

Carbonbeton – Eine neue Verstärkungsmethode für Massivbrücken

Teil 3: Planung und Umsetzung der Verstärkungsmaßnahme mit Carbonbeton am Pilotprojekt „Brücken über die Nidda im Zuge der BAB A 648“

Im Rahmen von Ertüchtigungsmaßnahmen eines Brückenzugs über die Nidda wurden im Jahr 2020 erstmals zwei Spannbetonbrücken mit Carbonbeton verstärkt. Bei den im Jahr 1971 errichteten Teilbauwerken wurde sogenannter Sigma-Oval Spannstahl verbaut, der als spannungsrissskorrosionsgefährdet gilt. Die Straßenbrücken zeigten rechnerisch kein ausreichendes Ankündigungsverhalten im Sinne der Handlungsanweisung Spannungsrissskorrosion, sodass ein plötzliches Versagen den Verkehrsteilnehmer gefährdete. Um dieses Defizit zu beheben, wurde eine Verstärkung notwendig. In Hinblick auf die exponierte Lage im Verkehrsnetz am Westkreuz Frankfurt a. M. stellte sich die Verstärkung mit Carbonbeton als die wirtschaftlichste und minimalinvasivste Verstärkungsmöglichkeit heraus. Nachfolgender Beitrag ist Bestandteil eines dreiteiligen Aufsatzes, der die notwendigen Planungsschritte und erste Erfahrungen aus der Ausführung zusammenträgt. In Teil 1 wurden neben den Grundlagen zur Spannungsrissskorrosion das Konzept und die Planungsschritte erläutert. Der zweite Teil stellte die Besonderheiten des Carbonbetons im Brückenbau heraus und stellte einen Vergleich mit gängigen Verstärkungsmethoden dar. Abschließender Teil 3 umfasst detaillierte Angaben zur Verstärkungsmaßnahme und erste Erfahrungen aus der baulichen Umsetzung.

Stichworte Carbonbeton; Spannbetonbau; Spannungsrissskorrosion; Verstärkungsmethoden; Brückenbau; Brücken im Bestand

Carbon reinforced concrete – An alternative Method for strengthening concrete bridges; Part 3: Design and first experiences of strengthening concrete superstructures with carbon reinforced concrete – federal highway bridges (A 648) across the river Nidda

In 2020 two of three bridges, which are part of the German highway road A 648, were strengthened with carbon reinforced concrete for the first time in Germany. The two superstructures were erected in the 1970s as a pre-stressed beam. As tendons a so called -sigma-oval-steel was used, which is sensitive for stress corrosion cracking. According to German guidelines and to exclude a sudden failure, it has to be verified if a damage of the tendons can be seen at the surface of the cross section via cracks along the superstructure. This -crack before failure-criteria was not fulfilled for the described superstructures. With reference to the relevance of the bridges in the local infrastructure around Frankfurt a. M., a strengthening concept was necessary. Due to that fact, a strengthening with carbon reinforced concrete was identified as an economic and minimal invasive method. The report on that forerunner project is divided into three parts. The first part gives an overview about the bridges and the background on stress corrosion cracking, added with explanations about the planning steps. The second part describes the strengthening with carbon reinforced concrete with a focus on bridges. The following third part goes further into detail, regarding the construction and the design of a carbon reinforced strengthening.

Keywords carbon reinforced concrete; pre-stressed reinforced structures; stress corrosion cracking; strengthening of concrete structures; bridge constructions; existing bridges

1 Konzeption der Verstärkung mit Carbonbeton

1.1 Ankündigungsverhalten Ist-Zustand

Bild 1 zeigt das Ergebnis der rechnerischen Betrachtung des Ankündigungsverhaltens unter Anwendung von [1]. Dabei kann festgehalten werden, dass in zahlreichen Nachweisquerschnitten kein ausreichendes Ankündigungsverhalten auf Querschnittsebene erreicht werden konnte. Zum einen sind dies Bereiche nahe den Endauflagern, zum anderen die Bereiche über den Zwischenstützen. Erschwerend kommt die Problematik der Detektion von Rissen im Stützbereich hinzu, da diese unter der Fahrbahn nicht einsehbar sind. Heutige Spannstähle gelten als nicht mehr spannungsrissskorrosionsgefährdet. Unabhängig davon wurde bzw. wird zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilversagens eine Mindestbewehrung gefordert,

vgl. auch Teil 1 der Beitragsreihe [2] bzw. ausführlicher in [3]. Ein duktileres Tragverhalten kann nach zwei Prinzipien sichergestellt werden, vgl. [4]. Methode I sieht die Konzeption einer sogenannten Robustheitsbewehrung vor, Methode II ein Vorgehen analog dem Nachweisformat auf Querschnittsebene im Sinne der Handlungsanweisung Spannungsrissskorrosion [1]. Beide Prinzipien können daher für die Auslegung einer Verstärkungsmethode herangezogen werden.

1.2 Möglichkeit der Auslegung einer Carbonbetonverstärkung im Sinne einer Robustheitsbewehrung

Mit [5] wurde erstmals der Begriff Robustheitsbewehrung eingeführt, der jedoch im weiteren Normenverlauf wieder

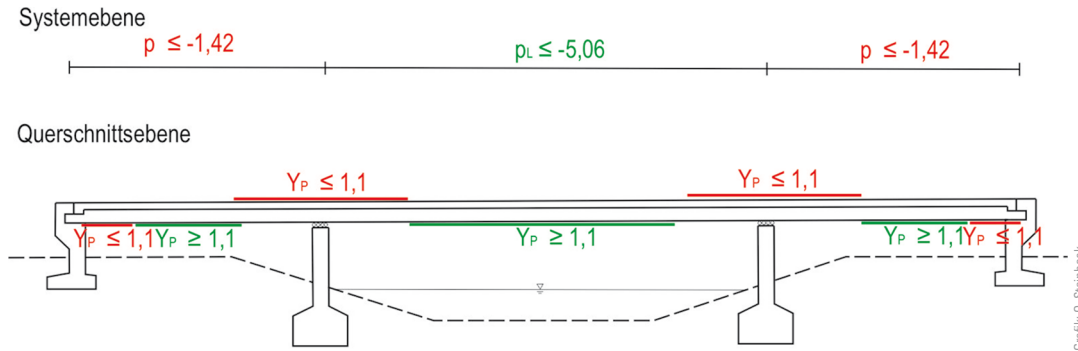


Bild 1 Darstellung des Ankündigungsverhaltens im Ist-Zustand nach [1]
Crack-before-failure-behavior of the actual state, according to [1]

mit dem Begriff Mindestbewehrung verschmierte, vgl. auch [6]. Die Robustheitsbewehrung wird hierbei als jene Bewehrung bezeichnet, die die Tragfähigkeit des Querschnitts beim Erreichen des Rissmoments abdeckt. Sinngemäß bedeutet dies, dass die Robustheitsbewehrung in der Lage sein muss, den Zugkeil eines ungerissenen Betonquerschnitts aufnehmen zu können. Dabei bezeichnet $M_{r,rep}$ das Rissmoment, bei dem an der äußersten Zugfaser das 5%-Quantil des Werts der Betonzugfestigkeit ($f_{ctk,0,05}$) überschritten wird, Bild 2 bzw. in [4]. Normalkräfte aus der Vorspannung bleiben hier nach [6] für Brücken unberücksichtigt. Der innere Hebelarm z_s kann vereinfacht mit $0,9 \cdot d_s$ abgeschätzt werden.

Ergänzt wird das Nachweisformat durch konstruktive Hinweise zur Bewehrungsführung. Unter anderem ist die Mindestbewehrung gleichmäßig über die Zugzone zu verteilen. An der Querschnittsunterseite der Felder ist sie über die gesamte Feldlänge zu führen, um die Duktilität zu erhöhen. Bei Durchlaufträgersystemen ist die Robustheitsbewehrung in den Stützbereichen über die Länge anzuordnen, auf welcher unter der nicht häufigen (ohne statisch bestimmtem Anteil aus Vorspannung $M_{p,dir}$, je-



Bild 2 Rissmoment nach [4]
Crack moment according to [4]

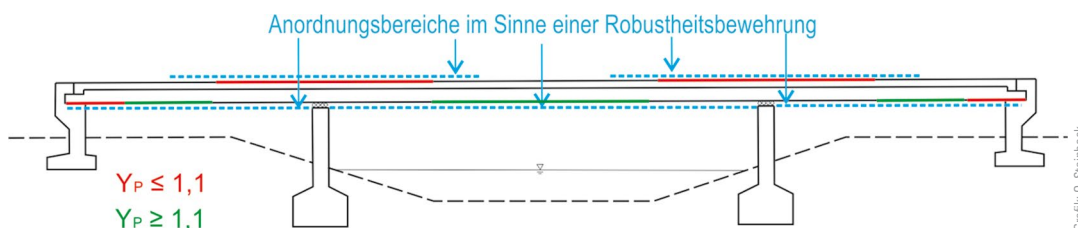


Bild 3 Anordnungsbereiche im Sinne einer Robustheitsbewehrung nach [4] für den Längsschnitt
Arrangement areas of a robustness reinforcement according to [4] for longitudinal section

doch mit statisch unbestimmtem Anteil $M_{p,ind}$) Einwirkungskombination im Sinne von [4] Zugspannungen im Beton auftreten. Diese Vorschriften gelten gleichermaßen für Straßen- als auch für Eisenbahnbrücken. Im Nachweisverfahren zum Ankündigungsverhalten von Bahnbrücken [7] ist die Überprüfung einer vorhandenen Robustheitsbewehrung der erste Rechenschritt und somit auch für die Bewertung von Bestandsbrücken zulässig. Im Hinblick auf das vorliegende Tragwerk wäre somit eine Verstärkung mit Carbonbeton fast über die gesamte Bauwerkslänge notwendig geworden, da die vorhandene Betonstahlbewehrung nicht ausgereicht hätte. Einen Überblick hierzu bietet Bild 3.

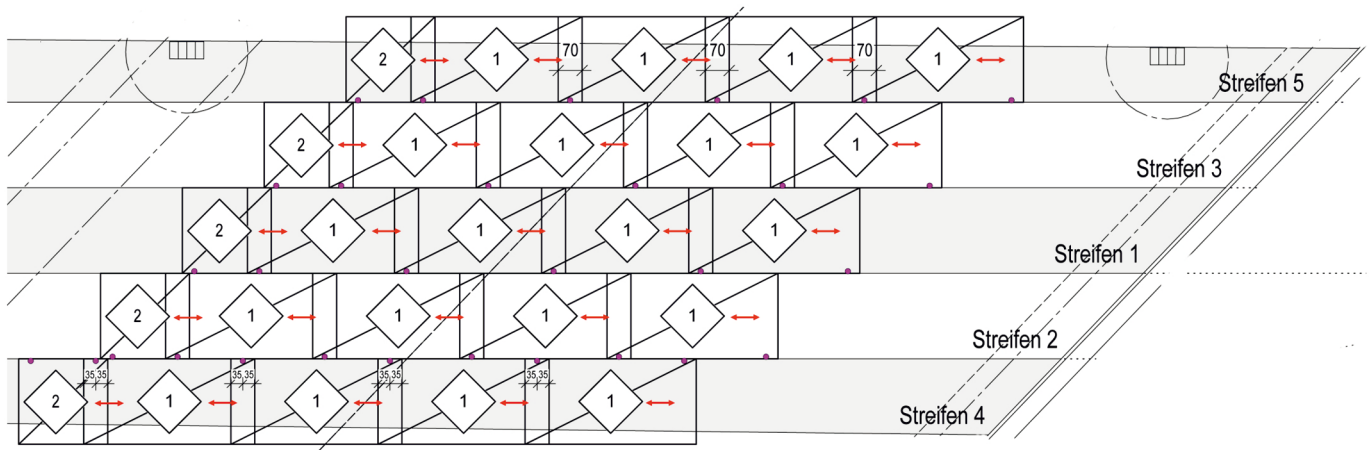
Demnach wäre eine Verstärkung in allen Feldern an der Unterseite notwendig geworden. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Betonstahlbewehrung wären im Hauptfeld vier Lagen an textiler Bewehrung, in den Randfeldern fünf Lagen notwendig gewesen (Anmerkung: größeres Rissmoment aufgrund des Vollquerschnitts in den Randfeldern). In den Bereichen über den Stützen wären ebenfalls bis zu vier Lagen notwendig geworden, wobei hier eine Abstufung in den nicht auf Zug beanspruchten Bereichen möglich gewesen wäre. Das Verfahren, ein ausreichendes Ankündigungsverhalten über eine sogenannte Robustheitsbewehrung sicherzustellen, ist die rechnerisch weniger aufwendige Lösung. Demgegenüber steht das bereits zuvor angesprochene Verfahren, bei dem sinngemäß die erforderliche Bewehrung in den Nachweisquerschnitten über die Länge ermittelt wird und somit eine gestufte Anordnung der Bewehrung erfolgen kann, vgl. [4] bzw. [8].

Stützbereichen sowie auf die Unterseite in den Randfeldern zu reduzieren, vgl. [9]. In den Randfeldern wurde eine abgestufte Bewehrung mit bis zu fünf Lagen Carbonbewehrung ermittelt, Bild 4. Im Stützbereich wurden am gezogenen Querschnittsrand bis zu sechs Lagen notwendig. Die Bemessung und Auslegung der Verstärkungslage erfolgte nach [10], da es sich hier um eine Verstärkungs-

maßnahme handelt, die den Grenzzustand der Tragfähigkeit sicherstellen soll. Unterschiede in der Verbundfestigkeit verschiedener Bewehrungselemente sind in diesem Fall vernachlässigbar, vgl. auch [3].

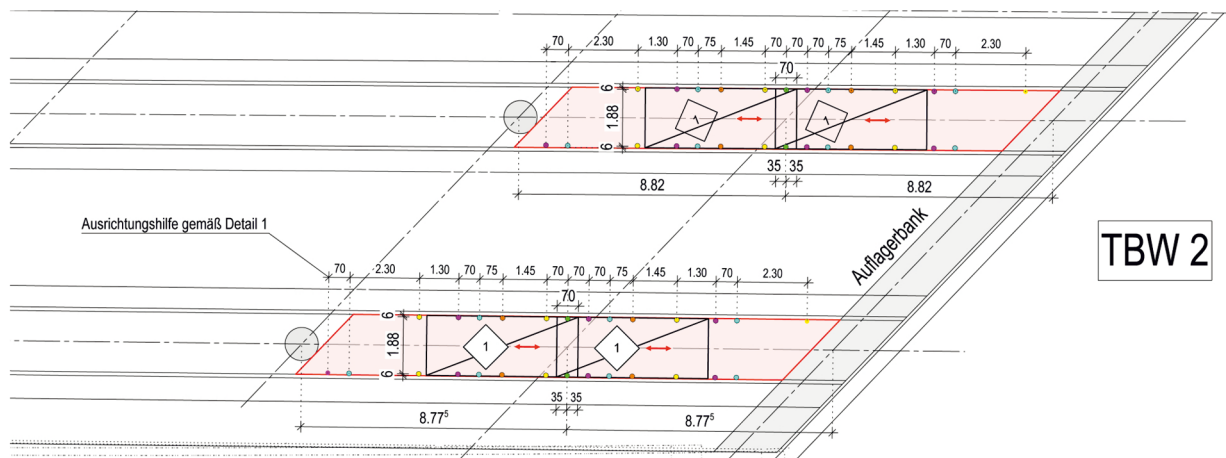
Verlegeschema an Brückenoberseite

hier: 4. Carbonlage - Teilbauwerk 2 Ost



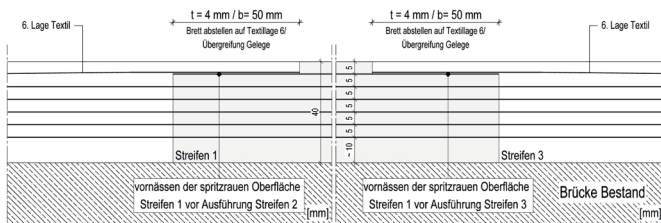
Verlegeschema an Brückenunterseite

hier: 1. Carbonlage - Teilbauwerk 2 Steg Nord-Ost



Detail Längsfuge

hier: Streifen 1 und Streifen 2



Detail Schrammbordanschluss

hier: Anschluss Nord

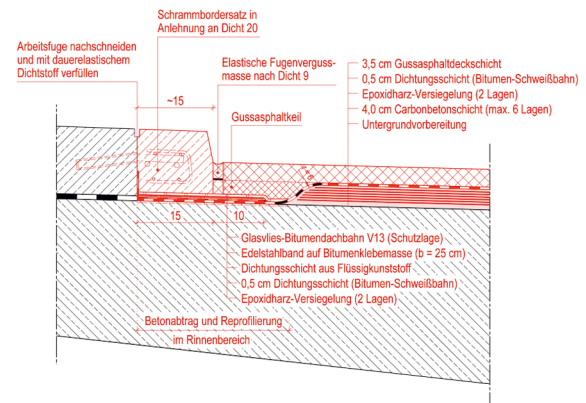


Bild 6 Planauszüge der Ausführungsplanung im Rahmen der Verstärkungsmaßnahme mit Carbonbeton an Teilbauwerk 2, [11]
Extracts of the carbon reinforcement plans on top and bottom for superstructure No. 2, [11]

2 Ausarbeitung der Carbonbetonverstärkung

Wie zuvor beschrieben, wurde eine abgestufte Bewehrungsführung festgelegt. An der Brückenunterseite wurden in den Randfeldern aus statischen Gründen drei Lagen durchgehend verlegt. Diese schließen die beiden ersten Lagen (1 und 2) ein, sodass ein Ablösen an den Enden der Lagen ausgeschlossen werden konnte. An der Brückenoberseite wurden im Stützbereich bis zu sechs Lagen notwendig. Die Lagen eins bis vier sind hierbei abgestuft nur im Stützbereich verlegt und fungieren im Sinne einer Zulage. Die beiden äußeren Lagen fünf und sechs sind über die gesamte Bauwerkslänge angeordnet und bilden eine Grundbewehrung. Grund für die Verlegung über die gesamte Bauwerkslänge sind keine statischen Aspekte, sondern die Anforderung, dass die Verstärkungsschicht gleichzeitig Bestandteil des Fahrbahnaufbaus ist, Bild 5. Der Carbonbeton zeichnet sich sowohl durch ein sehr feines Rissbild, als auch einen hohen mechanischen Widerstand aus. Dadurch war es möglich, die Carbonbetonverstärkung in den Fahrbahnaufbau zu integrieren. Die Gesamtschichtstärke bei sechs Lagen Carbonbeton lag bei ≈ 40 mm, wobei für jede Feinkornbetonschicht 5 mm vorgesehen war. Die erste Schicht sollte als Ausgleichsschicht für Unebenheiten fungieren und wurde daher mit ≈ 10 mm vorgesehen. Um einen Gradientenausgleich zu vermeiden, wurde die Gussasphaltdeckschicht mit einer Stärke von $\approx 3,5$ cm vorgesehen. In Verbindung mit einer einlagigen Dichtungsbahn ($\approx 0,5$ cm) ergaben sich planmäßig ≈ 8 cm Neuaufbau. Erkundungsbohrungen am Bestand zeigten vorab, dass der bestehende Fahrbahnaufbau aus Asphaltbeton und Deckschicht $\approx 8,5$ cm bis 10 cm aufwies, sodass für die veranschlagte Stärke des Fahrbahnaufbaus keine Anpassung der Gradienten notwendig werden sollte. Aufgrund der begrenzten Temperaturbeständigkeit des Carbongeleges war für den Gussasphalt eine maximale Einbautemperatur von 200°C vorgeschrieben, was wiederum mit einem Niedrigtemperaturasphalt sichergestellt wurde. In diesem Zusammenhang wurden bei der ZiE zusätzliche Versuche durchgeführt. Hierzu wurden Dehnkörper kurzzeitig auf $\approx 200^\circ\text{C}$ erhitzt und im Anschluss bei Raumtemperatur die mechanischen Eigenschaften überprüft. Hierbei konnten keine negativen Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften festgestellt werden, vgl. [12].

Bei der Planung lag das Carbongelege nur als Mattenware mit den maximalen Abmessungen von $2,50\text{ m} \times 5,0\text{ m}$ vor. In Verbindung mit den vorgeschriebenen Ausrichtungshilfen und einer erforderlichen Übergreifungslänge von ≈ 700 mm wurde ein entsprechendes Verlegeschema (Bild 6) notwendig, vgl. [12]. Erschwert wurde die Anordnung durch die Anforderung, dass Übergreifungen der unterschiedlichen Lagen an gleicher Stelle nicht zulässig waren, um die Anzahl an Gelegen in allen Abschnitten der Verstärkungsschicht auf maximal sieben zu beschränken und somit die Haftung am Bauwerk nicht zu beeinflussen, vgl. auch Bild 10 in [13]. Schema und Pläne wurden hierbei von Alexander Peter (CBing) ausgearbeitet, der auch maßgeblich für die Gestaltung von Regeldetails

für Carbonbetonbaumaßnahmen verantwortlich ist, vgl. [14]. Einen Eindruck vermitteln die Planauszüge in Bild 6, die die Verlegepläne der Gelege an der Brückenoberseite (hier 4. Lage) bzw. Brückenunterseite (1. Lage) zeigen. Bei der vorhandenen Stegbreite von 2 m war an der Querschnittsunterseite eine Anordnung mit einem Streifen möglich. An der Brückenoberseite und einer Fahrbahnbreite von bis zu 12 m war die Anordnung in fünf Streifen vorgesehen. Ausgehend von einem mittigen Streifen und einem wechselseitigen Baufortschritt der Streifen war es somit möglich, die Streifen 4 und 5 direkt im Bestand durch Schneidwerkzeuge einzupassen. Beim Anschluss der Streifen an die Kappen war besondere Sorgfalt notwendig, da im Hinblick auf die begrenzte Nutzungsdauer die bestehenden Kappen erhalten bleiben sollten. Daher wurde ein vergleichsweise aufwendiger Anschluss ausgeführt, bei dem nur die Schrammborde ersetzt wurden, vgl. Detail in Bild 6.

3 Bauliche Umsetzung der Verstärkungsmaßnahme

3.1 Erste Erfahrungen aus der Umsetzung der Baumaßnahme am Teilbauwerk 2

Aufgrund der Neuartigkeit der Bauweise wurde ein umfangreicher Qualitätssicherungsplan vorgeschrieben. Dieser sah sowohl Prüfungen des verbauten Materials, als auch der Ausführungsqualität vor. Die Qualitätssicherung des Materials erfolgte bereits im Rahmen der Produktion, bei der die Gleichmäßigkeit (z. B. Geradheit, Tränkungsgrad) der Charge vor Ort sowie anschließend an kleinbauteiligen Versuchen (Dehnkörpern und Auszugs-



Foto: O. Steinbock

Bild 7 Herstellung einer Platte für Prüfkörper im Rahmen der Qualitätssicherung
Production of a testing plate for a quality check on construction site



Foto: O. Steinbock

Bild 8 Herstellung eines Längsstreifens an Teilbauwerk 1 und Ausführung des mittigen Arbeitsstoßes
Execution of a longitudinal stripe at superstructure no. 1 and construction joint in the middle

versuchen) überprüft wurden (erfolgte durch CARBO-CON). Die Versuchsergebnisse dienten einerseits dazu, die Gleichwertigkeit des Materials mit dem Material aus der ZiE zu zeigen, andererseits um eine Überprüfung der Ausführungsqualität auf der Baustelle zu ermöglichen. Hierzu wurden auf der Baustelle tageweise entsprechende Prüfkörper (Dehnkörper und SPO zum Verbundwerkstoff; Prismen zum Feinkornbeton) hergestellt und den analogen Prüfungen wie in der ZiE unterzogen. Es zeigte sich eine hohe Gleichmäßigkeit der Ergebnisse, sodass eine ausreichende Qualität sichergestellt war (Fremdüberwachung vor Ort durch Al-Jamous Engineering), Bild 7.

Die Ausführung an der Oberseite vor Ort sah eine streifenweise Ausführung mit einem Arbeitsstoß in Bauteilmitte (Bereich mit geringer Beanspruchung der Verstärkung) vor, sodass eine Herstellung von „frisch in frisch“ gewährleistet war, Bilder 6 und 8. Dies wurde seitens der Baufirma auch so umgesetzt, wobei eine Einhausung mittels Zelt notwendig wurde, um die Verstärkungsschicht vor Umwelteinflüssen zu schützen. Um Rissbildungen in Längsrichtung zu vermeiden, wurde in der sechsten Lage eine Überlappung der Längsstreifen vorgesehen, vgl. auch Bild 4. Die Applikation der Verstärkungsschicht erfolgte sowohl an der Ober- als auch an der Unterseite im Spritzverfahren.

Bei der Ausführung an der Unterseite wurde geringfügig vom zunächst geplanten Schema „frisch in frisch“ abgewichen. Grund hierfür waren größere Schadstellen in der Altbetonkonstruktion bzw. konkave Krümmungen der Stegunterseite, sodass größere Schichtstärken als planmäßig vorgesehen notwendig wurden. Zu Problemen in der Ausführung kam es bei einem ersten Ausführungsversuch an einem Steg an der Unterseite von Teilbauwerk 2. Im Konkreten löste sich die Verstärkungsschicht während der Ausführung. Das Ablösen hatte mehrere Gründe. Zum einen wurde zunächst versucht, die Reprofilierung sowie die Verstärkungsschicht in einem Zug auszuführen. Zum anderen erfolgte die Umsetzung zu schnell, sodass



Foto: O. Steinbock

Bild 9 Erfolgreich verstärkte Untergurte der Stege am Teilbauwerk 2 – Nachbehandlungsphase
Strengthened webs at the bottom of the superstructure – superstructure no. 2 – post treatment

ein Ansteifen der einzelnen Feinkornbetonschichten nicht möglich war. Erschwerend kamen Erschütterungen des Bauwerks hinzu. Trotz der Sperrung des Teilbauwerks für den Verkehr während der Verstärkungsmaßnahme kam es aus dem benachbarten Teilbauwerk über die Widerlager zu Erschütterungen. Die Summe der Einflüsse führte letztlich zu einem Ablösen der Verstärkungsschicht während der Ausführung. Daher wurden bei den weiteren Ausführungen an der Brückenunterseite entsprechende Anpassungen getroffen. Zum einen wurden die Verstärkungsmaßnahmen in die Nachtstunden gelegt, da hier ein geringeres Verkehrsaufkommen zu erwarten war und somit die Erschütterungen reduziert werden konnten. Zum anderen erfolgte die Ausführung schrittweise und unter Beachtung der Ansteifzeiten des Feinkornbetons in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen. Im ersten Schritt wurden die Reprofilierung sowie die ersten beiden Lagen der Verstärkungsschicht ausgeführt. Unter Beachtung der Ansteifzeiten wurde eine Baupause eingeschoben und in einem zweiten Schritt die übrigen drei Lagen appliziert. Ein Austrocknen wurde hierbei durch Abdecken bzw. durch Einhausung der Brücken-



Foto: O. Steinbock

Bild 10 Herstellung eines Längsstreifens an Teilbauwerk 2 und Einlegen der Carbongelege
Execution of a longitudinal stripes on superstructure no. 1 and implementation of a carbon layer

unterseiten unterbunden. Unter Beachtung dieser Ausführungshinweise war die Umsetzung in den restlichen Abschnitten auch an der Unterseite erfolgreich, Bild 9.

Schwierig gestaltete sich zunächst die Umsetzung der Oberflächenvorbereitung, insbesondere an der Brückenoberseite. Gemäß [12] wurde eine mittlere Rautiefe von 1,5 mm gefordert. Die Anforderung entspricht somit der ebenfalls für Spritzbetonverstärkungen erforderlichen rauen Fuge. Diese konnte nur mit Hochdruckwasserstrahlen erreicht werden, da die Betonfestigkeiten teilweise im Bereich eines C50/60 lagen. Die Überprüfung erfolgte mit dem Sandflächenverfahren bzw. über elektrooptische Messverfahren.

Eine Anpassung der Gradienten konnte nicht vollständig vermieden werden. Entgegen den Erkundungsbohrungen zeigten sich stellenweise Schichtstärken des Fahrbahnaufbaus von lediglich 50 bis 60 mm, insbesondere an den Enden der Bauwerke bzw. nahe den Übergangskonstruktionen. Diese konnten zum Teil durch die Verstärkungsschicht und die abgestufte Bewehrungsführung der Carbonlege kompensiert werden, da hier nur zwei Lagen an textiler Bewehrung vorgesehen waren. Die vorausgehenden Feinkornbetonschichten waren entsprechend dünner ausgeführt bzw. liefen über die Länge aus. Dies verdeutlicht die Bedeutung einer hinreichenden Untersuchung des Bestands im Vorfeld sowie die baubegleitende Überprüfung der Ausführung der Verstärkungsmaßnahme. Ausführungsschwierigkeiten bereitete anfangs die Überlappung der Längsstreifen, da es hier zu Unebenheiten kam. Letztlich konnte aber eine zufriedenstellende Ausführungsqualität erreicht werden, die im weiteren Baufortschritt zunehmend verbessert wurde. Mit Ausnahme der beschriebenen Herausforderungen erfolgte die Umsetzung wie planmäßig vorgesehen, sodass die Möglichkeit einer Verstärkung mit Carbonbeton an einem großflächigen Bauwerk praktisch realisiert werden konnte.

Im Hinblick auf die Bauzeit kann folgendes festgehalten werden. Durch die Verstärkungsmaßnahme mit Carbonbeton ergaben sich keine negativen Auswirkungen im Vergleich zu konventionellen Verstärkungsmaßnahmen. Untergrundvorbereitungen wären auch bei einer Spritzbetonverstärkung notwendig geworden. Die eigentliche Verstärkungsmaßnahme mit Carbonbeton zeigte sich als zügig umsetzbar. Grund hierfür ist, dass das Einlegen der Bewehrung und das Spritzen des Betons in einem Arbeitsgang durchgeführt werden, exemplarisch zu sehen in Bild 10. Die vorherige Applikation von Dübeln war nicht notwendig. Die notwendige Ausrichtung der Matten zueinander bedingte jedoch einen zusätzlichen Arbeitsvorgang, da die Mattenlagen und Ausrichtungshilfen positioniert werden mussten. Für die fünf Streifen der Oberseite waren somit ≈ 10 Arbeitstage vorgesehen. In Verbindung mit dem Versetzen des Bauzelts ergaben sich in Summe etwa drei Wochen Bauzeit für die Carbonbetonverstärkung an der Oberseite.

4 Zusammenfassung

4.1 Resümee

Die vorgestellten Ausführungen beschreiben zunächst die Ergebnisse einer statischen Nachrechnung eines Brückenbauwerks, wie es häufig im Bestand der Bundesfernstraßen vorhanden ist. Das Tragwerk wies in Stufe 1 der Nachrechnungsrichtlinie die für Bauwerke aus dieser Bauzeit häufig festgestellten Tragfähigkeitsdefizite auf, vgl. [2]. Mit Ausnahme eines ausreichenden Ankündungsverhaltens hinsichtlich Spannungsrissskorrosion konnten diese jedoch unter Anwendung von Nachweisformaten im Sinne von Stufe 2 bzw. Stufe 4 nach [15] bzw. [16] ohne bauliche Verstärkungsmaßnahme kompensiert werden. Nach einem Abwägungsprozess wurde die Verstärkung mit Carbonbeton als Vorzugslösung zur Sicherstellung eines ausreichenden Ankündungsverhaltens konzipiert, vgl. [13]. Aufgrund der nicht geregelten Bauweise und der erstmaligen Anwendung im Brückenbau wurde eine Zustimmung im Einzelfall notwendig, die parallel zum Planungsprozess eingeholt wurde. Nachdem im Sommer 2020 die Verstärkungsmaßnahme am ersten Teilbauwerk des Brückenzugs umgesetzt wurde, können in dieser Beitragsreihe bereits erste Erfahrungen aus der Umsetzung wiedergegeben werden. Die Möglichkeit einer erfolgreichen Verstärkung von Bestandsbrücken mit einer großflächigen Carbonbetonergänzung konnte anhand der beschriebenen Anwendung aufgezeigt werden. Basierend auf den Erfahrungen sind insbesondere Maßnahmen hinsichtlich einer zielsichereren und robusteren Ausführungsqualität von baupraktischem Interesse. Dies ist im Wesentlichen auf die bisher geringen Erfahrungen bei der im Vergleich zu Laborbedingungen großflächigen Anwendung sowie die damit verbundenen Ausführungs-dauern, Arbeitsschritte und -hilfsmittel zurückzuführen. Daher sollten die vorhandenen Erfahrungen aller Beteiligten frühzeitig berücksichtigt sowie ein ausgeprägtes vorausschauendes Interagieren und Handeln angestrebt werden. Die Erstellung von detaillierten Arbeitsabläufen unter Berücksichtigung der baupraktischen Randbedingungen und von Rückfallebenen bei Abweichungen scheint sinnvoll. Neben dem vertieften Durchplanen der Arbeitsprozesse ist bei allen Baubeteiligten das Bewusstsein zu schaffen, dass es sich nicht um ein übliches Bauwerk, sondern ein Bauwerk mit erhöhten fertigungstechnischen Anforderungen handelt. Weiter wären Fortschritte hin zur Automatisierung des Einbaus wünschenswert.

An dieser Stelle sei nochmals auf die Verstärkungsmaßnahme mit Carbonbeton an einer Plattenbrücke verwiesen [17], die ebenfalls im Sommer 2020 erfolgreich umgesetzt wurde. Die Verstärkung mit Carbonbeton kann somit in einigen Fällen eine sinnvolle und wirtschaftliche Verstärkungsmethode im Brückenbau darstellen. Eine ausführliche Darstellung zu weiteren Anwendungsmöglichkeiten von Verstärkungsmaßnahmen mit Carbonbeton im Massivbrückenbau ist Gegenstand der wissenschaftlichen Arbeit des Hauptautors, vgl. [3].

4.2 Ausblick

Vorliegende Beitragsreihe zeigte die exemplarische Ausführung einer Carbonbetonverstärkung an zwei Schweserbauwerken. Im Jahr 2021 soll das letzte der drei Teilbauwerke ebenfalls mit Carbonbeton verstärkt werden. Das Tragwerk weist eine andere Konstruktionssprache auf, sodass hier eine alternative Auslegung der Verstärkung erarbeitet wurde. Über Konzeption, Planung und Umsetzung dieser Maßnahme wird nach Abschluss der Baumaßnahme berichtet.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.) (2011) *Handlungsanweisung zur Überprüfung und Beurteilung von älteren Brückenbauwerken, die mit vergütetem, spannungsrissskorrosionsgefährdetem Spannstahl erstellt wurden (Handlungsanweisung Spannungsrissskorrosion)*. Ausgabe 2011-06.
- [2] Steinbock, O.; Pelke, E.; Ost, O. (2021) *Carbonbeton – Eine neue Verstärkungsmethode für Massivbrücken. Teil 1: Grundlagen und Hintergründe zum Pilotprojekt „Brücken über die Nidda im Zuge der BAB A 648“* in: Beton- und Stahlbetonbau 116, H. 2, S. 109–117. <https://doi.org/10.1002/best.202000094>
- [3] Steinbock, O.: *Verstärkung von Stahl- und Spannbetonbrücken unter Verwendung von Carbonbeton*. Dissertation in Vorbereitung. Institut für Massivbau. TU Dresden. 2021.
- [4] DIN-Fachbericht 102 (2009) *Betonbrücken*. Berlin: Beuth. Ausgabe 2009-03.
- [5] *Spannbeton; Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung. Änderung A1 – DIN 4227-1/A1*. Ausgabe 1995-12 in: Historische technische Regelwerke für den Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau (2009) Bemessung und Ausführung. Berlin, S. 1062–1066.
- [6] DIN EN 1992-2 (2010-12) *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 2: Betonbrücken – Bemessungs- und Konstruktionsregeln*, Deutsche Fassung EN 1992-2: 2005 + AC: 2008.
- [7] DB Netz AG (Hrsg.) (2016) *Bauwerk mit spannungsrissskorrosionsgefährdeten Spannstählen–Nachrechnungskonzept*. Ausgabe 2016-03.
- [8] DIN-Fachbericht 102 (2003) *Betonbrücken*. Berlin: Beuth. Ausgabe 2003-03.
- [9] Steinbock, O. (2019) *Statik zur Verstärkungsmaßnahme der Brücken über die Nidda im Zuge der BAB A 648*. Curbach-Bösche Ingenieurpartner Beratende Ingenieure PartG mbH. Dresden.
- [10] Curbach, M.; Schladitz, F.; Weselek, J.; Zobel, R. (2017) *Eine Vision wird Realität. Der Betonbau der Zukunft ist nachhaltig, leicht, flexibel und formbar – dank Carbon* in: Der Prüflingenieur 51, H. 11, S. 20–35.
- [11] Bösche, T.; Peter, A.; Schröder, S.; Steinbock, O. (2019) *Ausführungsunterlagen Teilbauwerk 1 und 2. Brücken über die Nidda im Zuge der BAB A 648 am Westkreuz Frankfurt*. angefertigt von Curbach Bösche Ingenieurpartner Beratende Ingenieure PartG mbH. Dresden.
- [12] Curbach, M.; Michler, H.; Schumann, A.; Hentschel, M. (2019) *Gutachten zur Erlangung der ZiE für die Verstärkung der Baumaßnahme A 648: UF Nidda ASB-Nr. 5817-574. inkl. der Ergänzungsgutachten 1 und 2*. angefertigt von Technische Universität Dresden, Institut für Massivbau und CARBOCON GmbH. Dresden.
- [13] Steinbock, O.; Bösche, T.; Schumann, A. (2021) *Carbonbeton – Eine neue Verstärkungsmethode für Massivbrücken. Teil 2: Carbonbeton im Brückenbau und Informationen zur Zustimmung im Einzelfall für das Pilotprojekt „Brücken über die Nidda im Zuge der BAB A 648“* in: Beton- und Stahlbetonbau 116, H. 2, S. 109–117. <https://doi.org/10.1002/best.202000106>
- [14] *Homepage Carbon Concrete Composites* (2020) <https://www.bauen-neu-denken.de/anwendungsrichtline-textilbeton/>, geprüft am 05.11.2020
- [15] *Nachrechnungsrichtlinie* (2011) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): *Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie)*. Ausgabe 2011-05.
- [16] *Nachrechnungsrichtlinie* (2015) Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.): *Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie)*. Ausgabe 05/2011. 1. Ergänzung. 2015-04.
- [17] Steinbock, O.; Curbach, M.; Bösche, T. (2020) *Ertüchtigung einer Stahlbetonstraßenbrücke mit Carbonbeton* in: Foster, F.; Gilbert, R.; Mendis, P.; Al-Mahaidi, R.; Millar, D. (Hrsg.): Tagungsband zum 4. Brückenkolloquium – Fachtagung für Beurteilung, Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Brücken. 8./9.9.2020 an der Technischen Akademie Esslingen, 2020, S. 651–662.

Dank

An dieser Stelle gilt besonderer Dank dem Bauherrn für die Bereitschaft, den Versuch einer Verstärkung mit Carbonbeton zu wagen. Dem Hauptautor ist es eine besondere Freude, da die Umsetzung des Bauvorhabens in unmittelbarem Zusammenhang mit der wissenschaftlichen Arbeit [3] steht und somit dessen Relevanz für die Verbreitung der Carbonbetonbauweise unterstreicht. Weiterer Dank gilt allen Beteiligten für die konstruktive und gute Zusammenarbeit, die für die erfolgreiche Umsetzung einer Pilotmaßnahme mit diesem Umfang unerlässlich ist.

Autoren



Dipl.-Ing. Oliver Steinbock (Korrespondenzautor)
os@cbing.de
Curbach Bösch Ingenieurbüro – Beratende
Ingenieure Part mbH
Bergstraße 21 a
01069 Dresden



Bastian Neis
bastian.neis@autobahn.de
Autobahn GmbH des Bundes
Niederlassung West
Abteilung B 2 Brückenbau und BW-Management
Außenstelle Frankfurt/Gelnhausen
Röntgenstraße 7–9
60388 Frankfurt a.M.



Dr.-Ing. Frederik Teworte
fteworte@huping.de
H+P Ingenieure GmbH (Hegger + Partner)
Kackertstraße 10
52072 Aachen

Zitieren Sie diesen Beitrag

Steinbock, O.; Teworte, F.; Neis, B. (2021) *Carbonbeton – Eine neue Verstärkungsmethode für Massivbrücken – Teil 3*. Beton- und Stahlbetonbau 116, H. 2, S. 118–126.

<https://doi.org/10.1002/best.202000107>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet.
Eingereicht: 17. Dezember 2020; angenommen: 22. Dezember 2020.