



Instandsetzung der Verrohrung des Starzenbachs in Feldafing mit Carbonbeton

Ammar Al-Jamous
Michael Werner
Martin Kaiser
Roy Thyroff
Bernd Gehrke

Instandsetzung der Verrohrung des Starzenbachs in Feldafing mit Carbonbeton

Bisher schließt die abZ zur Instandsetzung mit Carbonbeton den Einsatz unter feuchten Bedingungen und unter Wasser aus. Der Einsatz von Carbonbeton gerade im frei bewitterten Außenbereich und unter Wasser, wie im Bereich von Kanälen, bietet allerdings viel Potenzial für Sonderlösungen im Bereich der Instandsetzung. Neue Versuchsergebnisse zeigen, dass der Einsatz von Carbonbeton unter Wasser durchaus möglich ist. So konnte eine Kanalinstandsetzung mit Carbonbeton als Pilotprojekt erfolgreich durchgeführt werden.

Das Pilotprojekt stellte die einsturzgefährdete Bachverrohrung in zentraler Ortslage von Feldafing dar. In kurzer Bauzeit, unter höchstmöglicher Aufrechterhaltung der Überfahrbarkeit und Zugänglichkeit der Grundstücke konnte der Kanal in geschlossener Bauweise standsicher saniert werden. Zum ersten Mal wurde hierzu das genormte Spritzbetonverfahren mit der noch sehr jungen Carbonbetontechnologie kombiniert und im Wasser- und Kanalbereich dauerhaft eingesetzt. Hierzu waren umfangreiche Untersuchungen zum Einsatz von Carbongelegen im Wasser nötig.

Durch die statischen Eigenschaften und die sehr glatte, fugenlos hergestellte neue Rohrleitung wurde bei einer zusätzlichen Gesamtauftragsstärke von nur ca. 70 mm das Bauwerk wieder ertüchtigt und gleichzeitig auch die Fließgeschwindigkeit erhöht.

Stichworte Textilbeton; Textilbewehrung; Verstärkung; Sanierung; Kanal; Feinbeton; Tudalit; Beton, Reprofilierung von; Abwasser

Concrete repair of the Starzenbach duct in Feldafingen with carbon concrete

Repairing concrete structures with carbon reinforced textile concrete under wet conditions or even underwater is not yet taken in to account according to the German abZ. Nonetheless, it can be assumed that there is a high potential for application in outdoor areas /facilities like channels or sewers which are fully exposed to weathering or even partially flooded with water. Recent research already shows that there are possibilities of applying textile reinforced carbon concrete under such conditions, which finally led to the entitled pilot project that has already successfully been completed.

This project was a highly damaged duct liable to collapse in the centre of Feldafingen. The repair must be performed as quickly as possible while traffic and thus access to the adjacent properties must be granted. To meet these requirements, it was necessary to combine the standardised shotcrete method with still developing carbon concrete technology and perform extensive underwater tests prior to the project itself.

It was possible to restore the duct with an additional layer of only 70 mm thickness. Furthermore, the flow speed of the water was improved by the seamless and smooth surface of the carbon concrete.

Keywords textile reinforced concrete; textile reinforcement; strengthening; restoration; channel; fine grain concrete; Tudalit; re-profiling; wastewater

1 Einführung

Verrohrungen im Kanalbereich werden zumeist aus unbewehrten Betonfertigteilen hergestellt. Die Geometrie und der Wandquerschnitt sind so ausgelegt, dass planmäßig nur Druckkräfte übertragen werden. Durch langjährige Nutzung kann sich die Wandstärke des Betonquerschnitts durch Abrasion verringern, und durch aggressive Medien kann der Beton selbst geschädigt werden. Zudem können sich die ursprünglichen Lastannahmen, wie z. B. aus Verkehrslasten, über die Jahre ändern. Dies kann zu unplanmäßigen Zugkräften in den Profilen und somit auch im Beton führen. Wenn die Zugfestigkeit des Betons überschritten wird, kommt es unweigerlich zu Rissbildung; das kann bei größeren Verformungen auch zur Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit sowie der Standsicherheit führen.

Falls ein Austausch der Verrohrung nicht möglich ist, kann der Kanal z. B. durch eine Erhöhung der Wandquerschnitte durch Spritzbeton instand gesetzt werden. Die

Wandquerschnitte der Fertigteile werden dann zumeist von innen so weit erhöht, bis sich eine Gewölbeträgwirkung erneut ausbilden kann und der Beton, wie vorgesehen, erneut lediglich Druckkräfte aufnimmt. Falls die hydraulische Auslegung der Verrohrung eine Querschnittsverminderung stark begrenzt, müssen Sonderlösungen gefunden werden.

Eine solche Sonderlösung für begehbare Kanäle kann der Einsatz von Carbonbeton darstellen. Carbonbeton zur Instandsetzung und Verstärkung besteht aus einer textilen Bewehrung, die durch einen speziellen Feinbeton verbunden wird. Solch ein Verbundwerkstoff kann Druckkräfte durch den Feinbeton und Zugkräfte durch das Carbongelege aufnehmen. Der Verbund zum Altbeton muss durch Adhäsion zwischen Feinbeton und Altbeton sichergestellt werden [1].

Ein großer Vorteil bei der Verwendung von Carbongittergelegen liegt in der Korrosionsbeständigkeit und der gleichzeitig hohen Festigkeit der verwendeten Garne.

Insbesondere Garne aus Carbonfasern zeichnen sich durch eine deutlich größere Zugfestigkeit in Faserrichtung im Vergleich zum Betonstahl aus. Durch die oberflächennahe Positionierung können somit bewehrte Betonbauteile und Betonverstärkungsschichten mit sehr geringen Abmessungen ausgeführt werden [2].

Bei der bautechnischen Instandsetzung und Verstärkung von marodem Stahlbeton sowie zur Herstellung von Betonfertigteilen bietet Textilbeton und speziell Carbonbeton viel Potenzial. Entscheidender Vorteil ist die Korrosionsfreiheit [3], die besonders leichte, schlanke und gleichzeitig extrem stabile und langlebige Konstruktionen in der Sanierung sowie im Neubau ermöglicht.

Nachfolgend wird ein Pilotprojekt vorgestellt, in dem eine herkömmlich ergänzte Innenschale aus Spritzbeton mit Carbonbeton kombiniert wurde. So konnte der zu ergänzende Querschnitt verringert und gleichzeitig die Fließeigenschaft der Kanalinnenwandung durch eine besonders glatte Oberfläche verbessert werden.

2 Die Verrohrung des Starzenbachs

Der Starzenbach ist ein 5,8 km langes Gewässer in Oberbayern. Er durchquert die Gemeinde Feldafing und den Ortsteil Possenhofen und mündet in den Starnberger See. Die Gemeinde Feldafing hat im Jahre 1954 beschlossen, den Starzenbach auf einer Länge von ca. 350 m unterirdisch zu verlegen. Für diesen Zweck wurde deshalb im selben Jahr von der Firma Hochtief ein Wasserkanal aus unbewehrtem Beton in Segmentbauweise errichtet. Bild 1 stellt die Verlegung der Betonfertigteile in offener Bauweise dar. Nach Fertigstellung wurde der Starzenbach in den neu errichteten Wasserkanal eingeleitet. Der Wasserkanal hat einen eiförmigen Querschnitt mit den Abmessungen 1800 mm × 1200 mm ($H \times B$). Die seitliche Wanddicke beträgt 14 cm und erhöht sich im Scheitelpunkt auf 17 cm.

In den letzten Jahrzehnten wurde der Wasserkanal durch ein erhöhtes Verkehrsaufkommen und in den letzten Jahren durch zusätzlichen Baustellenverkehr geschädigt. Der Querschnitt wies an mehreren Stellen massive Risse auf, die die Tragfähigkeit einschränkten. Augenscheinlich drohte der Einsturz, wodurch der Straßenverkehr gefährdet worden wäre. Zusätzlich bestand die Gefahr, dass ein Einsturz zur Überflutung des vom Starzenbach durchquerten Wohngebiets führen könnte. Eine ausführliche Kanalinspektion bestätigte die Mutmaßung, dass die Standsicherheit des Wasserkanals nicht mehr gegeben war. Eine Kanalinstandsetzung wurde unumgänglich.

Das identifizierte Sicherheitsrisiko hat die Gemeinde dazu gezwungen, den Kanal temporär durch Abstützungen zu stabilisieren. Diese temporäre Sicherung war für Hochwasserereignisse nicht geeignet (Bild 2), sodass die Gemeinde dringend nach Instandsetzungsmöglichkeiten suchen musste. Das Anforderungsprofil war komplex,



Quelle: Gemeinde Feldafing

Bild 1 Verrohrung Starzenbach im Jahre 1954
Pipework Starzenbach in year 1954



Quelle: Ammar Al-Jamous, JEC

Bild 2 Vorhandene Risse in den Viertelpunkten und im Scheitelpunkt sowie temporäre Stützungen
Existing cracks in quarter points and crown; temporary supporting is also seen

einerseits sollte der öffentliche Verkehr nicht eingeschränkt, andererseits aus wasserwirtschaftlicher Sicht der Kanalquerschnitt nur geringfügig verringert werden. Bei Hochwasserereignissen muss der Kanal eine Mindestwassermenge abführen können, um den Hochwasserschutz sicherzustellen. Zudem sollten die Eigentümer der zum Teil über dem Kanal verlaufenden privaten Grundstücke möglichst wenige Einschränkungen erfahren.

3 Instandsetzungskonzept mit Carbonbeton

Aufgrund des anspruchsvollen Anforderungsprofils konnte der Kanal nicht mit herkömmlichem Spritzbeton instand gesetzt werden. Das Ingenieurbüro Jamous Engineer Consulting (JEC) wurde durch die Gemeinde Feldafing schlussendlich beauftragt, einen Sondervorschlag auszuarbeiten.

Die statische Analyse der bestehenden Verrohrung zeigte, wie bereits vermutet, dass der vorhandene Querschnitt für die heutigen Verkehrsbelastungen nicht ausreichend dimensioniert ist. Die Standsicherheit war nicht mehr si-

chergestellt. Die Berechnungen zeigten, dass ein Versagen der Verrohrung jederzeit auftreten konnte.

Somit war das Ziel der Instandsetzung die Wiederherstellung und Erhöhung der ursprünglichen Tragfähigkeit und die dauerhafte Sicherstellung der Standsicherheit unter den aktuellen Verkehrslasten. Hierbei durfte die Innenabmessung des Kanals nur geringfügig verändert werden, da eine Querschnittsverringerung des Kanals den Hochwasserschutz beeinträchtigt hätte. Wie schon beschrieben, musste die Instandsetzung unter laufendem Verkehr erfolgen. So entstand der Sondervorschlag einer hybriden Konstruktion aus herkömmlichem Spritzbeton und dem neuartigen Carbonbeton.

4 Experimentelle Untersuchungen

Nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Tudalit-Zulassung Z-31.10-182 „Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Tudalit (Textilbewehrter Beton) für die Instandsetzung mit Carbonbeton“ ist der Einsatz von Tudalit unter Wasser ausgeschlossen [4]. Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) bezieht sich lediglich auf den trockenen Innenbereich. Da es sich bei diesem Projekt um den Einsatz von Carbonbeton unter Wasser handelte, musste die Tauglichkeit des neuen Verbundwerkstoffs durch zusätzliche Versuche nachgewiesen werden. Hier-

zu wurde die Zugfestigkeit an Dehnkörpern ermittelt, wie z. B. in [5] beschrieben. Zur abschließenden Bewertung wurde die Verbundfluss-Rissöffnungsbeziehung mithilfe von Verbundversuchen bestimmt [6, 7].

4.1 Ermittlung der Zugfestigkeit an Dehnkörpern

Zur Beurteilung des Zugtragverhaltens des Carbonbetons war die Durchführung von einaxialen Zugversuchen notwendig. Für diesen Zweck wurden zwei Gruppen mit jeweils fünf Probekörpern hergestellt. Beide Gruppen wurden vier Wochen lang in der Klimakammer bei 20°C trocken gelagert. Danach wurde eine Gruppe 28 d lang unter Wasser gelagert. Nach insgesamt 56 d wurden alle Dehnkörper geprüft und die Ergebnisse verglichen. Es konnte festgestellt werden, dass die unter Wasser gelagerten Dehnkörper bei der Prüfung eine höhere Festigkeit erreicht haben. Die Bilder 3, 4 stellen die Spannungs-Dehnungs-Beziehung der einzelnen Dehnkörper sowie die Mittelwerte dar.

4.2 Bestimmung der Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung

Zur experimentellen Untersuchung des Verbunds der Carbonbewehrung zum umgebenden Feinbeton wurden

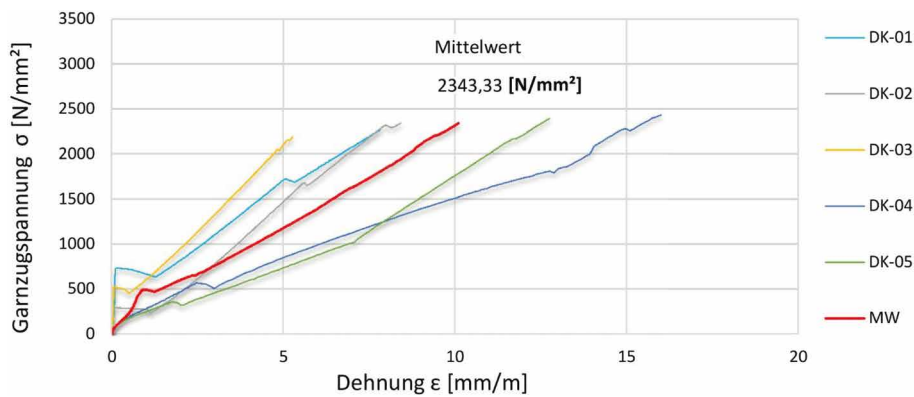


Bild 3 Spannungs-Dehnungs-Beziehung bei trockener Lagerung
Strees-strain curve by dry storage

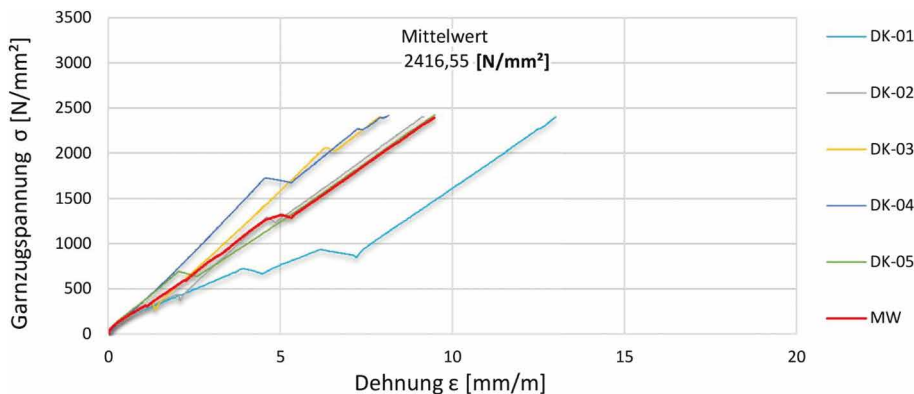


Bild 4 Spannungs-Dehnungs-Beziehung bei Unterwasserlagerung
Strees-strain curve by watery storage

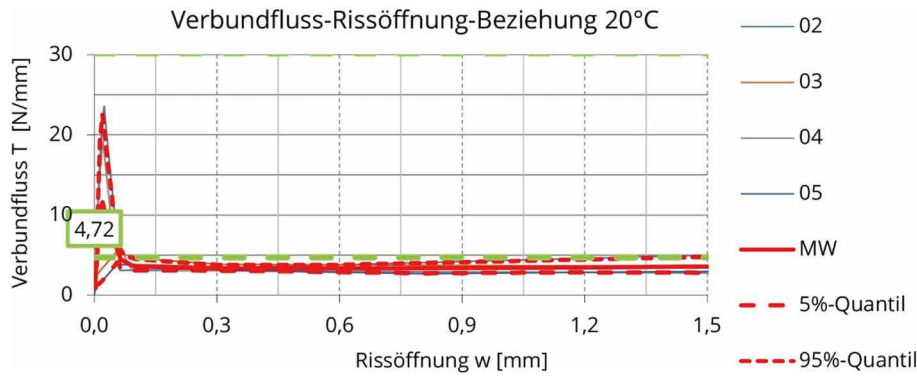


Bild 5 Auszugsversuche in Kettrichtung bei trockener Lagerung
Bond tests in wrap direction by dry storage

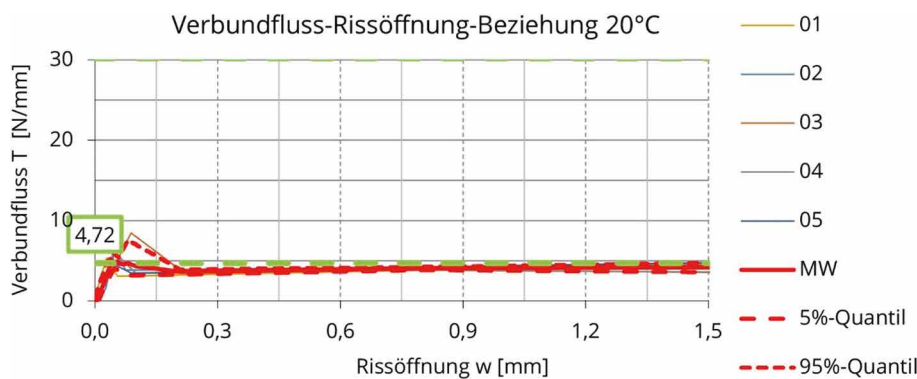


Bild 6 Auszugsversuche in Kettrichtung bei Unterwasserlagerung
Bond tests in wrap direction by watery storage

Textilauszugsversuche mit kurzen Einbindelängen durchgeführt. Diese Versuche dienen der Charakterisierung der Verbundeigenschaften und bieten die Grundlage zur Bestimmung der Verankerungslängen sowie der Rissabstände und der Rissweiten im Gebrauchszustand.

Die Herstellung und Lagerung der Verbundkörper erfolgte analog zu den Dehnkörpern für die Zugversuche. Für jede Gruppe wurden ebenfalls fünf Probekörper hergestellt.

Die Ergebnisse der Versuchsreihen sind in den Bildern 5, 6 dargestellt. Der Mittelwert des Verbundflusses T_2 bei trockener Lagerung beträgt $2,9 \text{ N/mm}^2$, wobei der Mittelwert bei Unterwasserlagerung bei $3,5 \text{ N/mm}^2$ liegt. Die Verbundspannung bei Unterwasserlagerungen liegt somit um ca. 20% höher als bei trockener Lagerung.

4.3 Schlussfolgerung

Anhand der durchgeführten experimentellen Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass eine Unterwasserlagerung zu einer Steigerung der einaxialen Festigkeit sowie des Verbunds zwischen dem Carbongelege und dem umgebenden Feinbeton führt. Folglich eignet sich Tudalit Carbonbeton auch für den Einsatz unter Wasser.

Der Instandsetzung der Verrohrung des Starzenbachs in der Gemeinde Feldafing stand durch die positiven Ergeb-

nisse der experimentellen Versuche konzeptionell nichts mehr entgegen.

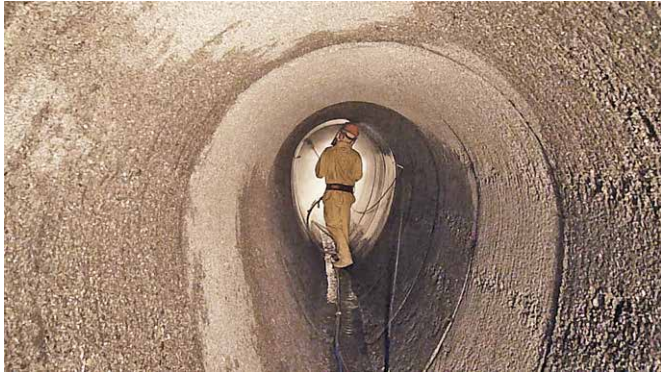
5 Instandsetzungsplanung

Für die Instandsetzungsplanung musste zunächst der Ist-Zustand erfasst werden. Die vorhandenen Schäden wurden aufgenommen, dokumentiert und ausgewertet.

Um die Instandsetzung unter Einhaltung der Randbedingungen (Bauen im Bestand) durchzuführen, musste die Tragwirkung der bestehenden, mehrfach gerissenen Verrohrung wiederhergestellt werden. Die vorhandenen Risse wurden zunächst kraftschlüssig verpresst.

An mehreren Stellen drang das in voller Höhe anstehende Grundwasser in den Kanal ein. Um dies während der Instandsetzungsarbeiten zu verhindern, mussten an betroffenen Stellen Abdichtungsinjektionen vorgenommen werden. Nur dadurch konnte ein Auswaschen des neu aufzutragenden Betons verhindert werden.

Für die Herstellung der Verbundwirkung zwischen dem Alt- und Neubeton musste die Oberfläche der Kanalinnenwände mittels Hochdruckwasserstrahl (HDW) aufgeraut werden. Bild 7 stellt dieses Verfahren unter Zuhilfenahme einer Handlanze dar. Anschließend wurden die Kanalinnenwände mit einer ca. 45 mm dünnen Schicht aus Spritzbeton reprofiliert. Die durch zu hohe Verkehrs-



Quelle: Ammar Al-Jamous, JEC

Bild 7 Aufrauen der Betonoberfläche mittels HDW-Strahlen
Roughening concrete surface by high-pressure water jet

lasten entstandenen Verformungen und Verschiebungen der Segmente wurden ausgeglichen, und ein einheitlich durchgehender Querschnitt konnte so wiederhergestellt werden. Hierdurch wurde die Tragfähigkeit des Querschnitts erhöht.

Um die nach den Berechnungen erforderliche Standsicherheit zu erreichen, musste eine 20 mm dünne Betontragschicht mit zwei Lagen Carbonbewehrung appliziert werden. Durch die Kombination aus herkömmlichem Spritzbeton und dem Einsatz von Carbonbeton konnte die Anforderung der min. Querschnittsänderung verwirklicht werden. Die Tragfähigkeit der instand gesetzten und verstärkten Verrohrung konnte so weit gesteigert werden, dass die entstandenen Verformungen kein Standsicherheitsproblem mehr darstellen. Der Carbonbeton stellt zusätzlich eine feine Rissverteilung sicher [2], die die Wasserdurchlässigkeit zusätzlich erhöht. Aufgrund der glatten Oberflächenstruktur des Textilbetons wurden die Fließigenschaften des Wassers im Kanal ebenfalls gesteigert.

6 Materialien

Für die Reprofilierung und für die vorprofilierende erste Verstärkungsschicht wurde Spritzbeton C 45/55 nach DIN EN 14487 [8] als Silobeton angeliefert und im Trockenspritzverfahren aufgebracht.

Die weitere Profilverstärkung und Auskleidung wurde mit Pagel TF10 Tudalit-Feinbeton (TF10) in vier Lagen, teils im Dichtstrom-Nassspritzverfahren und teilweise im Laminierverfahren, aufgetragen. Der Feinbeton zeichnet sich durch eine weichplastische Verarbeitungskonsistenz und trotzdem sehr gute Standfestigkeit aus, mit der die Carbonbewehrung homogen und kraftschlüssig eingebettet wird. Trotz der weichen Materialkonsistenz liegt der Wasserzementwert sehr niedrig, was eine geringe Kapillarität erzeugt. Der TF10 kann als wasserundurchlässig bezeichnet werden.

Durch die Applikation im Mawo-Pagel-Dichtstrom-Nassspritzverfahren ist praktisch kein Spritznebel vorhanden, was eine Spritzapplikation auch bei sehr beengten Bauwerksquerschnitten wie Kanalrohren ermöglicht.

Für die Verstärkung wurde als Carbonbewehrung eine Variante in Tudalit-Qualität als Rollenware verwendet und zwischen den Feinbetonlagen händisch eingearbeitet. Das Textil wurde für diese Maßnahme in einer Breite von ca. 2,50 m konfektioniert.

7 Ausführung

Die Ausführung der Instandsetzungsarbeiten erfolgte auf einer Gesamtlänge von ca. 260 m durch zertifiziertes Personal der Torkret GmbH. Zertifiziertes Personal ist für den Auftrag des Spritzbetons erforderlich – für die Applikation des Carbonbetons ist es essenziell.

Für die fachgerechte Umsetzung wurde über die gesamte Bauzeit hinweg bauseitig eine Wasserhaltung betrieben. Das unterschiedlich anfallende Bach- und Oberflächenwasser wurde hierzu an einem Fangdamm angestaut. Mittels elektrischer Hebepumpen wurden die Wassermengen in oberirdisch geführten Stahlrohrleitungen über die verschiedenen Instandsetzungsabschnitte hinweggeführt und danach in dahinterliegende Revisionsschächte wieder in den Bachkanal eingeleitet. Darüber hinaus eindringendes Sickerwasser wurde temporär durch Polyurethanharzinjektion abgedichtet oder über innen liegende Hilfsleitungen geleitet und abgepumpt.

Die Grundreinigung, der Abtrag minderfester Betonbauteile, das Aufweiten von Bauteilrissen und die intensive Betonuntergrundvorbereitung erfolgten im Höchstdruckwasserstrahlverfahren mit über 2 000 bar (Bild 7). Danach wurden die Betonfehlstellen nach DIN EN 14487 [9] und nach Vorgaben der Instandsetzungsrichtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) [10, 11] lagenweise geschlossen und Elementversätze ausgeglichen. Das Laibungsprofil wurde zusätzlich ganzflächig mit einer 45 mm dünnen Lage aus Spritzbeton C 45/55, XC4, XD1, XF2, WA verstärkt. Die Oberfläche wurde über Lehren profilgerecht abgezogen und aufgeraut. Nach dem Entfernen der Hilfsabstützungen wurde der textilbewehrte Carbonbeton in Anlehnung an die Tudalit-Zulassung Z-31.10-182 „Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Tudalit (Textilbewehrter Beton)“ aufgetragen. Als textile Bewehrung wurden lagenweise zwei Carbongelege unter Berücksichtigung der erforderlichen Überlängungen – frisch in frisch – in den hochfesten TF10 eingearbeitet. Die Oberfläche dieser zusätzlichen, 20 mm dünnen Verstärkungsschicht wurde abgerieben und feingelätet.

Die Arbeiten im Profil wurden unter sehr beengten Bedingungen (Bild 8) in Form einer Linienbaustelle in bis zu 5 m Tiefe unter den beschränkt befahrenen Ortsstraßen von Juli bis November 2018 ausgeführt. Der Zugang und die Andienung erfolgten über das Einlaufbauwerk und über max. drei Revisionsschächte mit einer max. Einstiegsöffnung von lediglich 800 mm im Durchmesser. Parallel zu den Arbeiten wurden das Einlaufbauwerk und ein Überführungsbauwerk konventionell mit Spritzbeton und Stahlbeton grundhaft saniert.

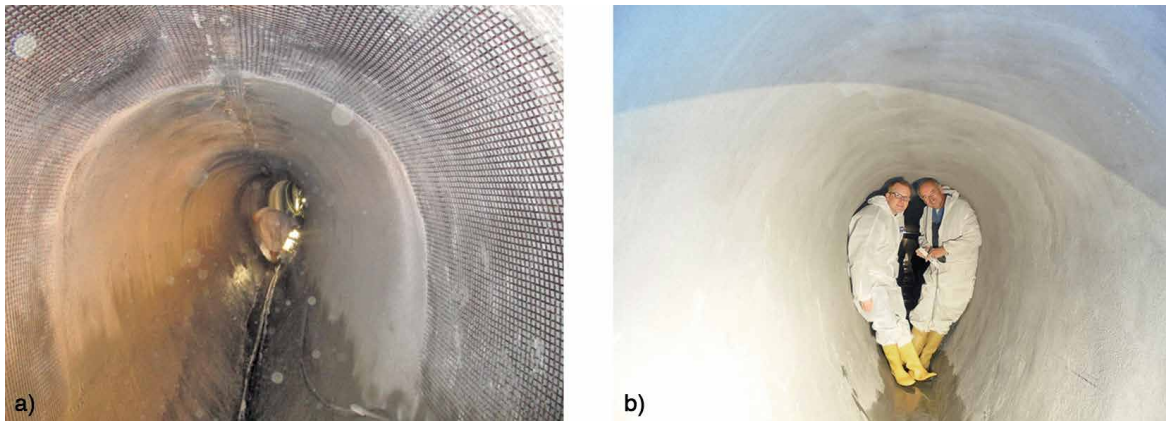


Bild 8 a) Auftrag Pagel TF10 Tudalit Feinbeton, b) geglättete Feinbetonoberfläche
a) Application Pagel TF10 Tudalit fine concrete, b) smoothed concrete surface

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse der Versuchsreihen haben gezeigt, dass Carbonbeton nicht nur unter trockenen Innenraumbedingungen eingesetzt werden kann, sondern auch unter feuchten Bedingungen und sogar unter Wasser.

Das erfolgreiche Pilotprojekt zeigt die Ausführbarkeit in der Praxis. Insbesondere für Sonderlösungen, wenn z. B. die Querschnittsabmessungen nur geringfügig verändert werden dürfen, eignet sich die Instandsetzung mit Carbonbeton.

Der Einsatz im Bereich von aggressiven Medien ist ebenfalls denkbar. Der eingesetzte Feinbeton ist nach DIN 19573 [12] in die Expositionsklasse XWW 3 eingestuft und besitzt daher einen Korrosionswiderstand gegen starken chemischen Angriff. Der Trinkwasserbereich stellt eine weitere interessante Anwendung dar. Alle Anforderungen für den Trinkwasserbereich (Prüfung gemäß DVGW Technische Regeln, Arbeitsblatt W 270 [13],

W 300 [14], W 347 [15]) werden von dem eingesetzten Feinbeton erfüllt.

Dank

Es erforderte viel Pioniergeist, um ein solch innovatives Bauverfahren wie die Instandsetzung der Verrohrung des Starzenbachs, das auf diesem Gebiet zum ersten Mal in Deutschland zur Anwendung kam, als Sondervorschlag auszuwählen. Die Baumaßnahme konnte gemeinsam mit den Partnern Jamous Engineer Consulting, Torkret GmbH, Roy Thyroff (seit 1. Juni 2019 rothycon – Roy Thyroff Consulting) und PAGEL® Spezial-Beton GmbH & Co. KG realisiert werden.

Die am Bau beteiligten Partner bedanken sich ausdrücklich bei der Gemeinde Feldafing für das entgegengebrachte Vertrauen und den Entschluss, solch einer neuartigen Bauart den Zuschlag zu geben.

Literatur

- [1] Weiland, S. (2010) *Interaktion von Betonstahl und textiler Bewehrung bei der Biegeverstärkung mit textilbewehrtem Beton* [Dissertation]. Fakultät Bauingenieurwesen, Technische Universität Dresden. urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-37944
- [2] Weiland, S.; Schladitz, F.; Schütze, E.; Timmers, R.; Curbach, M. (2013) *Rissinstandsetzung eines Zuckersilos – TUDALIT (Textilbeton) zur Instandsetzung* in: Bautechnik 90, H. 8, S. 498–504.
- [3] Schladitz, F.; Lorenz, E.; Jesse, F.; Curbach, M. (2009) *Verstärkung einer denkmalgeschützten Tonnenschale mit Textilbeton* in: Beton- und Stahlbetonbau 104, H. 7, S. 432–437.
- [4] Deutsches Institut für Bautechnik (2016) Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-31.10-182: Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT (Textilbewehrter Beton).
- [5] Jesse, F. (2004) *Tragverhalten von Filamentgarnen in zementgebundener Matrix* [Dissertation]. Fakultät Bauingenieurwesen, Technische Universität Dresden. urn:nbn:de:swb:14-1122970324369-39398
- [6] Lorenz, E.; Schütze, E.; Schladitz, F.; Curbach, M. (2013) *Textilbeton – Grundlegende Untersuchungen im Überblick* in: Beton- und Stahlbetonbau 108, H. 10, S. 711–722.
- [7] Lorenz, E.; Ortlepp, R. (2016) *Berechnungsalgorithmus zur Bestimmung der Verankerungslänge der textilen Bewehrung in der Feinbetonmatrix* in: Proceedings of the 4th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS4).
- [8] DIN EN 14487-1 (2006) Spritzbeton – Teil 1: Begriffe, Festlegungen und Konformität. Berlin: Beuth.
- [9] DIN EN 14487-2 (2007) Spritzbeton – Teil 2: Ausführung. Berlin: Beuth.
- [10] DAfStb-Richtlinie (2001) Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie). Ausgabe Okt. 2001.
- [11] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton [Hrsg.] (2014) 3. Berichtigung zur DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Ausgabe Sept. 2014.
- [12] DIN 19573 (2016) Mörtel für Neubau und Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden. Berlin: Beuth.

- [13] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches [Hrsg.] (2007)
DVGW W 270 – Vermehrung von Mikroorganismen auf
Werkstoffen für den Trinkwasserbereich – Prüfung und Be-
wertung.
[14] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches [Hrsg.] (2014)
DVGW W 300 – Trinkwasserbehälter.

- [15] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches [Hrsg.] (2006)
DVGW W 347 – Hygienische Anforderungen an zementge-
bundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich – Prüfung und
Bewertung.

Autoren

Dipl.-Ing. Ammar Al-Jamous
aj@jec-dresden.de
JAMOUS ENGINEER CONSULTING
Emil-Ueberall-Straße 28
01159 Dresden

Dr.-Ing. Michael Werner (Korrespondenzautor)
werner@pagel.de
PAGEL Spezial-Beton GmbH & Co. KG
Wolfsbankring 9
45355 Essen

M.Eng. Martin Kaiser
martin.kaiser@torkret.de
Torkret GmbH
Langemarckstraße 39
45141 Essen

Roy Thyroff, Technischer Betriebswirt
roy.thyroff@rothycon.com
rothycon – Roy Thyroff Consulting
Selbitzer Str. 28
95119 Naila

Dipl. Ing. Bernd Gehrke
info@barneyGee.com
D.I.G. Engineering
40885 Ratingen

Zitieren Sie diesen Beitrag

Al-Jamous, A.; Werner, M.; Kaiser, M.; Thyroff, R.; Gehrke, B. (2020)
*Instandsetzung der Verrohrung des Starzenbachs in Feldafing mit
Carbonbeton* in: Bautechnik 97, H. 4, S. 279-285.
<https://doi.org/10.1002/bate.201900073>