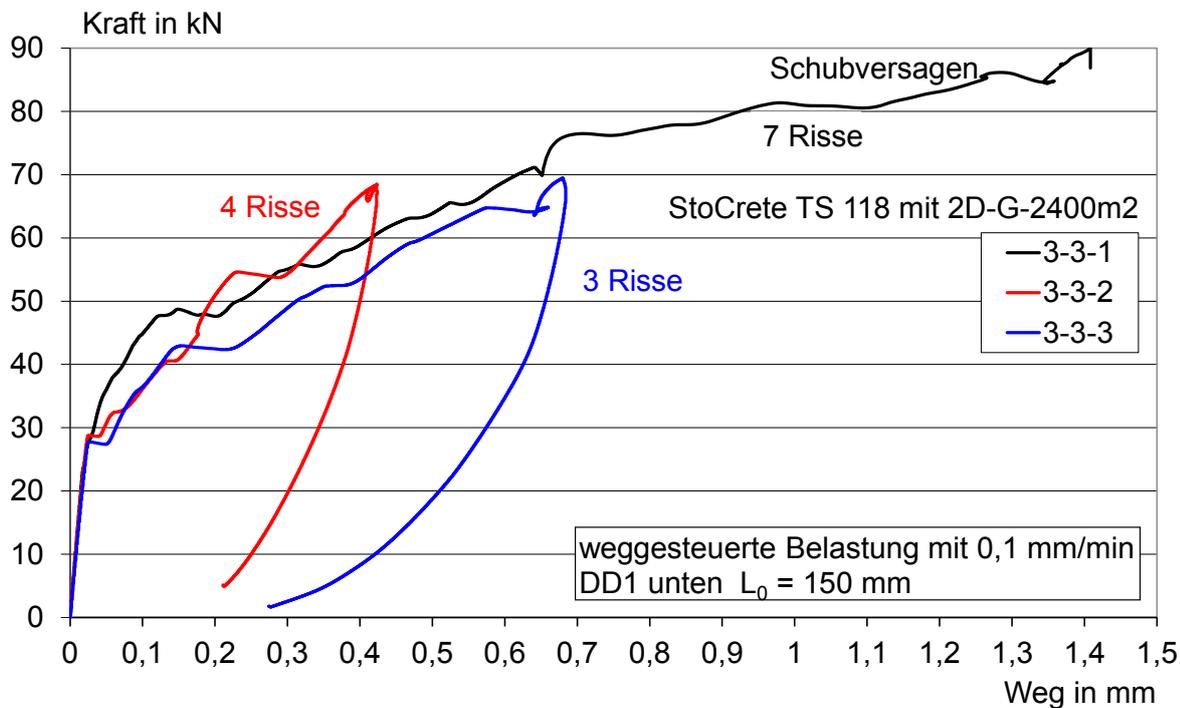


Bild B22: Biegeversuche an Rissüberbrückungskörpern, Arbeitsschritt 3, StoCrete TS 118 mit 2D-G-2400m2

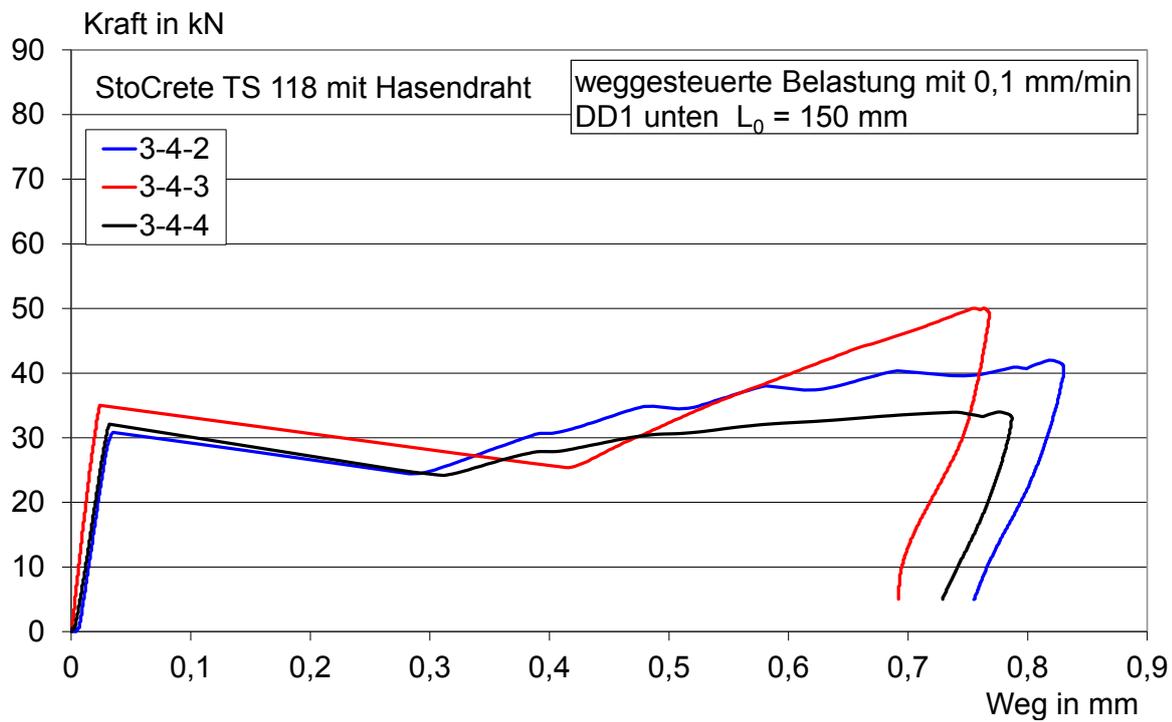


Bild B23: Biegeversuche an Rissüberbrückungskörpern, Arbeitsschritt 3, StoCrete TS 118 mit Hasendraht

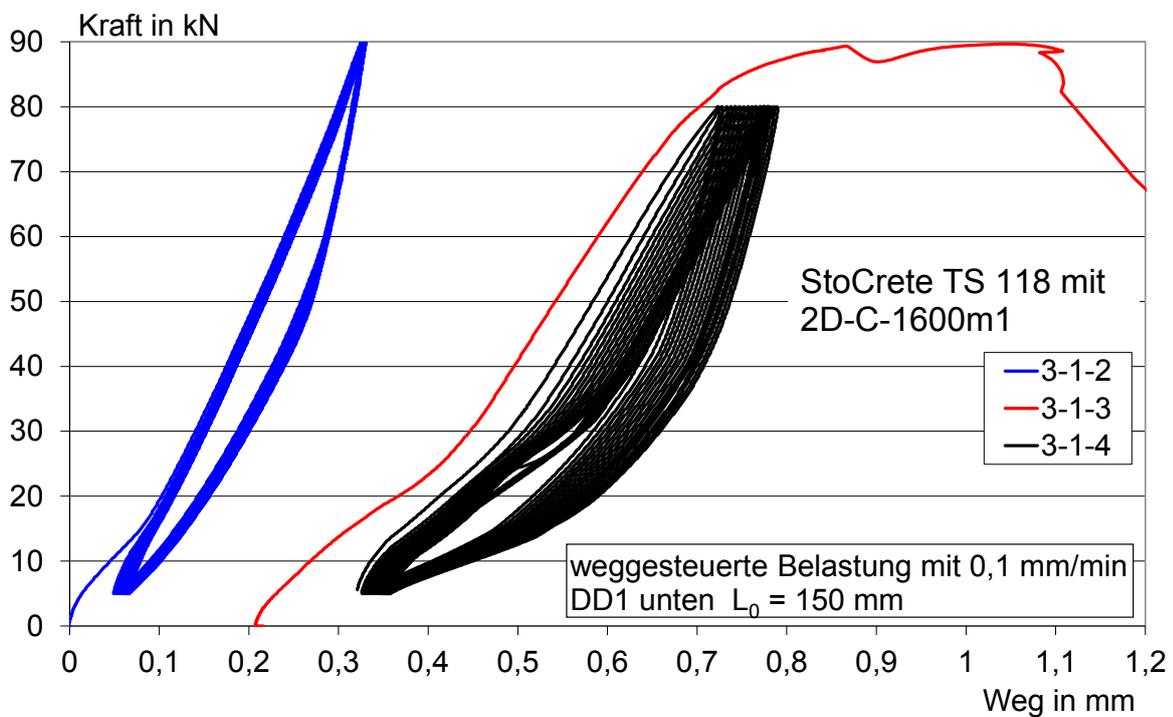


Bild B24: Zyklische Beanspruchung im Biegeversuch, Arbeitsschritt 3, StoCrete TS 118 mit 2D-C-1600m1

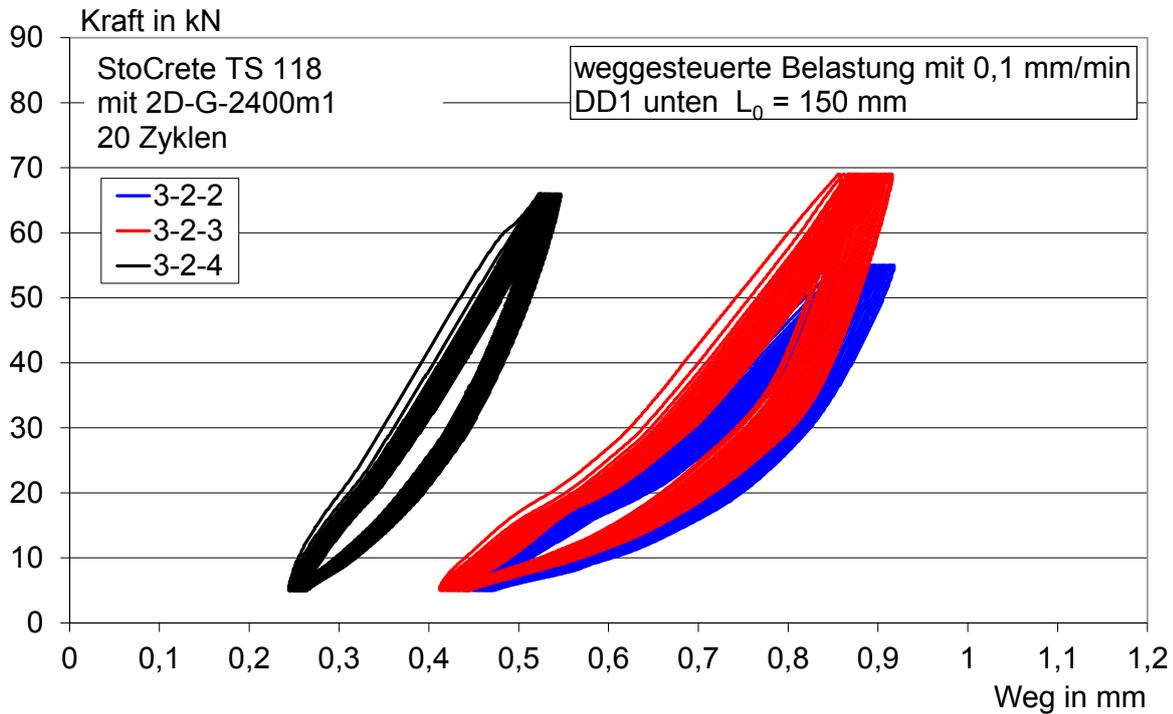


Bild B25: Zyklische Beanspruchung im Biegeversuch, Arbeitsschritt 3, StoCrete TS 118 mit 2D-G-2400m1

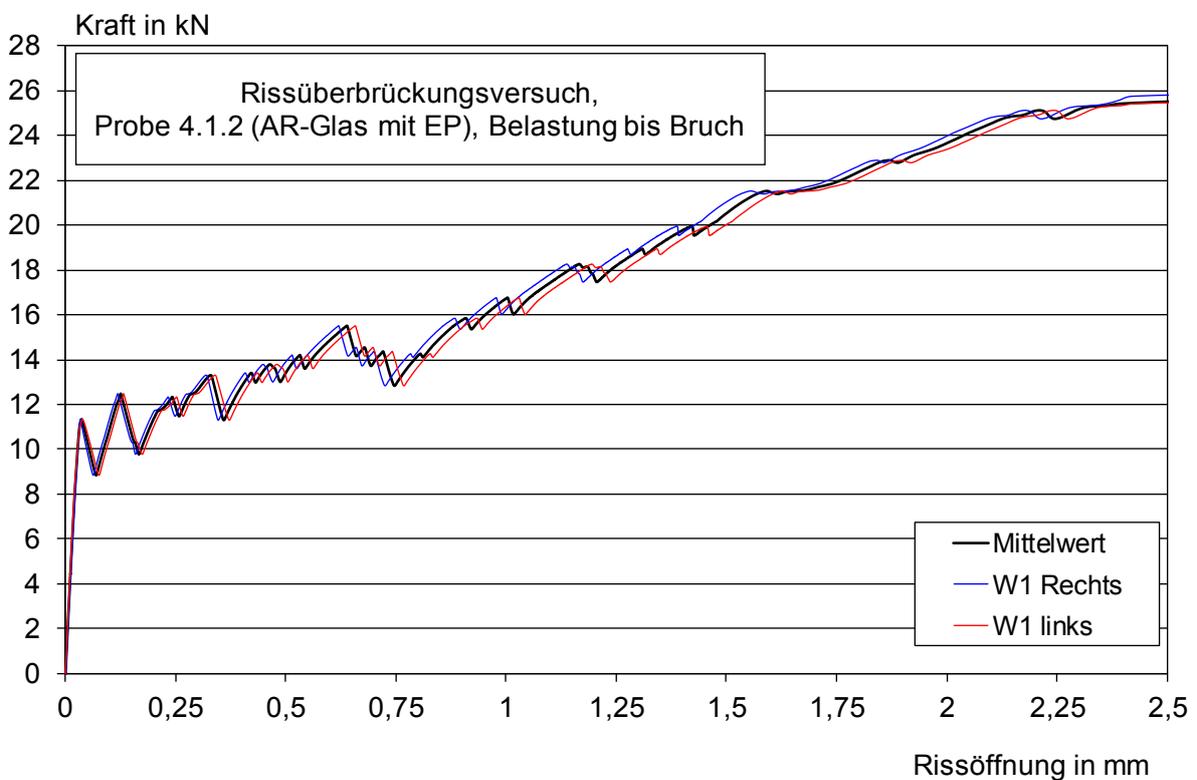


Bild B26: Rissüberbrückungsversuch, Arbeitsschritt 4, StoCrete TS 118 mit 2D-15-09+EP, Probe 2 (Probe 1 bei Vorversuchen zerstört)

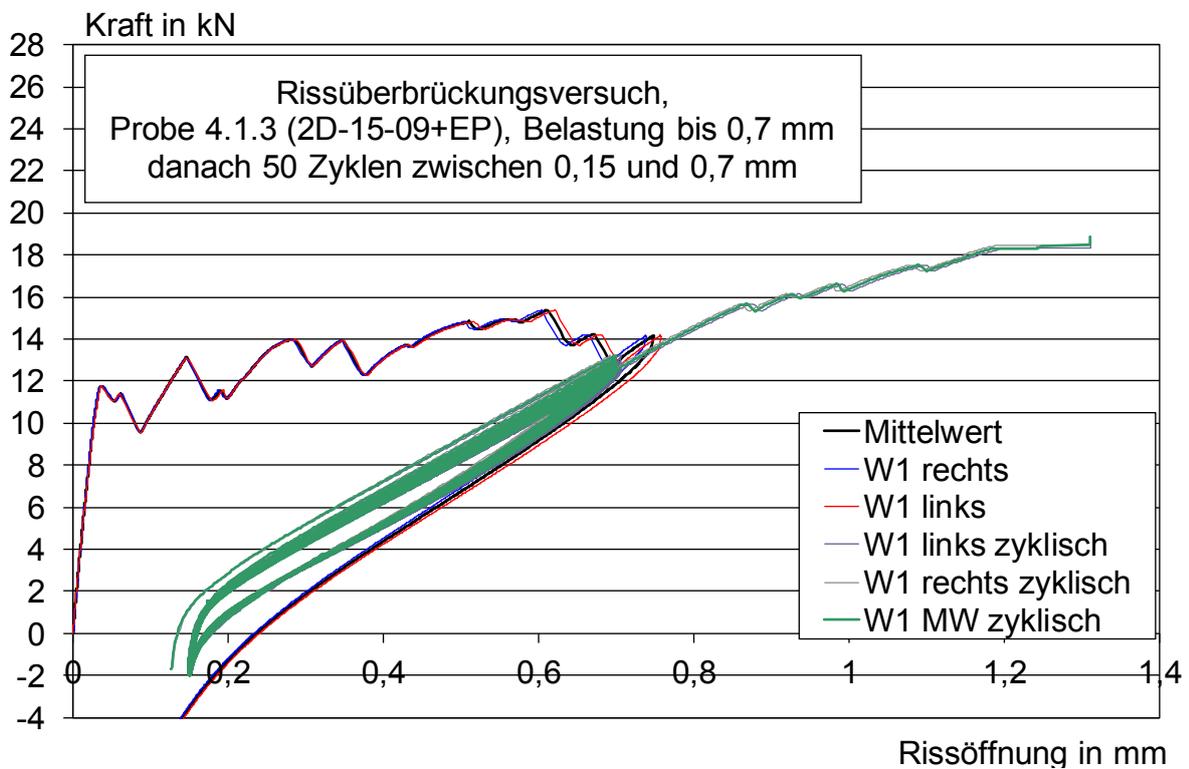


Bild B27: Rissüberbrückungsversuch, Arbeitsschritt 4, StoCrete TS 118 mit 2D-15-09+EP, Probe 3, zyklisch belastet

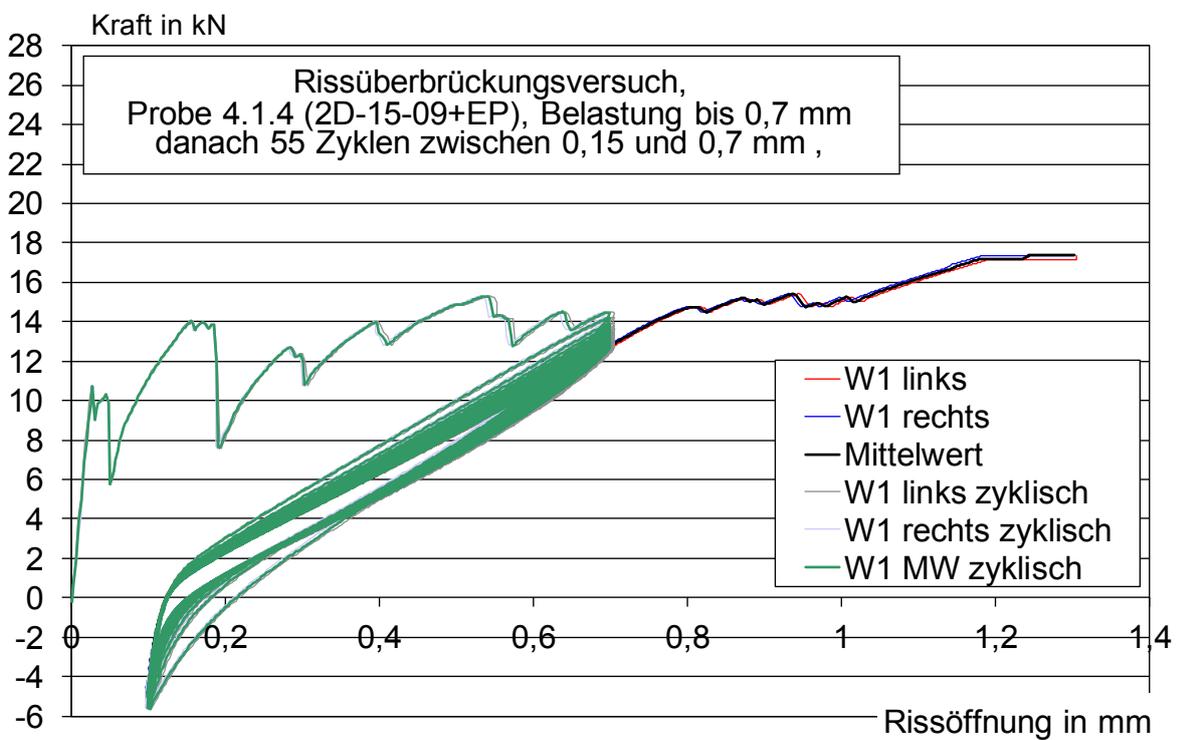


Bild B28: Rissüberbrückungsversuch, Arbeitsschritt 4, StoCrete TS 118 mit 2D-15-09+EP, Probe 4, zyklisch belastet

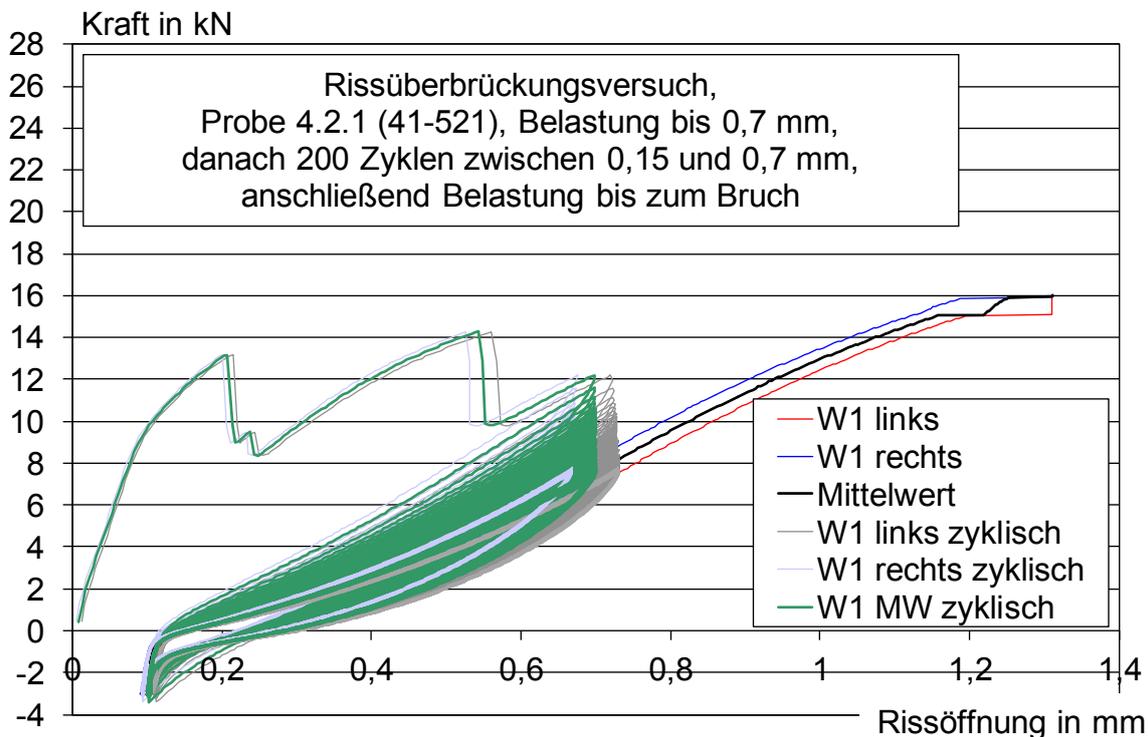


Bild B29: Rissüberbrückungsversuch, Arbeitsschritt 4, StoCrete TS 118 mit 41-521, Probe 1, zyklisch belastet

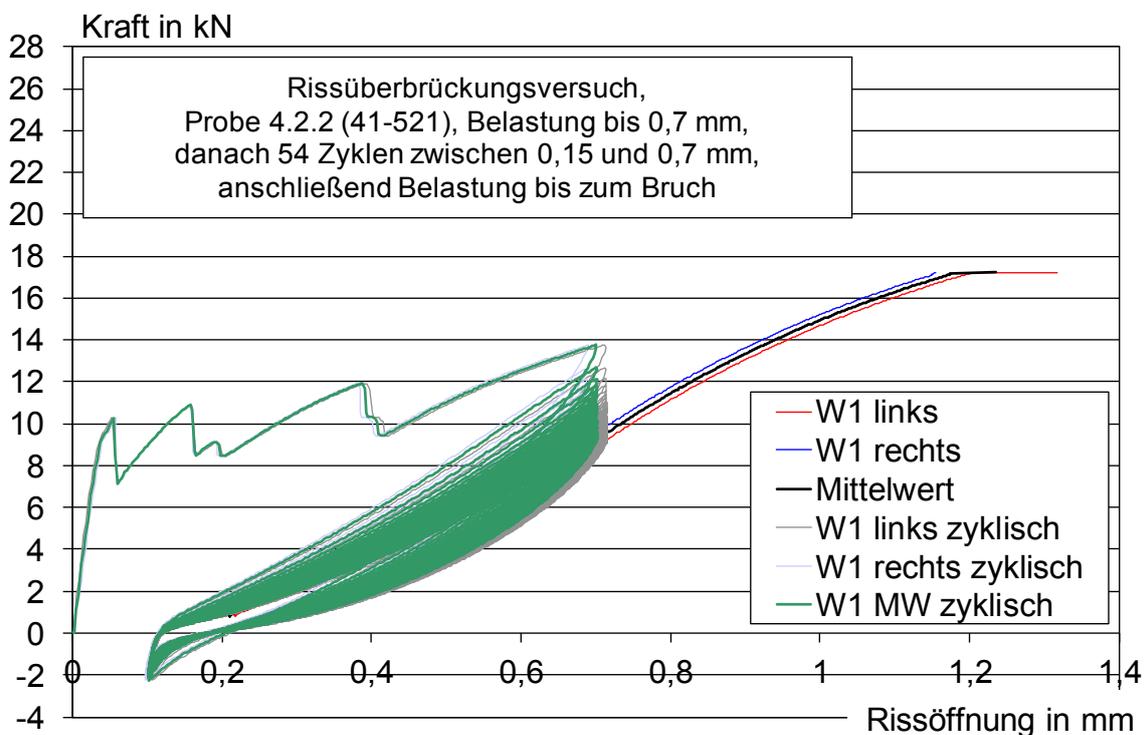


Bild B30: Rissüberbrückungsversuch, Arbeitsschritt 4, StoCrete TS 118 mit 41-521, Probe 2, zyklisch belastet

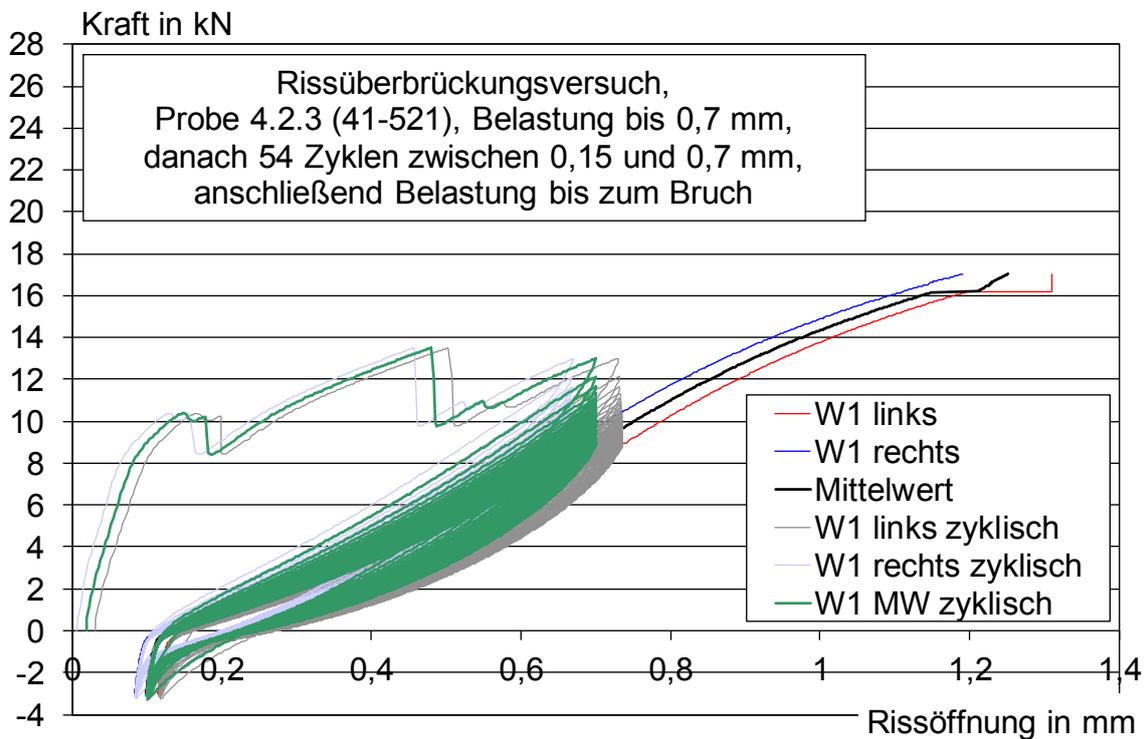


Bild B31: Rissüberbrückungsversuch, Arbeitsschritt 4, StoCrete TS 118 mit 41-521, Probe 3, zyklisch belastet

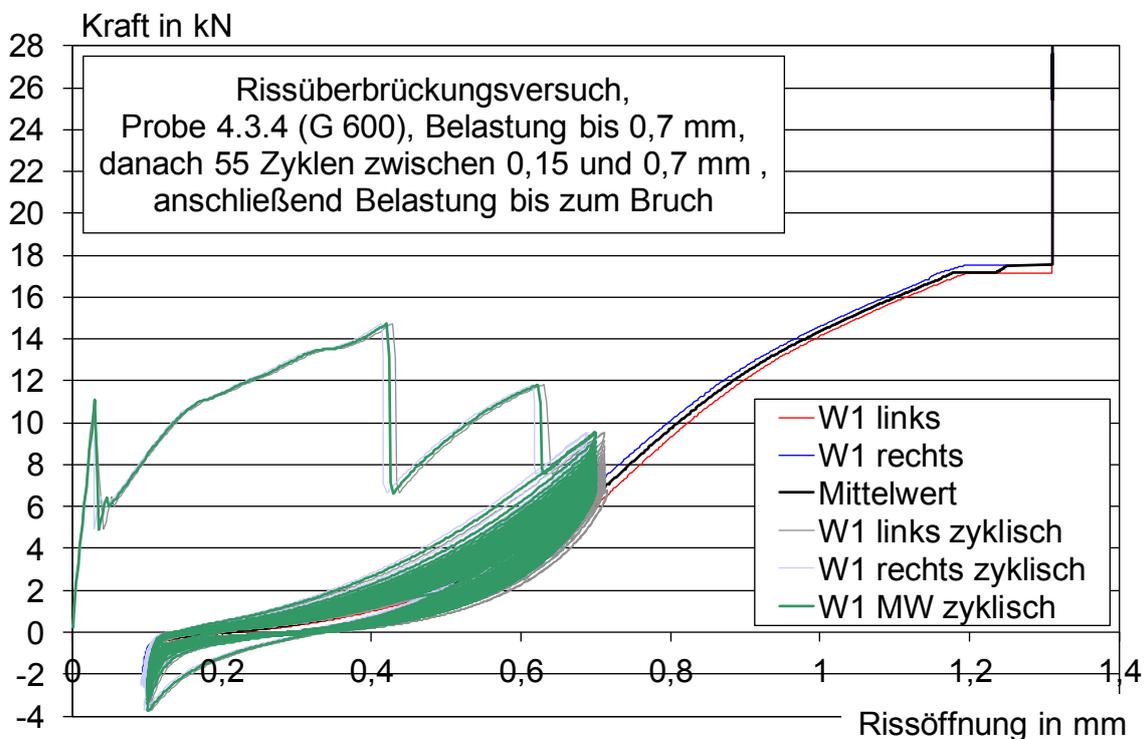


Bild B32: Rissüberbrückungsversuch, Arbeitsschritt 4, StoCrete TS 118 mit G 600, Probe 4, zyklisch belastet (Probe 1 & 2 bei Vorversuchen zerstört, Probe 3 ohne Kraftmessdose geprüft)

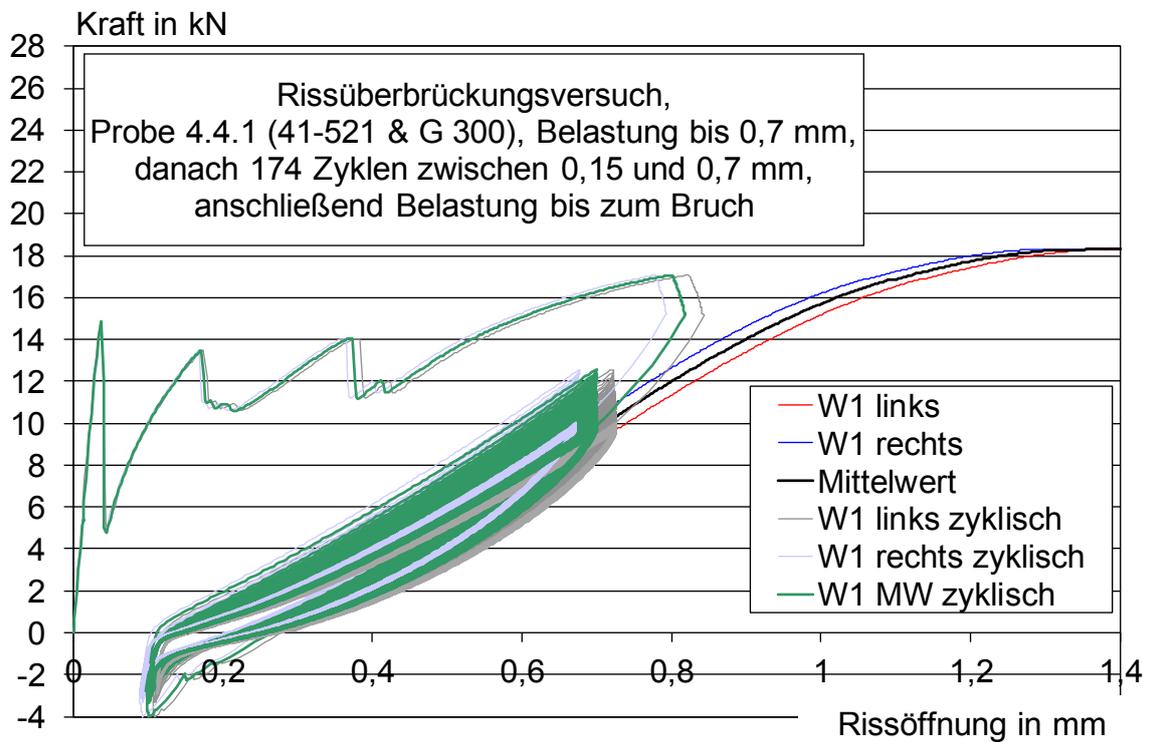


Bild B33: Rissüberbrückungsversuch, Arbeitsschritt 4, StoCrete TS 118 mit 41-521 + G 300, Probe 1, zyklisch belastet

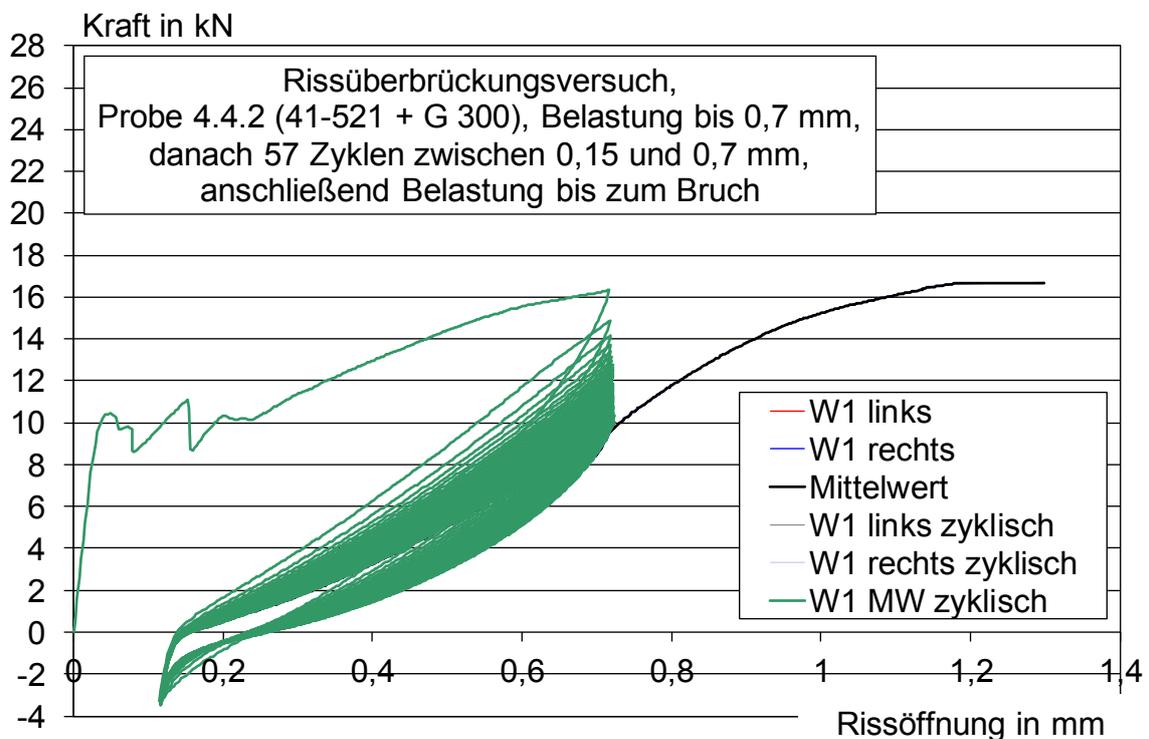


Bild B34: Rissüberbrückungsversuch, Arbeitsschritt 4, StoCrete TS 118 mit 41-521 + G 300, Probe 2, zyklisch belastet

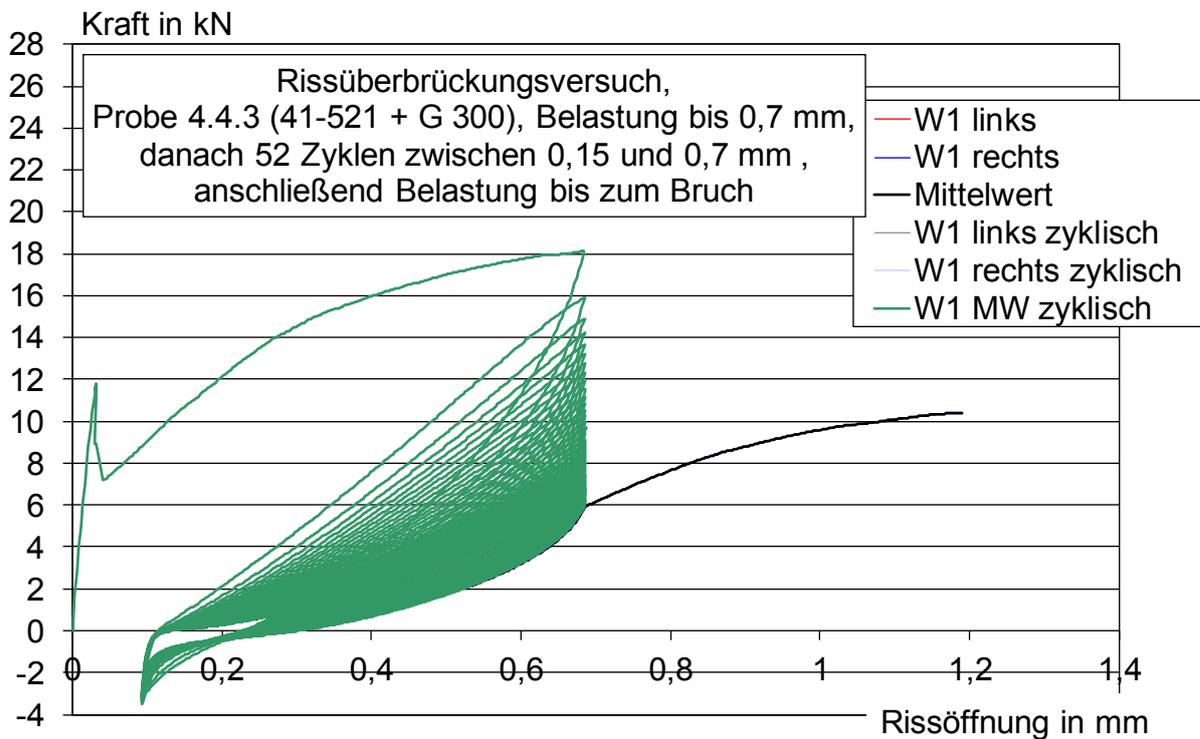


Bild B35: Rissüberbrückungsversuch, Arbeitsschritt 4, StoCrete TS 118 mit 41-521 + G 300, Probe 3, zyklisch belastet

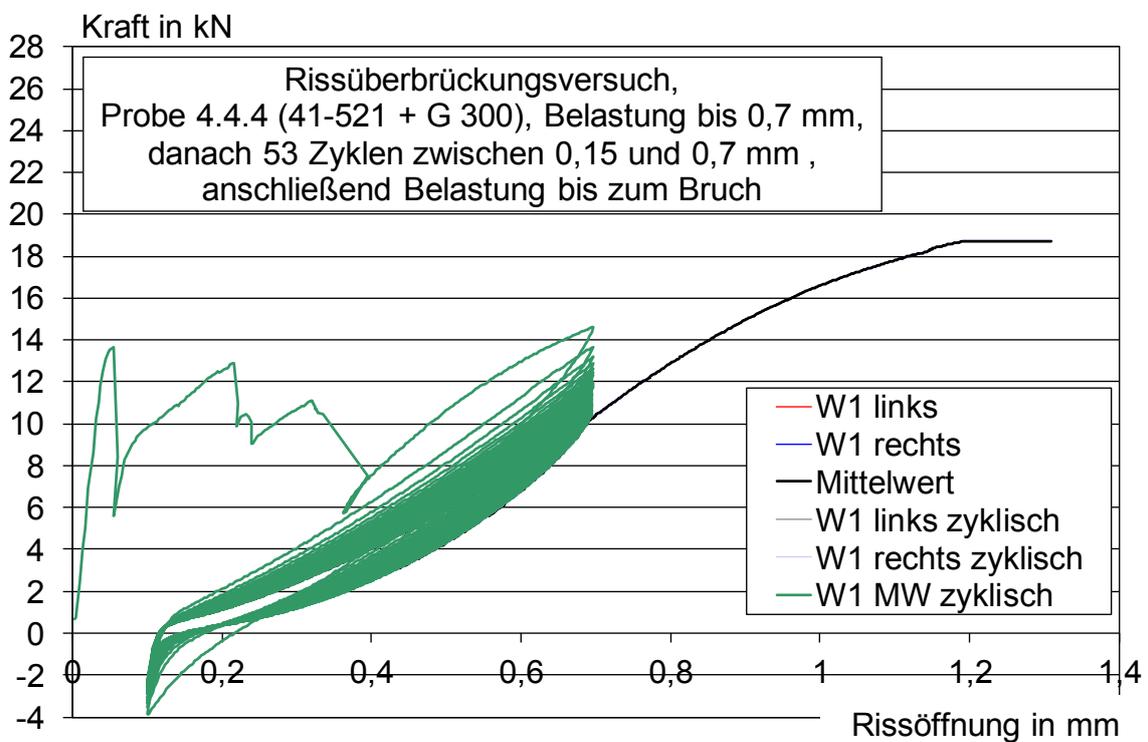


Bild B36: Rissüberbrückungsversuch, Arbeitsschritt 4, StoCrete TS 118 mit 41-521 + G 300, Probe 4, zyklisch belastet



Bild B37: Gesamtansicht des Wehrs Horkheim



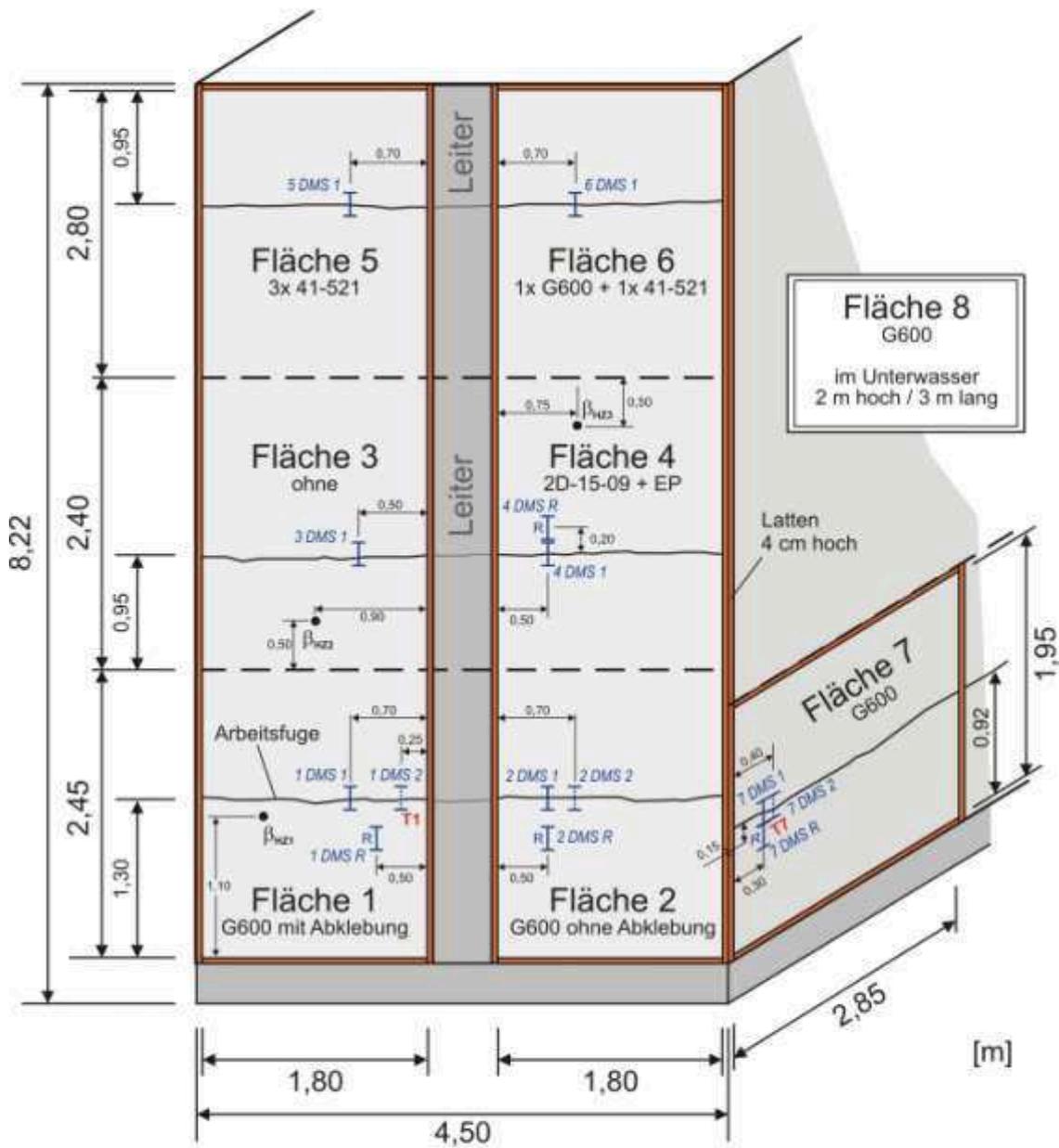
Bild B38: Stirnseite des Pfeilers 3



Bild B39: Flanke von Pfeiler 3 (Probefläche 7) und Betonvorbereitung durch Höchstdruckwasserstrahlen

Pfeiler 3

Abmessungen Stirnseite Oberwasser



- ┃ DMS unterhalb erster Textillage
- ┃ DMS unterhalb zweiter Textillage
- ┃ Kalibrier-DMS

Bild B40: Anordnung der Probeflächen und Positionen der Dehnungsmessstreifen (DMS)



Bild B41: Lokale Untergrundbehandlung im Bereich der Arbeitsfugen



Bild B42: Zuschnitt der Textilien vor Ort mit einer Flex



Bild B43: Befestigung der DMS in der ersten Spritzmörtelschicht (oberhalb eines Risses und außerhalb eines Risses (Referenz))



Bild B44: Befestigung der Textilien mittels Glasfaserdübel und Edelstahltellern



Bild B45: Einbettung des Textils mittels Spritzmörtel

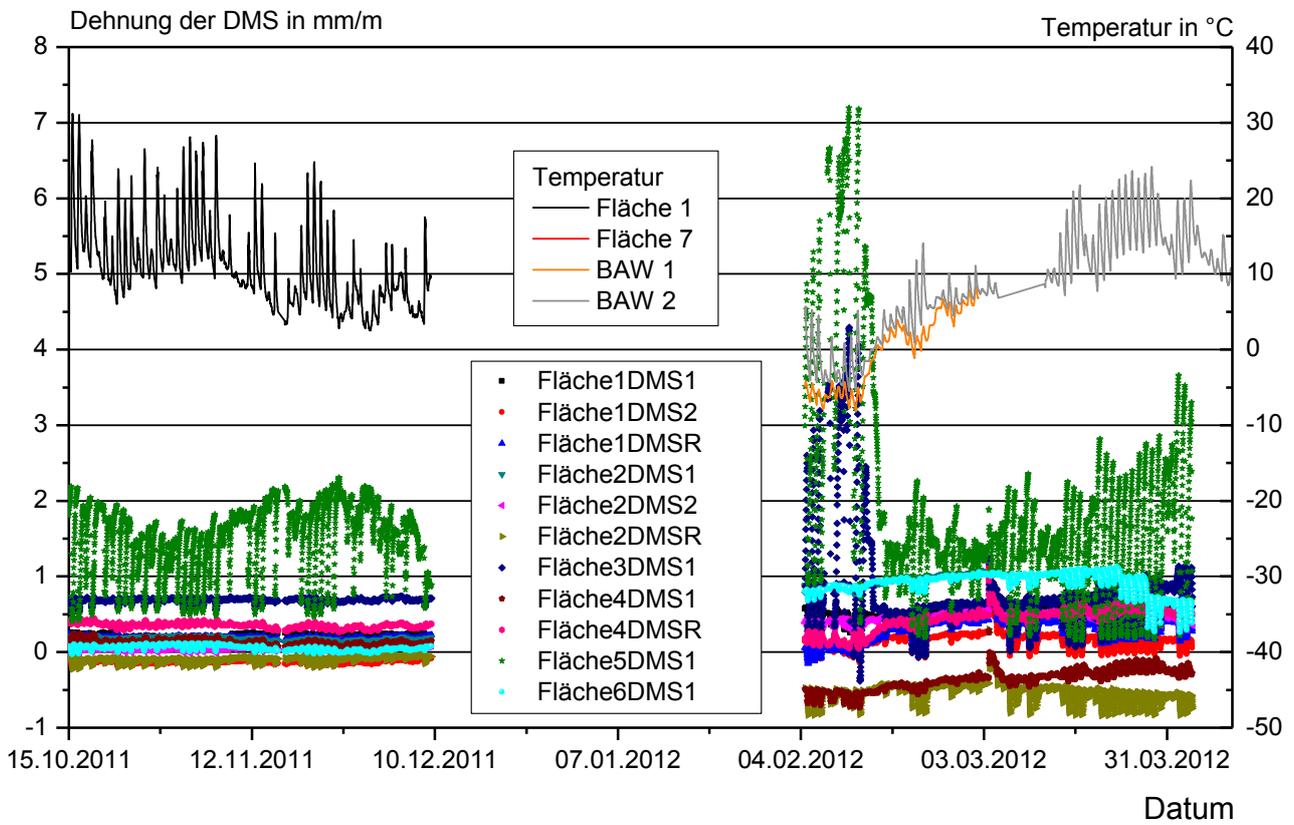


Bild B46: Dehnungs- und Temperaturverlauf im Spritzmörtel am Wehr Horkheim im Winter 2012. Datenausfall von Mitte Dezember bis Anfang Januar

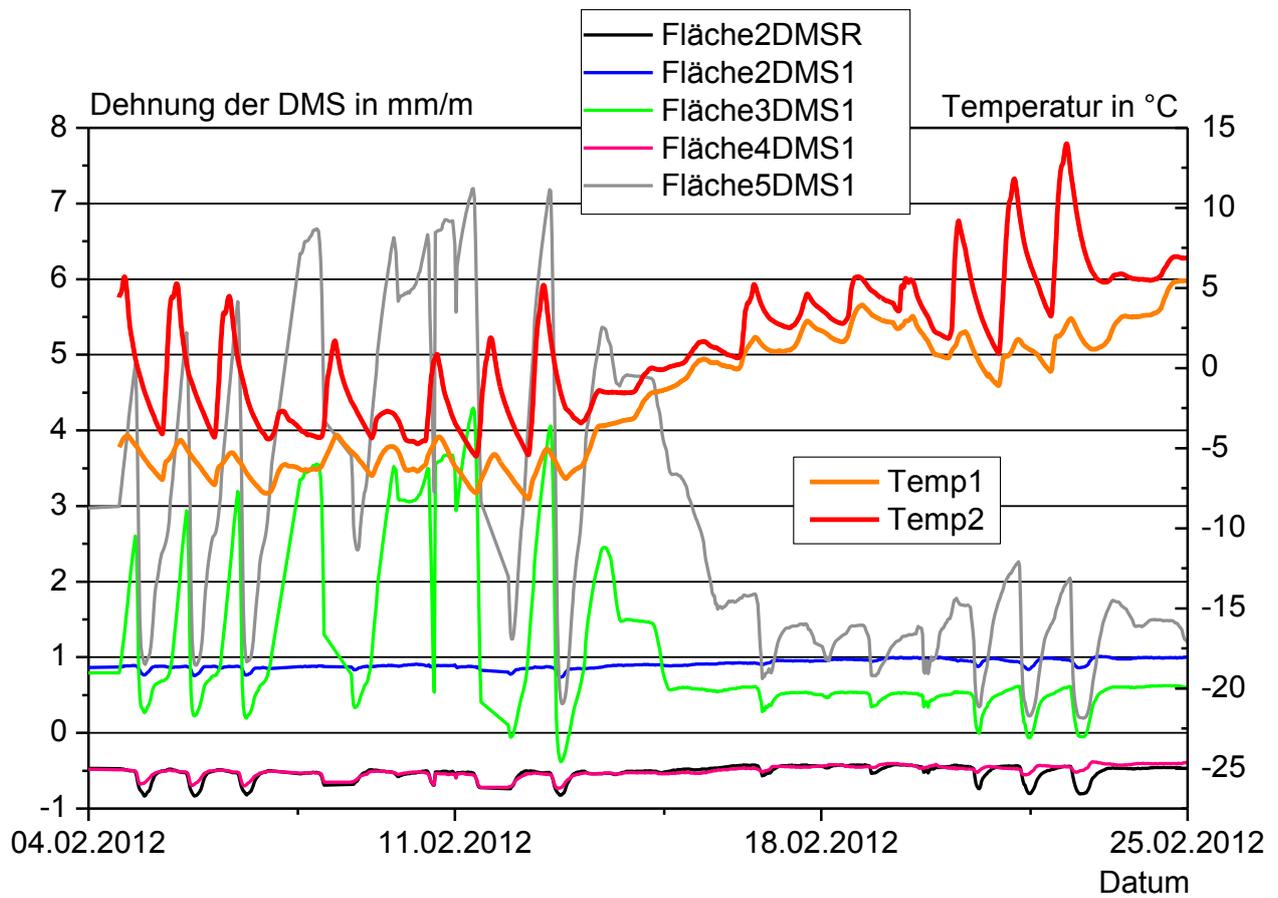
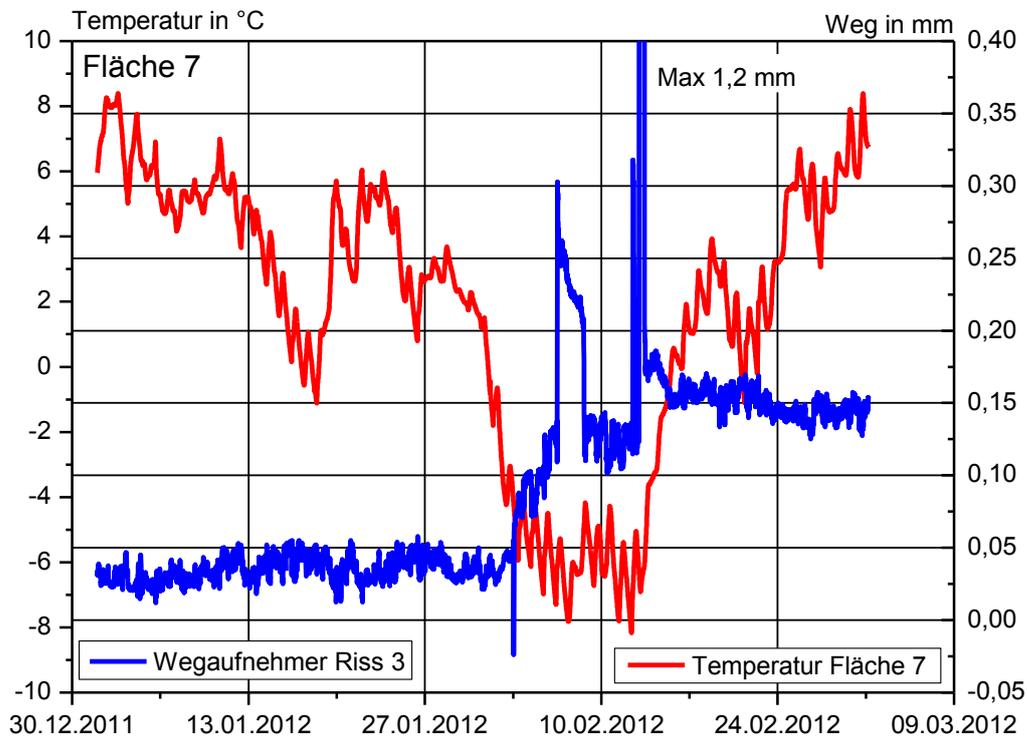
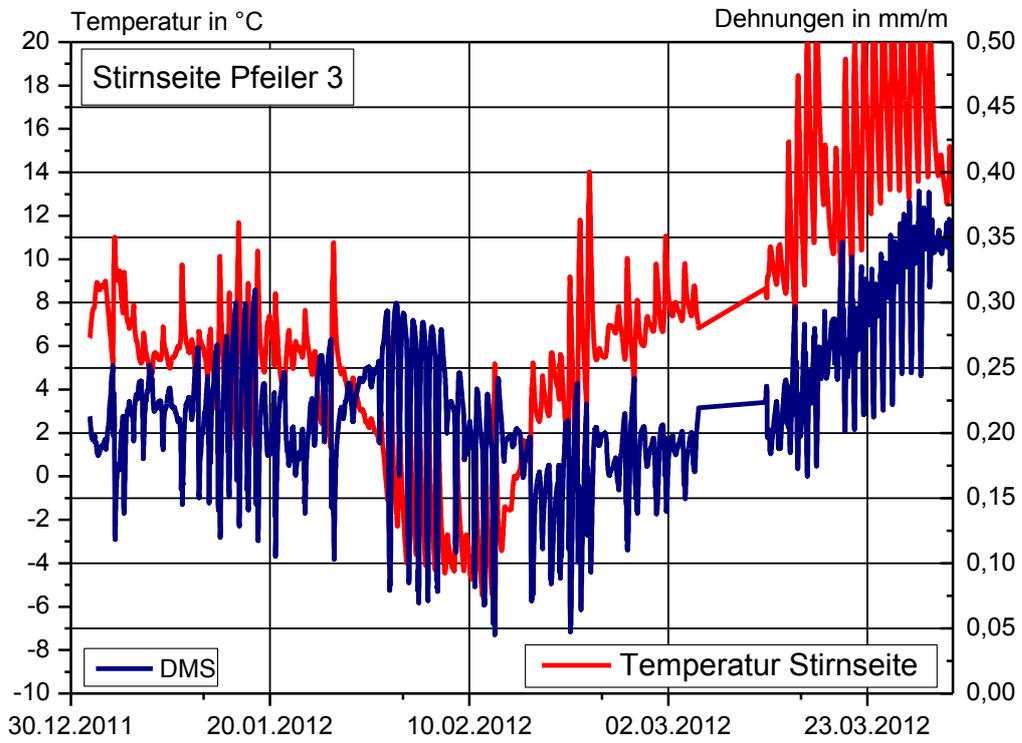


Bild B47: Detail des Dehnungs- und Temperaturverlaufs im Spritzmörtel am Wehr Horkheim im Februar 2012



Bezug zum Messbeginn nach Instandsetzung am 30.09.2010
Positiver Weg bedeutet Rissöffnung

Bild B48: Messdaten der BAW bei Fläche 7. Öffnung des Risses infolge Temperaturabfall



Bezug zum Messbeginn nach Instandsetzung am 30.09.2010

Bild B49: Messdaten der BAW. Dehnung des DMS an der Stirnseite von Pfeiler 3



Bild C1: Risskartierung Stirnwand. Angaben der BAW

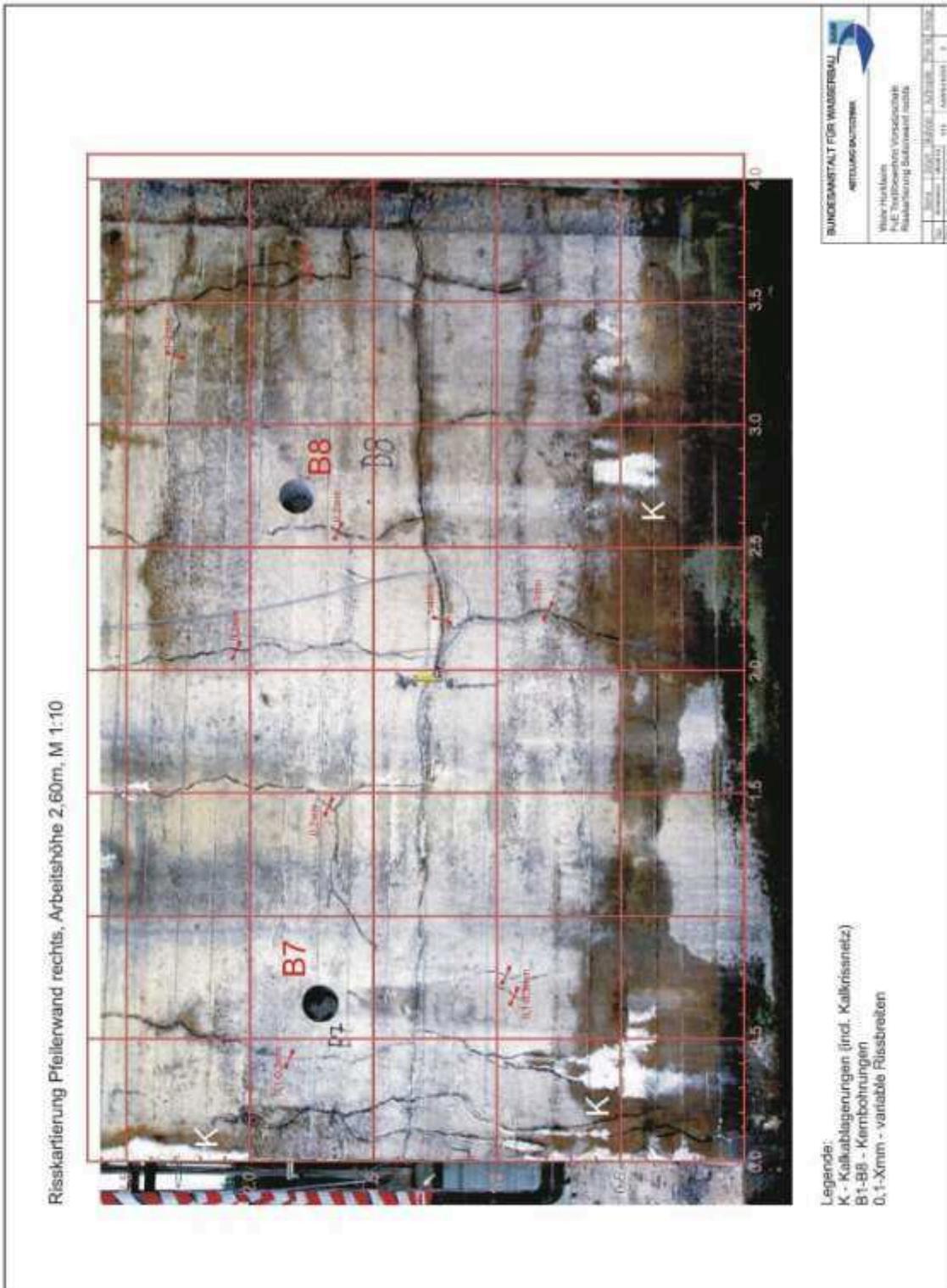


Bild C2: Risskartierung der Flanke Pfeiler 3. Angaben der BAW

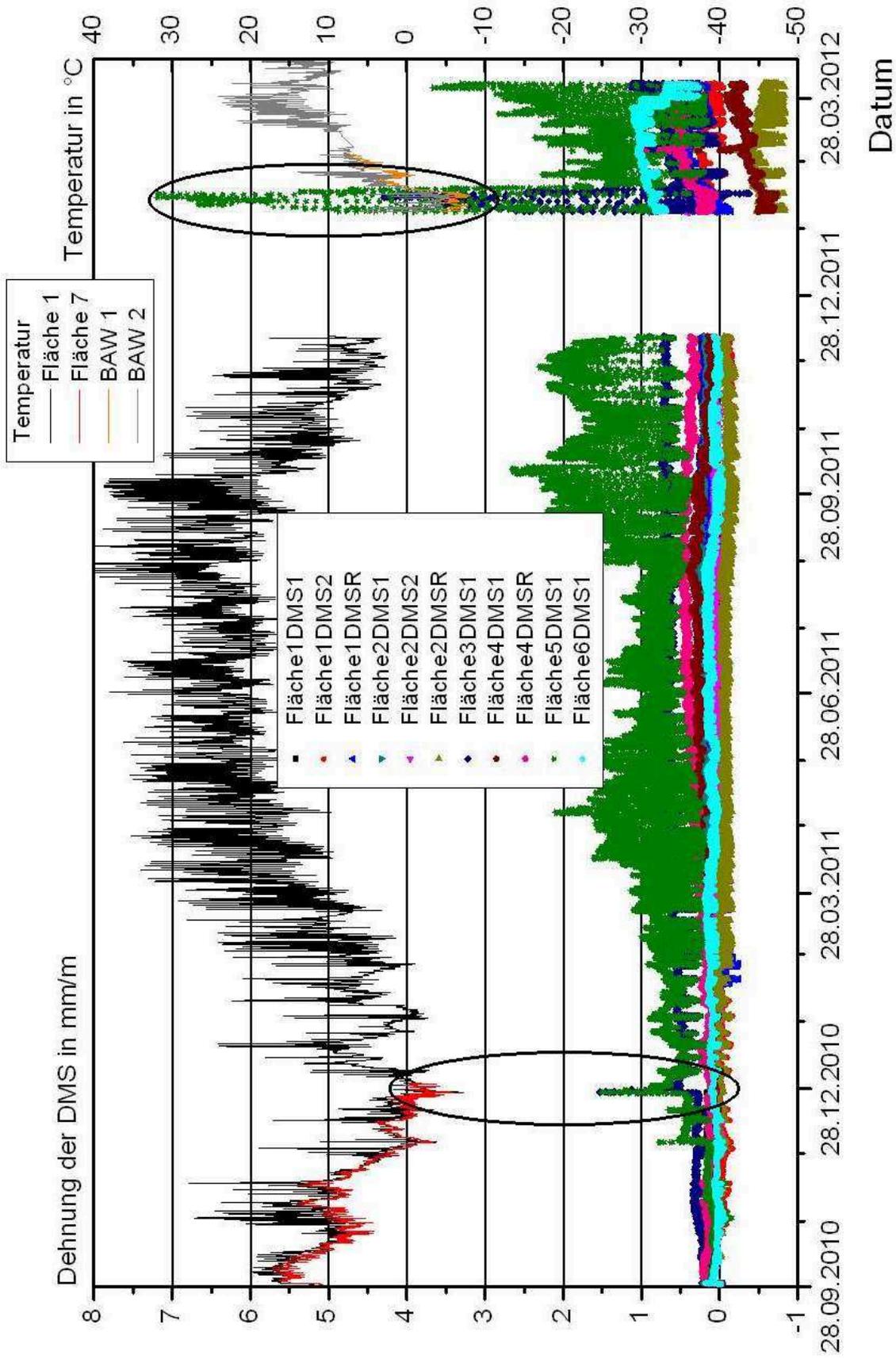


Bild C3: Dehnungen aller DMS während der Messzeit an der Stirnseite von Pfeiler 3

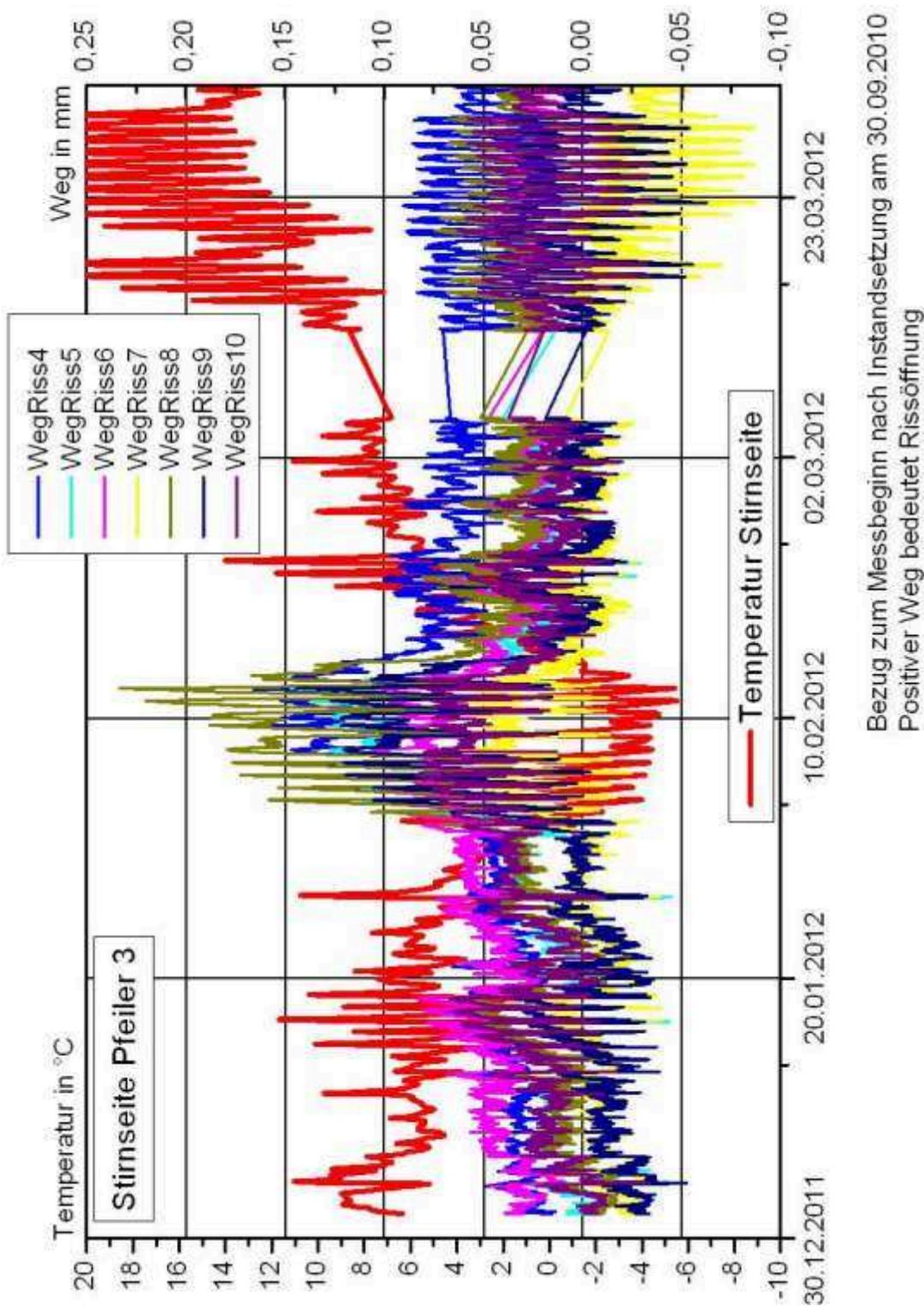
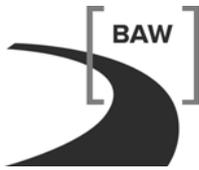


Bild C4: Daten der BAW. Wege der Wegaufnehmer an der Stirnseite von Pfeiler 3



Anlage 3:

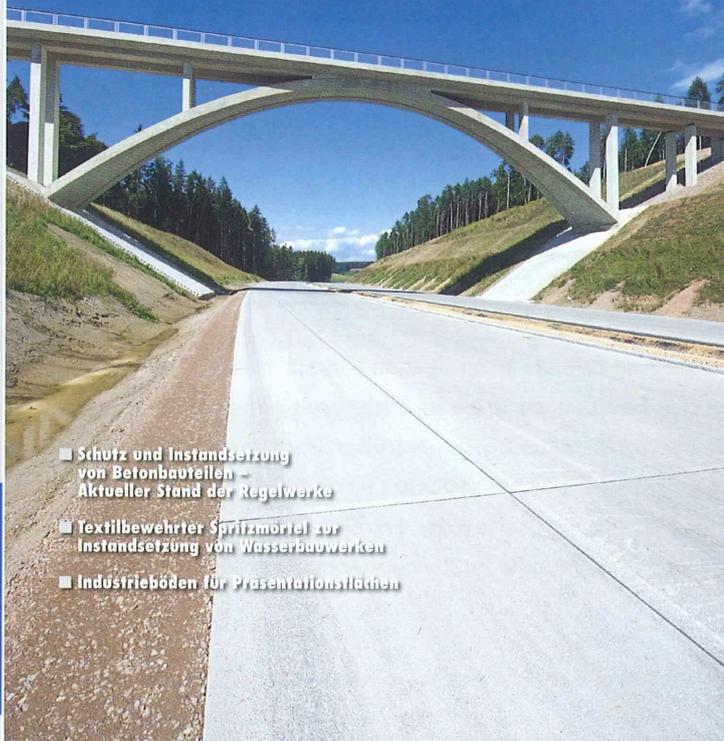
Orlowsky, J.; Raupach, M.; Westendarp, A.; Öztürk, T.: Textilbewehrte Spritzmörtel zur Instandsetzung von Wasserbauwerken. In: Beton 61 (2011), Nr. 12, S. 486-490.

12/2011

61. Jahrgang · 1739

beton

Die Fachzeitschrift für Bau+Technik



- Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen – Aktueller Stand der Regelwerke
- Textilbewehrter Spritzmörtel zur Instandsetzung von Wasserbauwerken
- Industrieböden für Präsentationsflächen

www.verlagbt.de

VERLAG  BAU+TECHNIK

Sonderdruck

Textilbewehrte Spritzmörtel zur Instandsetzung von Wasserbauwerken

Jeanette Orłowsky und Michael Raupach, Aachen
Andreas Westendarp, Karlsruhe, Turgay Öztürk, Kriftel

Verlag Bau+Technik GmbH
www.verlagbt.de



Überreicht durch:
Bundesanstalt für Wasserbau

Ergebnisse eines Forschungsvorhabens

Textilbewehrte Spritzmörtel zur Instandsetzung von Wasserbauwerken

Jeanette Orlowsky und Michael Raupach, Aachen, Andreas Westendarp, Karlsruhe, Turgay Öztürk, Kriftel

Massive, mehrere Jahrzehnte alte Wasserbauwerke weisen häufig geringer feste Betonuntergründe sowie gerissene Arbeitsfugen und Risse mit temperaturbedingten Rissbreitenänderungen auf. Bei Verwendung unbewehrter Instandsetzungsmörtel bedingen Rissbreitenänderungen ein „Durchschlagen“ der Risse in den Instandsetzungsmörtel. Über solche Risse kann Wasser mit nachteiligen Folgen für die Dauerhaftigkeit des Spritzmörtels und dessen Verbund zum Altbeton eintreten. Der Beitrag befasst sich mit dem Einsatz textiler Bewehrungen in marktgängigen Spritzmörteln. Mithilfe der Textilien werden sich bewegende Risse im Untergrund in ein fein verteiltes und damit unter Dauerhaftigkeitsaspekten unkritisches Rissbild im Instandsetzungsmörtel überführt. Im Rahmen eines von der Bundesanstalt für Wasserbau geförderten Forschungsvorhabens wurden zunächst unterschiedliche Textilvarianten mit einem Spritzmörtel S-A3 nach ZTV-W LB 219 kombiniert und die Eigenschaften der erstellten Verbundkörper im Labor charakterisiert. Anschließend erfolgte der Einsatz des neuen Verbundwerkstoffs im Rahmen einer Probeinstandsetzung am Neckarwehr Horkheim.

1 Einleitung

In der ZTV-W LB 219, Ausgabe 2004, (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau) [1] und dem zugehörigen BAW-Merkblatt „Spritzmörtel“ sind für die Instandsetzung massiver Wasserbauwerke mit geringer festen Betonuntergründen erstmals Anforderungen an geeignete Instandsetzungsmörtel für Schichtdicken bis maximal 6 cm formuliert [2]. Die Anpassung der Materialeigenschaften des Instandsetzungsmörtels an Festigkeit und Verformungsverhalten des Betonuntergrunds ist eine notwendige, aber nicht in jedem Fall ausreichende Voraussetzung für eine dauerhafte Instandsetzung. Gerade ältere, instandsetzungsbedürftige Wasserbauwerke bestehen nämlich häufig aus massigen, unbewehrten Betonbauteilen mit Rissen und offenen Arbeitsfugen (s. Bild 7) [3]. Die Rissbreiten betragen teilweise mehr als 1 mm. Aufgrund tages- und insbesondere jahreszeitlicher Temperaturänderungen sind Rissbreitenänderungen mit Spannweiten von bis zu etwa 0,6 mm durchaus gängig. Zur groben Abschätzung der Rissbreitenänderung wurde von einem Abstand der Arbeitsfugen von 1,2 m und einer Temperaturänderung von 50 K ausgegangen. Über derartige Risse können Wasser und Schadstoffe in das Bauteil eindringen und zu einer Reduzierung der mit der Instandsetzungsmaßnahme angestrebten Nutzungsdauer führen.

Die Anordnung einer Bewehrung im Spritzmörtel zur Rissverteilung ist in ZTV-W LB 219, Abschnitt 5, wegen der Korrosionsgefährdung des Bewehrungsstahls bei derart geringen Betondeckungen nicht vorgesehen. Dies war angesichts der skizzierten

Rissproblematik zwar bereits bei der Erstellung der ZTV-W durchaus als kritisch betrachtet worden, alternative technische Lösungen standen zum damaligen Zeitpunkt allerdings noch nicht zur Verfügung.

Im Rahmen eines von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) initiierten und beauf-

tragten und vom Institut für Bauforschung (ibac) der RWTH Aachen realisierten Forschungsvorhabens sollte vor diesem Hintergrund untersucht werden, inwieweit mithilfe textilbewehrter Spritzmörtel eine Verteilung eines im Altbetonuntergrund vorhandenen Risses auf viele feine Risse im Instandsetzungs-

Die Autoren:

Dr.-Ing. Jeanette Orlowsky studierte Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen. Seit 1999 ist sie wissenschaftliche Angestellte im ibac der RWTH Aachen, seit 2001 Leiterin der Arbeitsgruppe „Bauwerkserhaltung und Instandsetzung“. Im Jahre 2004 promovierte sie zum Thema „Zur Dauerhaftigkeit von AR-Glasbewehrung in Textilbeton“.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach arbeitete von 1993 bis 1996 als Geschäftsführer des Ingenieurbüros Sasse + Schießl + Fiebrich + Raupach in den Bereichen Baustoffe und Bauwerkserhaltung. Von 1997 bis 1999 war er Inhaber und Geschäftsführer des Ingenieurbüros Prof. Schießl + Dr. Raupach Consulting + Engineering und Geschäftsführer der S+R Sensortec GmbH. Im Jahr 2000 wurde M. Raupach zum Universitätsprofessor für das Lehr- und Forschungsgebiet für Baustoffkunde – Bauwerkserhaltung und -instandsetzung der RWTH-Aachen berufen und leitet das Institut für Bauforschung der RWTH-Aachen. Seit 2008 ist er Inhaber des Ingenieurbüros Raupach Bruns Wolff GmbH & Co. KG.

Dipl.-Ing. Andreas Westendarp studierte Bauingenieurwesen mit Schwerpunkt Konstruktiver

Ingenieurbau an der TU Hannover. Nach seinem Eintritt in die Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe 1987 war er zunächst als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Referat Baustoffe tätig, dessen Leitung er 1999 übernahm. Zu seinen Aufgabenschwerpunkten gehören baustoffliche und ausführungsspezifische Grundsatzzfragen zu Neubau und Instandsetzung von Verkehrswasserbauwerken. Auf diesen Gebieten arbeitet er auch in zahlreichen Ausschüssen und Arbeitskreisen. Andreas Westendarp ist seit 1995 Obmann des für die ZTV-W LB 219 verantwortlichen Arbeitskreises 19.

Dr.-Ing. Turgay Öztürk studierte Bauingenieurwesen an der TU Darmstadt. Nach seinem Studium war er für Schwenk Dämmtechnik in der Anwendungstechnik für „Energiebewusste Bauweisen“ tätig. Anschließend kehrte er zurück an das Institut für Massivbau der TU Darmstadt wo er als wissenschaftlicher Mitarbeiter die Lehrveranstaltung „Bauwerkserhaltung“ betreute und promovierte. Seit 2007 ist er für die StoCretec GmbH in Kriftel als Produktmanager Betoninstandsetzung, Leiter Ingenieurbau tätig.

mörtel möglich ist. Die Spritzmörtel sollten dabei die Anforderungen der ZTV-W LB 219, Abschnitt 5, erfüllen.

Zur Realisierung dieses Ziels wurde ein nach ZTV-W LB 219 für A3-Betonuntergründe zugelassener Spritzmörtel (S-A3 Mörtel) ausgewählt und mit Textilien [4, 5] bewehrt. Die Altbetonklasse A3 ist gemäß ZTV-W LB 219, Tabelle 0.2, durch Druckfestigkeiten zwischen 20 N/mm² und 30 N/mm² und mittlere Abreißfestigkeiten zwischen 1,2 N/mm² und 1,5 N/mm² (kleinster Einzelwert zwischen 0,8 N/mm² und 1,0 N/mm²) gekennzeichnet. Zunächst wurden Laboruntersuchungen zur Charakterisierung des neuen Verbundwerkstoffs durchgeführt, im Anschluss hieran folgte die Erprobung an einem Wasserbauwerk.

2 Laboruntersuchungen

2.1 Methoden

Zur Charakterisierung des neuen Verbundwerkstoffs wurden textilbewehrte Spritzmörtelplatten im Trockenspritzverfahren mit einer Dicke von 30 mm bis 40 mm (abhängig von der textilen Bewehrung) hergestellt. Aus den Platten wurden jeweils vier Streifenproben mit einer Länge von 500 mm und einer Breite von 100 mm herausgesägt. Die Ermittlung der Bruchlast dieser Streifenproben erfolgte im Zugversuch mit einer Prüfgeschwindigkeit von 0,5 mm/min. Die Lasteinleitung geschah über aufgeklebte Stahlflaschen mit einer Länge von 100 mm.

Zur Bestimmung der Rissverteilung im bewehrten Instandsetzungsmörtel, ausgehend von einem im Betonuntergrund vorhandenen Riss, wurden die in Bild 1 dargestellten Rissüberbrückungskörper hergestellt. Für den Betonkörper wurde in der ZTV-W LB 219 definierte Grundkörperbeton A3 verwendet. Die Körper hatten eine Breite von 120 mm. Um die freie Dehnlänge der Instandsetzungsschicht zu erhöhen, wurde im Bereich des Risses mittels eines 10 cm breiten Trennstreifens aus Klebeband eine Kraftübertragung zwischen Altbeton und Spritzmörtel unterbunden.

Die Lasteinleitung erfolgte in der Prüfmaschine mit einer Prüfgeschwindigkeit von 0,05 mm/min über Stahlträger, die auf den Altbeton aufgeklebt worden waren. Während des Versuchs wurde die Rissöffnung im Betonkörper beidseitig über induktive Wegaufnahme kontinuierlich ermittelt. Es folgten zyklische Versuche mit Rissöffnungen im Betonkörper bis 0,7 mm. Hierbei wurden Rissbreiten, Rissanzahl und Rissabstände im In-

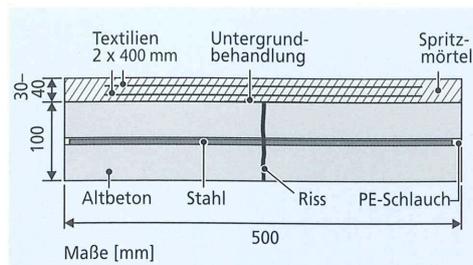


Bild 1: Links: Rissüberbrückungskörper zur Untersuchung textilbewehrter Spritzmörtel. Rechts: Herstellung der Rissüberbrückungskörper

standsetzungsmörtel in Abhängigkeit von der Belastung bestimmt.

Zur Beurteilung der Adhäsion zwischen Altbeton/Spritzmörtel sowie Spritzmörtel/Textilien wurden Haftzugversuche durchgeführt. Dazu wurden in den geprüften Rissüberbrückungskörpern Ringnuten im Durchmesser von 50 mm bis in eine Tiefe von 10 mm in den Betonuntergrund gebohrt und ein zylindrischer Stahlstempel aufgeklebt. Das Abziehen des Stahlstempels erfolgte mit einer Laststeigerungsrate von 100 N/s mit einem Haftzuggerät.

2.2 Versuchsplan, Probekörperherstellung

Tafel 1 gibt eine Übersicht über die im Rahmen dieser Veröffentlichung diskutierten Materialkombinationen, die mit den oben dargestellten Methoden untersucht wurden. In Bild 2 ist der Aufbau der Textilien zusätzlich anhand von Fotos dargestellt. Der verwendete S-A3-Spritzmörtel ist gemäß ZTV-W LB 219, Abschnitt 5, geprüft und zugelassen.

Die Herstellung der Proben im Trockenspritzverfahren erfolgte beim Hersteller des Spritzmörtels. Hierbei wurden jeweils vier Rissüberbrückungskörper in einer Schalung zusammengefasst. Somit erfolgte je Materialvariante die Herstellung einer textilbewehrten

Spritzmörtelplatte (vier Streifenproben für Zugversuche) und eines Verbundkörpers mit Altbeton A3 unterhalb des textilbewehrten Spritzmörtels (vier Rissüberbrückungskörper, siehe Bild 1). Es wurde lagenweise gearbeitet, d.h. nach der ersten Spritzmörtelschicht von knapp 1 cm Dicke wurde die erste Textilage eingebracht, dann folgten eine Spritzmörtelschicht und die zweite Textilage sowie abschließend die letzte Spritzmörtelschicht. Zielgröße waren jeweils Spritzmörtellagen von 1 cm Dicke. Die Textilien wurden somit einlagig in zwei Ebenen eingebracht. Ausnahme war das Textil 41-521 – hier wurden in der zweiten Textilage zwei Lagen Textilien eingebracht. Zusätzlich wurde die Kombination von 41-521 (zweilagig) mit G300 (einlagig in der zweiten Schicht) geprüft.

Die Oberflächen wurden spritzrau belassen. Nach einer siebentägigen Lagerung unter Folie erfolgten der Proben transport zum Labor sowie die Vorbereitung der Versuchskörper.

Bei dem Spritzmörtel S-A3 handelt es sich um StoCrete TS 118 der Firma StoCretec GmbH. Der polymermodifizierte Trockenspritzmörtel (SPCC) wurde entsprechend den Anforderungen der ZTV-W LB 219 zur Instandsetzung von Betonbauteilen von Was-

Tafel 1: Untersuchte Materialien

Spritzmörtel	Textilien	
	Bezeichnung	Beschreibung
S-A3, Größtkorn 6 mm	2D-15-09 mit EP	Epoxidharzgetränktes AR-Glastextil, 2400 tex in 0° und 90°, Gitterweite 8 mm x 8 mm
	41-521	Styrol-Butadienbeschichtetes AR-Glastextil, 2400 tex in 0° und 90°, Gitterweite 16 mm x 10 mm
	G600	Styrol-Butadienbeschichtetes Carbondtextil, 3500 tex in 0° und 90°, Gitterweite 14 mm x 7 mm
	41-521 mit G300	AR-Glastextil 41-521 und Styrol-Butadienbeschichtetes Carbondtextil, 3500 tex in 0° und 90°, Gitterweite 28 mm x 28 mm

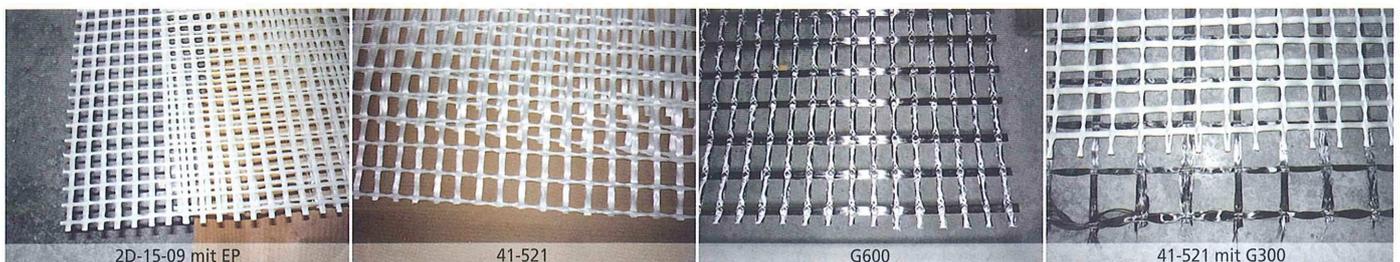


Bild 2: Darstellung der vier verwendeten Textilkombinationen

Tafel 2: Mörtelkennwerte des S-A3 SPCCs (Lagerung: 2 d feucht, danach 23 °C und 50 % r.F.; Prüfalter: 28 d)

Druckfestigkeit	N/mm ²	47,8
Biegezugfestigkeit	N/mm ²	8,2
E-Modul	N/mm ²	32600
Schwindmaß	mm/m	-0,59

serbauwerken speziell für Betonuntergründe der Altbetonklasse A3 entwickelt. Er ist durch die BAW hierfür zugelassen und gelistet. Tafel 2 gibt einen Überblick über die Materialkennwerte des Trockenspritzmörtels. Die Probekörper wurden im Trockenspritzverfahren hergestellt.

Bei der Bemessung der Textilien wurde angenommen, dass die Bruchkraft des Mörtels je lfd. m kleiner sein muss als die 1,5fache Bruchkraft der textilen Bewehrung je lfd. m. Der Faktor von 1,5 beinhaltet Materialalterung [6], stellt aber noch nicht den für Bauteilbemessungen erforderlichen Sicherheitsfaktor dar.

tels je lfd. m kleiner sein muss als die 1,5fache Bruchkraft der textilen Bewehrung je lfd. m. Der Faktor von 1,5 beinhaltet Materialalterung [6], stellt aber noch nicht den für Bauteilbemessungen erforderlichen Sicherheitsfaktor dar.

3 Untersuchungsergebnisse

3.1 Zugversuche

Bild 3 zeigt exemplarisch Ergebnisse der Zugversuche an Streifenproben. Anhand des Kraft-Dehnungsverlaufs ist zu erkennen, dass die Bewehrung nach dem Erstriss des Spritzmörtels Kräfte aufnimmt und eine weitere Rissentwicklung folgt. Mit dem Carbontextil G600 wurden die höchsten Bruchkräfte (17 kN entspricht etwa 1000 N/mm²) bei den geringsten Dehnungen erzielt. Insbesondere mit der epoxidharzgetränkten Bewehrung wurde ein fein verteiltes Rissbild mit Rissabständen von etwa 2 cm bis 3 cm erzielt (Bild 3, rechts). Die geringste Lastaufnahme bei den größten Dehnungen traten mit dem AR-Glastextil 41-521 auf. Aufgrund der großen Gitterweite und der Textilart (Drehbindung über Kettfäden) ist dieses Textil am flexibelsten und weist entsprechend die größte Welligkeit in der Einbettung im Spritzmörtel auf. Das Versagen trat bei allen Probekörpern in der Verbundzone auf. Alle Textilien waren gut im Spritzmörtel eingebettet, es gab keine Lunkerbildung in den Probekörpern.

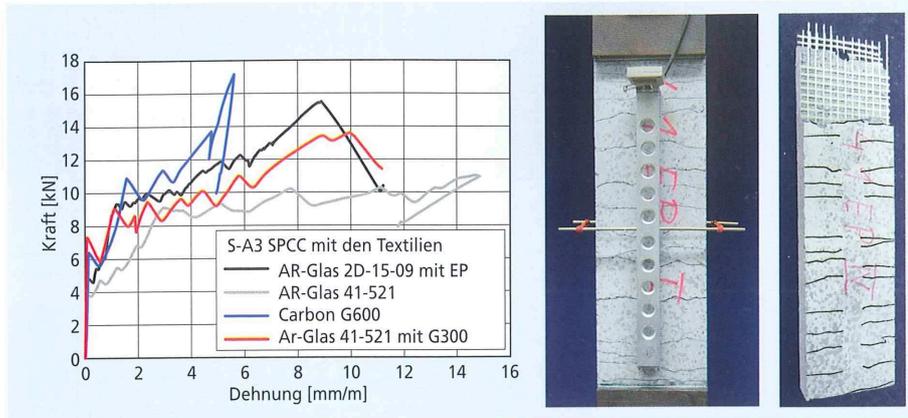


Bild 3: Zugversuche an Streifenproben: Links: Kraft-Dehnungsverläufe. Mitte: Durchführung des Zugversuchs. Rechts: Bruchbild einer Streifenprobe mit 2D-15-09 mit EP



Bild 4: Links: Durchführung des Rissüberbrückungsversuchs. Rechts: Bruchbild. Zunächst trat der Bruch im Altbeton auf, dann folgte das Versagen in der Verbundebene Textil/SPCC.

3.2 Rissüberbrückungsversuche

Bild 4 verdeutlicht die Durchführung der Rissüberbrückungsversuche. Die Last wurde über aufgeklebte Stahlträger in den Altbeton eingeleitet. Die textilbewehrte Spritzmörtelschicht weist keine Verbindung zur Lasteinleitung auf, der Lastübertrag in das Instandsetzungssystem erfolgt allein über die Verbundfuge. Das Versagen des Rissüberbrückungskörpers begann entweder im Altbeton oder durch ein Überschreiten der Textilzugfestigkeit. Das Versagen des Verbunds zwischen SPCC und Textil, entsprechend Bild 4 rechts, trat erst nach Überschreiten der Altbetonzugfestigkeit auf.

In den Bildern 5 und 6 ist die Rissöffnung im Altbeton über die Kraft aufgetragen.

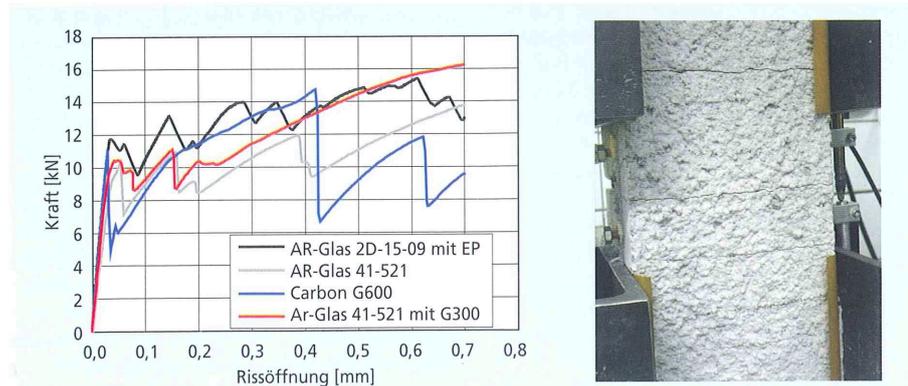


Bild 5: Links: Kräfte in der textilbewehrten Spritzmörtelschicht während der Rissöffnung des Altbetons bis zu einer Rissbreite von 0,7 mm. Rechts: Rissbild einer Probe mit AR-Glas 2D-15-09 mit EP

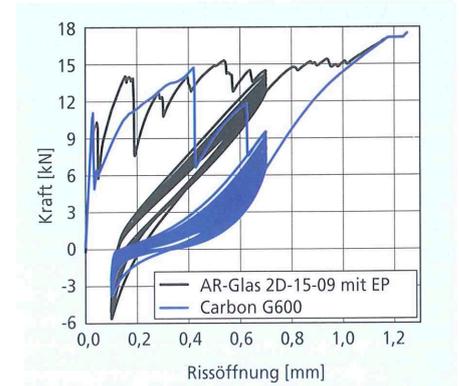


Bild 6: Zyklische Beanspruchung der Rissüberbrückungskörper mit 55 Zyklen, Rissöffnung zwischen 0,1 mm und 0,7 mm

Bild 5 zeigt die Kraftentwicklung in der textilbewehrten Spritzmörtelschicht während einer Rissöffnung bis zu 0,7 mm. Die gemessenen Kraftabfälle deuten jeweils auf eine Riss- bzw. Mikrorissbildung im Instandsetzungssystem hin. Generell wurde somit mit allen vier Bewehrungsvarianten eine Verteilung der Rissbreitenänderung des einzelnen Untergrundrisses auf mehrere Risse in der Spritzmörtelschicht erreicht. Dabei konnten mit dem epoxidharzgetränkten AR-Glastextil 2D-15-09-EP die meisten Risse im Spritzmörtel erzeugt werden (Bild 5, rechts).

In Bild 6 ist zu erkennen, dass eine zyklische Belastung der textilbewehrten Spritzmörtelschichten über die Rissbewegungen im Betonkörper möglich ist. Hierzu wurde der Riss im Altbeton zunächst bis 0,7 mm geöffnet und danach wieder bis zu einer Rissbreite von 0,1 mm geschlossen. Dieser Vorgang wurde 55-mal wiederholt, dann erfolgte die Öffnung des Risses bis zum Versagen des Probekörpers. Nach 55 Zyklen war keine Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit der Instandsetzungssysteme messbar. Selbst nach 200 Zyklen war die mit AR-Glas 41-521 bewehrte Probe noch intakt.

Das Lastniveau der carbonbewehrten Spritzmörtelschicht ist bei einer Rissöffnung von 0,7 mm zwar niedriger als das der EP-AR-glasbewehrten Spritzmörtelschicht, aber beide Materialien erfüllen ihre Aufgabe und die Bruchlasten liegen auf gleichem Niveau (Bild 6). Die Bruchlasten mit etwa 17 kN sind mit den Ergebnissen aus den Zugversuchen (Bild 3) vergleichbar.

3.3 Haftzugfestigkeiten

Die am Rissüberbrückungskörper nach der Prüfung ermittelten Haftzugfestigkeiten ergaben stets ein Versagen im Altbeton. Das Kohäsionsversagen im Altbeton trat bei rund 0,5 N/mm² auf. Die Prüfung des Adhäsionsversagens zwischen Spritzmörtel und Textil ergab Werte oberhalb von 1,5 N/mm². Damit wird bei Altbetonen der Klasse A3 der Verbund zwischen Untergrund und Spritzmörtel die schwächste Stelle bleiben. Die Textilien bedingen somit keine Beeinflussung des Verbunds der Instandsetzungssysteme.

4 Erprobung am Wehr Horkheim

Das Wehr Horkheim, erbaut 1927 bis 1929 vom Architekten Paul Bonatz, trennt die Schifffahrtsstraße vom Altarm des Neckars. Die Anlage besteht aus drei Wehrfeldern mit vier massiven Wehrpfeilern. In den auf den Wehrpfeilern angeordneten Windwerkhäusern befinden sich die zweistufigen offenen Stirnradgetriebe, die die Tore entsprechend dem Wasserstand betreiben. Die Wehrpfeiler weisen zahlreiche Risse und offene Arbeitsfugen auf. Die Rissbreiten liegen zwischen 0,1 mm und etwa 3,0 mm.

Zur umfassenden Erprobung des neuen Verbundwerkstoffs wurden acht Probeflächen am Wehr Horkheim angelegt. Sieben Flächen befinden sich an einem Wehrpfeiler (Bild 7) im Bereich des Oberwassers, die achte Fläche ist unterwasserseitig im Bereich der Wasserwechselzone angeordnet. Die Ge-

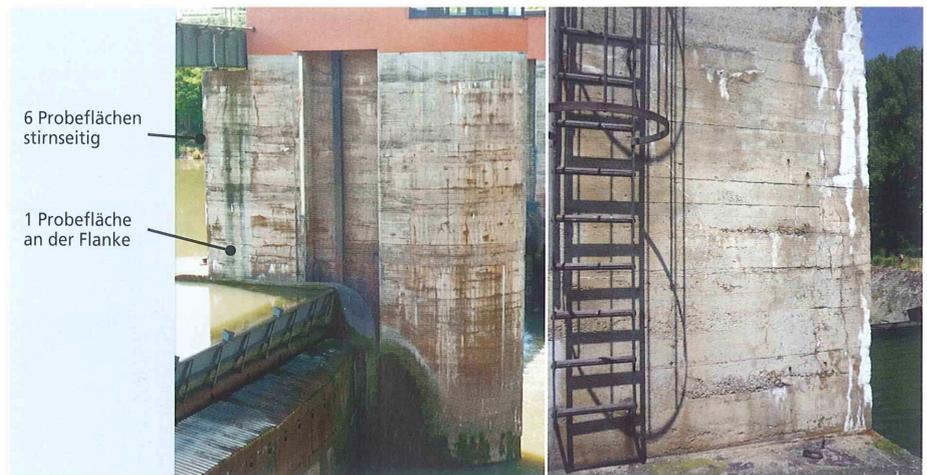


Bild 7: Wehrpfeiler 3 des Wehrs Horkheim. Links: Ansicht der Flanke. Rechts: Ausschnitt Stirnseite

Tafel 3: Instrumentierung der Probeflächen am Wehr

Fläche	Textil (2lagig)	Sensoren
1	G600	DMS über Riss an den Textillagen und außerhalb des Risses, Temperatur
2	G600 ohne Klebeband	DMS über Riss an den Textillagen und außerhalb des Risses
3	Ohne	DMS über Riss
4	2D-15-09 mit EP	DMS über Riss an der inneren (ersten) Textillage
5	41-521 (3lagig)	DMS über Riss an der inneren (ersten) Textillage
6	41-521 mit G600	DMS über Riss an der inneren (ersten) Textillage
7	G600	DMS über Riss an den Textillagen & außerhalb des Risses, Temperatur
8	G600	keine

samtfläche beträgt knapp 50 m². Tafel 3 gibt eine Übersicht über die Untersuchungsparameter in den einzelnen Flächen. Als Spritzmörtel wurde der gleiche S-A3-Mörtel wie in den Laboruntersuchungen verwendet.

Nach der Untergrundvorbehandlung durch Hochdruckwasserstrahlen wurden vor dem Auftrag des Instandsetzungssystems ausschließlich die offenen Arbeitsfugen mit einem Klebeband mit einer Breite von 10 cm abgeklebt, um analog zum Rissüberbrückungsversuch die freie Dehnlänge des Instandsetzungssystems lokal zu erhöhen. Auf diese Abklebung wurde in den Flächen 2 und 3 verzichtet. Mit Ausnahme von Fläche 5 wurde je Fläche Textil in zwei Ebenen mit drei Spritzvorgängen eingebettet. Bei Fläche 5 befinden sich in der zweiten Textilebene zwei Textilien. Alle Flächen sind von ihrer Exposition her als frei bewittertes Außenbauteil einzustufen. Die Flächen 7 und 8 zeichnen sich durch ihre andere Position aus. Beide Flächen sind im Gegensatz zur Stirnseite nicht der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt. Fläche 8 wird zudem bei Hochwasser unmittelbar mit Wasser beaufschlagt.

Zur Erfassung der Rissbewegungen wurden Wegaufnehmer sowohl außerhalb als auch innerhalb der Probeflächen aufgebracht. Die Wegaufnehmer innerhalb der Probeflächen sind durch Schaumstoffringe vom Spritzmörtel entkoppelt worden. Über Deh-

nungsmessstreifen (DMS) werden die Bewegungen im Instandsetzungssystem in Höhe der Textilien ermittelt. Die Daten werden kontinuierlich erfasst und über Modem zur Auswertung ins ibac übertragen. Der Ausgangswert aller DMS wurde zu Beginn der Messungen im September 2010 auf Null gesetzt. Die Messungen begannen einige Stunden nach Fertigstellung der Probeflächen. Infolge des ersten Schwindens stiegen die Dehnungen um rund 0,1 mm/m bis 0,2 mm/m. Diese Dehnungen gingen zum Teil innerhalb der ersten Monate wieder zurück.

Die Textilien wurden über Glasfaserdübel mit Edelstahltellern fixiert. Im Allgemeinen genügte die Textilbefestigung an der Oberkante mit zwei Dübeln, ggf. eine weitere Befestigung im Überlappungsbereich von Textilien. Bild 8 zeigt exemplarisch die Textilbefestigung mittels Dübel und die gute Durchdringung des Textils mit Spritzmörtel am Beispiel des epoxidharzgetränkten Textils.

Hinsichtlich der Verarbeitung am Bauwerk hat sich das Carbontextil G600 als am einfachsten handhabbar herausgestellt. Es bedingte weniger Rückprall als das steifere epoxidharzgetränkte Textil und ist gleichzeitig formstabiler als das AR-Glastextil 41-521.

Insgesamt konnte in 1,5 Tagen die Probefläche von 50 m² mit textilbewehrten Spritzmörteln erfolgreich instandgesetzt werden. Einen hohen Zeitaufwand erforderte

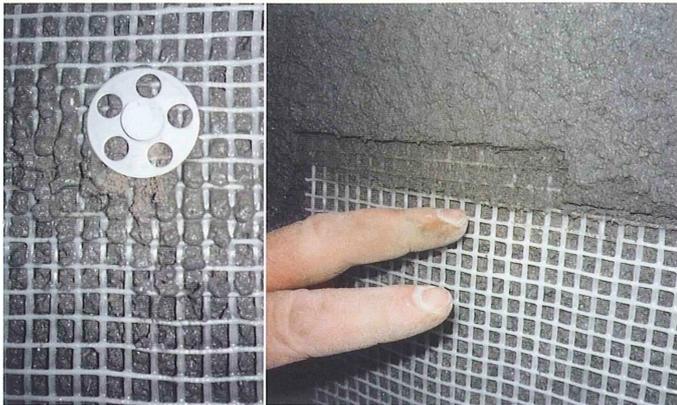


Bild 8: Textilbefestigung und Textildurchdringung

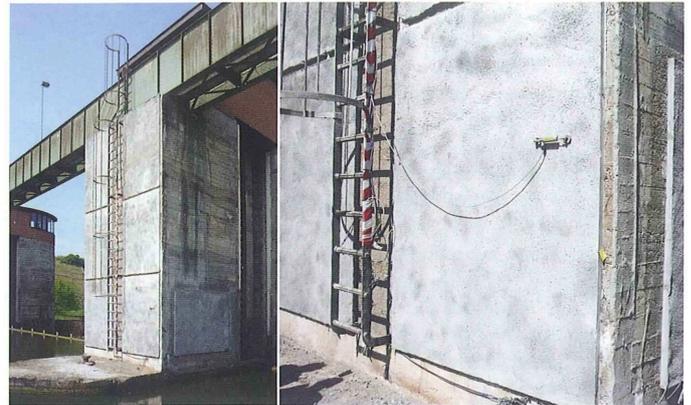


Bild 9: Durchgeführte Probeinstandsetzung nach dem ersten Winter

hierbei das Verlegen der Sensoren und die Vielfalt der eingesetzten Textilien. Beide Aspekte würden bei normalen Instandsetzungsmaßnahmen entfallen. Bild 9 zeigt Ausschnitte der fertiggestellten Fläche, die nach dem ersten Winter, also nach rund sechs Monaten fotografiert wurden.

Visuell wurde bei der Ortsbegehung im Frühjahr 2011, nach sechsmonatiger Freibewitterung, keine Veränderung der Spritzmörteloberfläche festgestellt, die auf Rissbewegungen im Altbeton schließen lassen. Der Betrachtungsabstand begrenzte jedoch die Möglichkeit, Risse im Bereich von rund 0,1 mm zu detektieren.

In Bild 10 ist ein Ausschnitt aus den am Bauwerk ermittelten DMS-Daten aufgetragen. Dargestellt sind die Daten von Sensoren, die sich unterhalb der ersten (inneren) Textilage, also in der ersten Spritzmörtelschicht in einem Abstand von rund 10 mm vom Altbeton, befinden. Der Temperaturverlauf in dieser Schicht wird in Fläche 1 gemessen. Ein DMS befand sich im ungerissenen Bereich. Dieser DMS zeigt keine wesentlichen Dehnungen während des betrachteten Zeitraums zur Jahreswende 2010/2011. Die DMS in den Flächen 3 und 5, die sich oberhalb eines Risses befinden, weisen hingegen am 26.12.2010 maximale Dehnungen von rund 1,5 mm/m auf. Die Temperatur hat zu die-

sem Zeitpunkt ihren Minimalwert von $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ erreicht.

Die Untersuchungen am Wehr Horkheim werden fortgeführt.

5 Zusammenfassung

Anhand von Laboruntersuchungen wurde gezeigt, dass nach ZTV-W LB 219, Abschnitt 5, zugelassene Spritzmörtel problemlos mit Textilien bewehrt werden können. Ein ausreichender Verbund zwischen Textilien und Spritzmörtel konnte nachgewiesen werden.

Ferner wurde gezeigt, dass die Rissbewegungen eines Untergrundrisses durch Textilbewehrung auf mehrere feinere Risse im bewehrten Instandsetzungsmörtel verteilt werden können. Die Textilien mit epoxidharzgetränktem AR-Glas haben sich hierbei im Labor als am besten geeignet erwiesen. Hinsichtlich der Anwendung hat allerdings das Carbondesglas G600 den Vorteil der unmittelbaren Verfügbarkeit am Markt und der besseren Handhabbarkeit im Trockenspritzverfahren.

Die Applizierbarkeit textilbewehrter Spritzmörtelschichten unter Baustellenbedingungen an einem Bauwerk wurde am Wehr Horkheim erfolgreich gezeigt. Risse im Spritzmörtel waren bei einer visuellen Begutachtung etwa sechs Monate nach der Applikation noch nicht zu detektieren. Die DMS

zeigen jedoch die Bewegung einiger Altbetonrisse. Die Fortführung der Untersuchungen werden Aussagen zur Funktionalität des neuen Instandsetzungssystems am Bauwerk ermöglichen.

Ferner sind im Rahmen eines beantragten Forschungsvorhabens weitere Untersuchungen sowohl im Labor als auch an anderen Bauwerken mit geringer festen Untergründen geplant. Im Vordergrund dieser geplanten Untersuchungen stehen die Erprobung neuer Materialien, die Verbesserung der gezielten lokalen Verbundstörung im Bereich der Risse und, ganz wesentlich, die zusätzliche Sicherstellung des Verbunds zwischen Altbeton und Spritzmörtel durch Anker.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die großartige Unterstützung mittels Arbeitseinsatz und Materialien bei den Firmen StoCretec GmbH und SGL Group. Für die Bereitstellung des Bauwerks und der Organisation vor Ort bedanken sich die Autoren beim Wasser- und Schifffahrtsamt Stuttgart, Außenbezirk Lauffen, und beim Amt für Neckarausbau Heidelberg.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, BMV: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV-W) für Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken (Leistungsbereich 219), Ausgabe 2004
- [2] Westendarp, A.; Reschke, T.; Kühne, H.-C.; Maultzsch, M.; Dauberschmidt, C.; Rößler, G.: Instandsetzung von Wasserbauwerken aus Beton: Planung, Bauausführung und Qualitätssicherung, beton 56 (2006) H. 1/2, S. 22–29, H. 3, S. 94–100
- [3] Maultzsch, M.: Dünnschichtige Spritzmörtel – Materialien für geringer feste Untergründe. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Kolloquium der Abteilung Bautechnik „Instandsetzen von Wasserbauwerken ZTV W LB 219“, Hannover – 17. Oktober 2004, S. 41–46
- [4] Orlowsky, J.; Raupach, M.: Textilbeton in der Bauwerkserhaltung – Von der Forschung zur Anwendung, 2. Kolloquium „Erhaltung von Bauwerken“, Esslingen – 25./26. Januar 2011, (Raupach, M. (Ed.)), S. 11–16, ISBN 3-924813-87-6
- [5] Bramehuber, W.: Proceedings of the International RILEM Conference on Materials Science (MatSci), Vol. I: 2nd ICTRC Textile Reinforced Concrete, Aachen, September 6–8, 2010. Bagnex, RILEM, 2010
- [6] Orlowsky, J.; Raupach, M.: Durability Model for AR-glass Fibres in Textile Reinforced Concrete, Materials and Structures (RILEM) 41 (2008) Nr. 7, S. 1225–1233. ISSN 1359-5997

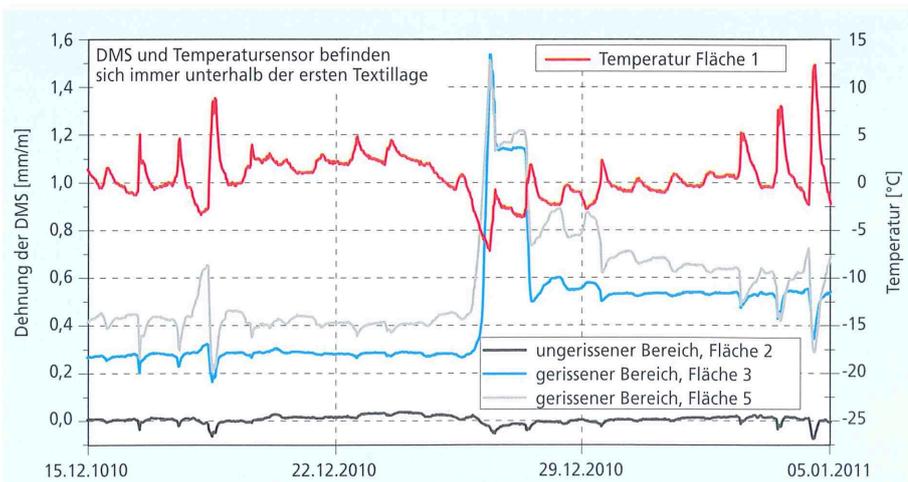


Bild 10: Dehnungen der DMS unterhalb der ersten Textilage zur Jahreswende 2010/2011