DOI: 10.1002/best.202300037

Enrico Lorenz, Alexander Peter, Sebastian May, Thomas Bösche

Planung und Neubau einer Straßenbrücke aus Carbonbeton

Carbonbeton „The Next Step“

In der ostsächsischen Ortschaft Wurschen (Landkreis Bautzen) wurde im Jahr 2021 Sachsens erste Straßenbrücke aus Carbonbeton errichtet. Durch den Einsatz der neuartigen Carbonbetonbauweise sollen der Erhaltungsaufwand sowie die Wartungszyklen für Brückenbauwerke verringert und die Nutzungsdauer gegenüber dem heutigen Brückenbestand aus Stahlbeton deutlich gesteigert werden. Die hochzugfesten und unter den nutzbaren Spannungsbereichen nahezu ermüdungsresistenten Carbonbewehrungen sind hierbei aufgrund ihrer Beständigkeit gegenüber Bewehrungskorrosion für den Einsatz im Bereich des Brückenbaus prädestiniert. Die Planung des Bauwerks wurde unter Beachtung der im Rahmen der langjährigen Forschungen der Institute für Massivbau der Technischen Universität Dresden und der Rheinisch-Westfälisch Technischen Hochschule Aachen ermittelten Bemessungs- und Konstruktionsgrundlagen durchgeführt. Die bauliche Umsetzung der Baumaßnahme erfolgte in Ortbetonbauweise unter Verwendung von Carbonflächenbewehrungen (Carbongittern), Carbonstabbewehrungen und üblichen Konstruktionsbetonen. Im Anschluss an die erfolgreiche Fertigstellung des Bauwerks konnte die Tragfähigkeit der Straßenbrücke aus Carbonbeton durch Belastungsversuche mit einem umfangreichen Messprogramm bestätigt werden. Die planmäßige Verkehrsfreigabe des Bauwerks erfolgte im Dezember 2021.

Stichworte Carbon; Carbonbeton; Carbonbewehrung; Straßenbrücke

Structural design and construction of a road bridge made of carbon reinforced concrete – Carbon reinforced concrete “The Next Step”

In 2021, Saxony’s first road bridge made of carbon reinforced concrete was built in Wurschen, a village located in the district of Bautzen in the east of Saxony. The new carbon reinforced concrete construction method is expected to help reduce both maintenance costs and the number of maintenance cycles for bridge structures while also increasing the service life compared to existing bridges made of steel-reinforced concrete considerably. The high-tensile carbon reinforcements, which are virtually fatigue-resistant considering the applicable stress ranges, are predestined to be used in bridge construction due to their resistance to (reinforcement) corrosion. The design of the structure was based on the dimensioning and construction principles resulting from many years of research conducted by the Institutes of Concrete Structures at Technische Universität Dresden (TUD) and RWTH Aachen University. The construction work was carried out using the in-situ concrete method and carbon surface reinforcement (carbon mats), carbon rod reinforcement, and standard structural concrete. Following the successful completion of the structure, load tests with an extensive measuring program verified the load-bearing capacity of the carbon reinforced concrete road bridge. The structure was opened to traffic as planned in December 2021.

Keywords carbon; carbon reinforced concrete; carbon reinforcements; road bridge

1 Einleitung

Der Brückenbestand im deutschen Staßenverkehrsnetz wird aktuell auf ca. 120.000 Bauwerke geschätzt, vgl. u. a. [1]. Hinsichtlich der verwendeten Konstruktionsweise bilden, insbesondere bei kurzen und mittleren Spannweiten von bis zu 30 m, die in Stahlbetonbauweise errichteten Straßenbrücken den maßgebenden Anteil. Dies ist in Bild 1 exemplarisch für die im Bereich der Bundesfernstraßen errichteten Bauwerke dargestellt. Im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit und die Nutzungsdauer dieser Stahlbetonbrücken stellt jedoch die Korrosionsanfälligkeit der Betonstahlbewehrung einen großen Schwachpunkt dar. Insbesondere in Verbindung mit den bei Straßenbrücken einwirkenden Chloriden aus Streusalzen oder nach dem Erreichen der zulässigen Karbonatisierungstiefen können hierdurch teilweise massive Schädigungen am Brückenbestand entstehen. Dieser Zusammenhang wurde u. a. im Zuge von wissenschaftlichen Studien zur Evaluierung der für den Abriss von Brückenbauwerken maßgeblichen Schadensursachen bestätigt, vgl. [3]. Demnach werden bei ca. 72 % der rückgebauten Stahlbetonstraßenbrücken maßgebende Schäden aus Bewehrungskorrosion genannt. Die Bewehrungskorrosion wurde im Regelfall durch korrespondierende korrosionsfördernde Effekte wie eine verstärkte Rissbildung bzw. Durchfeuchtungen und konstruktive Schäden begleitet. Durch den Anstieg des Schwerverkehrs im deutschen Straßennetz ist zudem eine deutliche Zunahme der ermüdungsrelevanten Beanspruchungen der Bauwerke mit einem vorzeitigen Erreichen der Ermüdungsfestigkeit der eingesetzten Betonstähle feststellbar.

Die dargestellten, vorrangig durch materialbedingte Schwächen des Betonstahls hervorgerufenen Schädigungen der Stahlbetonbauwerke machen teilweise kostenintensive Instandsetzungen oder oft bereits nach einer Nutzungsdauer von 50 bis 70 Jahren einen vorzeitigen Ersatzneubau erforderlich. Aufgrund der Erhöhung der Dauerhaftigkeit sowie der Nutzungsdauer der

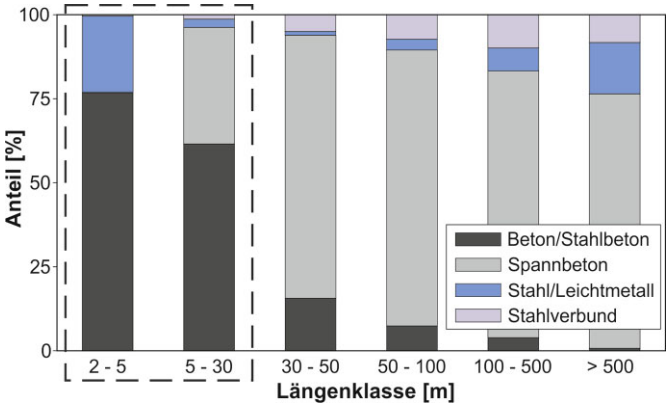


Bild 1 Konstruktionsweisen der im Bereich der Bundesfernstraßen errichteten Brückenbauwerke
Methods of construction of highway bridge structures

Brückenbauwerke ergeben sich durch die Anwendung von Carbonbewehrungen deutliche Vorteile. Die hoch zugtragfähigen Carbonbewehrungen besitzen neben einer Korrosionsbeständigkeit gegenüber Chlorideinwirkungen aus Streusalzen und chemisch angreifenden Umgebungsbedingungen eine im Vergleich zu Betonstahl deutlich gesteigerte Ermüdungsfestigkeit. Aufgrund dieser Vorteile stellt der Einsatz von Carbonbewehrungen bzw. die Carbonbetonbauweise eine interessante Alternative für die Herstellung zukunftsfähiger Brückenneubauten dar. Schäden durch Korrosion oder Ermüdungsprobleme der Bewehrungen könnten für zukünftige Carbonbetonbauwerke ausgeschlossen werden. Dies ermöglicht perspektivisch eine Minimierung des Erhaltungsaufwands sowie der Wartungszyklen und verringert die Lebenszykluskosten der Brückenbauwerke.

Auf der Basis dieses erkannten Potenzials fanden insbesondere an der Technischen Universität Dresden und der Rheinisch-Westfälisch Technischen Hochschule Aachen umfangreiche Forschungen zur Entwicklung und zum Einsatz von Carbonbewehrungen in üblichen Konstruktionsbetonen statt. Das im Rahmen der vorliegenden Veröffentlichung dargestellte Bauwerk zeigt die Anwendung der Carbonbetonbauweise zur praxistauglichen Herstellung von Brückenbauwerken in Ortbetonbauweise.

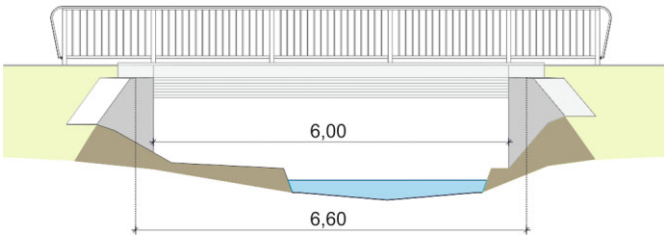
2 Randbedingungen und Geometrie

Aufgrund der Vorteile von Carbonbeton zur Herstellung zukunftsfähiger und dauerhafter Bauwerke entschied die sächsische Straßenbauverwaltung im Jahr 2018, Sachsens erste vollständig aus Carbonbeton hergestellte Straßenbrücke als Pilotprojekt zur Etablierung der Carbonbetonbauweise zu errichten. Tab. 1 zeigt die Projektbeteiligten. Die Umsetzung des Pilotprojekts erfolgte in Ostsachsen, ca. 80 km östlich von Dresden, im Landkreis Bautzen. Das Brückenbauwerk (BW 9) überführt die Staatsstraße S 111 nach der Ortschaft Wurschen, aus Richtung Bautzen kommend, über das Kuppritzer Wasser. Die S 111 stellt hierbei eine direkte und wichtige Verbindung zwischen den Städten Weißenberg und Bautzen dar. Der im Bereich des Bauwerks liegende Streckenabschnitt der S 111 wird als Bedarfsumleitung für die Bundesautobahn A 4 zwischen der AS Bautzen Ost und der AS Weißenberg sowie der Bundesstraße B6 zwischen Löbau und Bautzen genutzt.

Tab. 1 Projektbeteiligte
Project participants

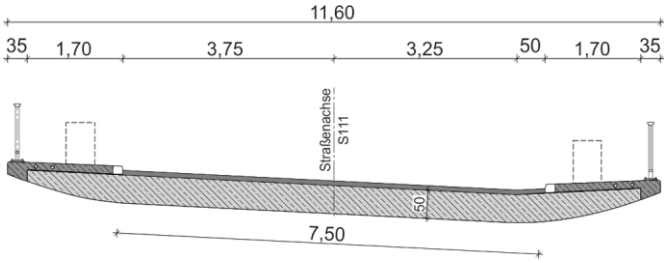
Genehmigungsbehörde (ZIE)	SMWA – Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Dresden
Bauherr	LASuV – Landesamt für Straßenbau und Verkehr, Dresden
Bauherrenvertretung	LISt – Gesellschaft für Verkehrswesen und ingenieurtechnische Dienstleistungen mbH, Hainichen
Tragwerksplanung	cbing – Curbach Bösche Ingenieurpartner
Gutachterliche und wissenschaftliche Betreuung	CARBOCON GMBH, Dresden Institut für Massivbau der Technischen Universität Dresden
Bauausführung	Hentschke Bau GmbH, Bautzen
Prüfingenieur	Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger, Aachen

Aufgrund der intensiven Verkehrsbelastung des bestehenden Brückenbauwerks sowie der im Zuge der regelmäßigen Bauwerksprüfungen aufgezeigten nutzungs- und alterungsbedingten Verschlechterung des Bauwerkszustands musste die ursprünglich im Bereich der Überführung vorhandene einfeldrige WiB-Brücke aus den 1930er-Jahren durch einen dauerhaften und tragfähigen Neubau ersetzt werden. Im Zuge der Planung des Ersatzneubaus erfolgten Anpassungen der Trassierung sowie eine deutliche Vergrößerung des Durchflussquerschnitts. In Bild 2 ist eine Längsansicht des Ersatzneubaus gezeigt. Der neue Carbonbetonüberbau wurde als gelenkig gelagerte Carbonbetonvollplatte mit einer Stützweite von 6,60 m ausgebildet. Der Überbau wird über beidseitige Betongelenke auf den in üblicher Stahlbetonbauweise hergestellten Unterbauten flach gegründet. Die lichte Weite zwischen den Widerlagern beträgt 6,00 m und die minimale lichte Höhe in Bezug auf die Bachsohle 1,66 m. Die Bauwerksachse schneidet die Brückenachse im Winkel von 100 gon. Die Gesamtbreite des Bauwerks beträgt 11,60 m, die Überbauhöhe wurde mit 50 cm festgelegt. Die Widerlager und die daran anschließenden Schrägflügel werden mit einer Dicke von 60 cm ausgebildet, Bild 3 zeigt den Regelquerschnitt des Überbaus. Das Bauwerk überführt einen zweistreifigen Straßenquerschnitt RQ 11. Die Querschnittsform der linsenförmigen Plattenbrücke wurde hierbei auf die Umsetzung in Carbonbetonbauweise angepasst. Auf der Brücke werden beidseitig Kappen sowie Füllstabgeländer und Schutzeinrichtungen angeordnet. Die Fahrbahnbreite zwischen den Kappen beträgt 7,50 m. Die Brücke wurde als Ortbetonbauwerk konzipiert.



Quelle: cbing

Bild 2 Längsansicht
Longitudinal view

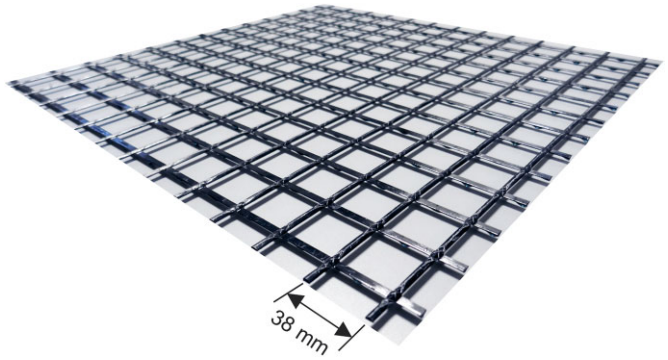


Quelle: cbing

Bild 3 Regelquerschnitt
Standard cross-section

Quelle: cbing

Bild 4 Carbonstabbewehrung, Carbon4ReBar, ∅i = 8,5 mm, ∅a = 10,0 mm
Carbon rod reinforcement, Carbon4ReBar, ∅i = 8.5 mm, ∅a = 10.0 mm



Quelle: cbing

Bild 5 Carbonflächenbewehrung, Grid Q95/95-CCE-38
Carbon grid reinforcement, Grid Q95/95-CCE-38

3 Carbonbeton – Materialien

Für die Herstellung des Ersatzneubaus des Brückenüberbaus und der Randkappen wurden unterschiedliche Materialien und Materialkombinationen verwendet. Als Carbonstabbewehrungen kamen neuartige Carbonstäbe der Firma thyssenkrupp Carbon Components GmbH aus Kesselsdorf bei Dresden (heute Action Composites Hightech GmbH) mit einem nutzbaren effektiven Stabinnendurchmesser von 8,5 mm zum Einsatz, Bild 4. Die in Bild 5 dargestellten Carbonflächenbewehrungen Grid Q95/95-CCE-38 wurden von der solidian GmbH aus Albstadt hergestellt. Die charakteristischen Zugfestigkeiten der eingesetzten Carbonstäbe liegen bei mehr als 1300 N/mm^2 (Carbonstäbe) bzw. 2400 N/mm^2 (Carbonflächenbewehrungen). Für den Carbonbetonüberbau kam ein Beton der Festigkeitsklasse C50/60 nach DIN EN 206 [4] und DIN 1045-2 [5] zum Einsatz. Die Herstellung der Carbonkappen erfolgte mithilfe eines Luftporenbetons der Festigkeitsklasse C30/37. Die einwandfreie Einbaubarkeit des Überbaubetons sowie des Kappenbetons wurde im Vorfeld der Baumaßnahme untersucht und für die handwerkliche Umsetzung optimiert.

4 Regelwerke/ZIE/vBG

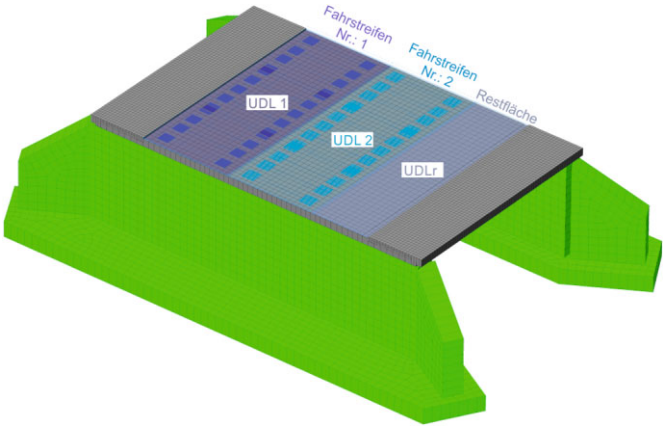
Infolge der während der Planung noch fehlenden normativen Bemessungsrundlagen zur standardisierten Bemessung und Herstellung von Carbonbetonbauwerken erfolgten im Vorfeld des Pilotprojekts umfassende Voruntersuchungen durch die CARBOCON GmbH unter wissenschaftlicher Begleitung der TU Dresden. Die durchgeführten Untersuchungen bestätigten die große Leistungsfähigkeit von Carbonbeton und bildeten gemeinsam mit den vorliegenden Erfahrungen und Forschungsergebnissen zur Carbonbetonbauweise, u. a. [6, 7], die Planungsgrundlagen zur Bemessung des Bauwerks. Hinsichtlich einer erweiterten Darstellung des Versuchsumfangs der Material- und Kennwertuntersuchungen wird auf [8] verwiesen. Die Material- und Kennwertuntersuchungen wurden mit der Erteilung einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) bzw. vorhabenbezogenen Bauartengenehmigung (vBG) für die Herstellung des Erstneubaus aus Carbonbeton durch das Sächsische Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr im November 2020 abgeschlossen. Aktuell wird eine Richtlinie zur Bemessung von Betonbauteilen mit nichtmetallischer Bewehrung durch den Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) erarbeitet.

5 Statische Berechnung und Planung

Nach dem Vorliegen der Ergebnisse der Material- und Kennwertuntersuchungen erfolgte eine Machbarkeitsstudie mit der Überprüfung unterschiedlicher Ausführungsvarianten. Neben der Optimierung des Brückenquerschnitts wurde die Umsetzung

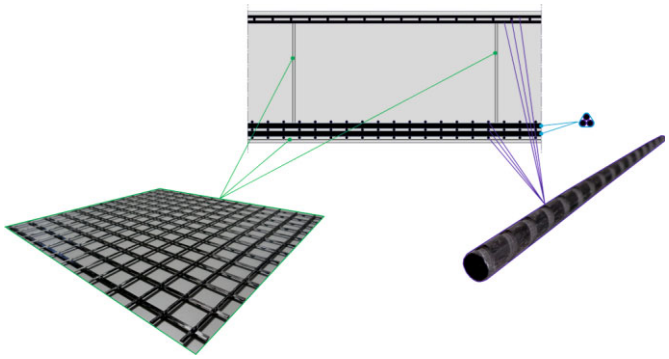
- einer Halbfertigteilvariante wie auch
- einer vorgespannten und
- einer schlaff bewehrten Ortbetonvariante

untersucht.



Quelle: cbing

Bild 6 3D-Gesamtmodell des Bauwerks
3D model of the structure



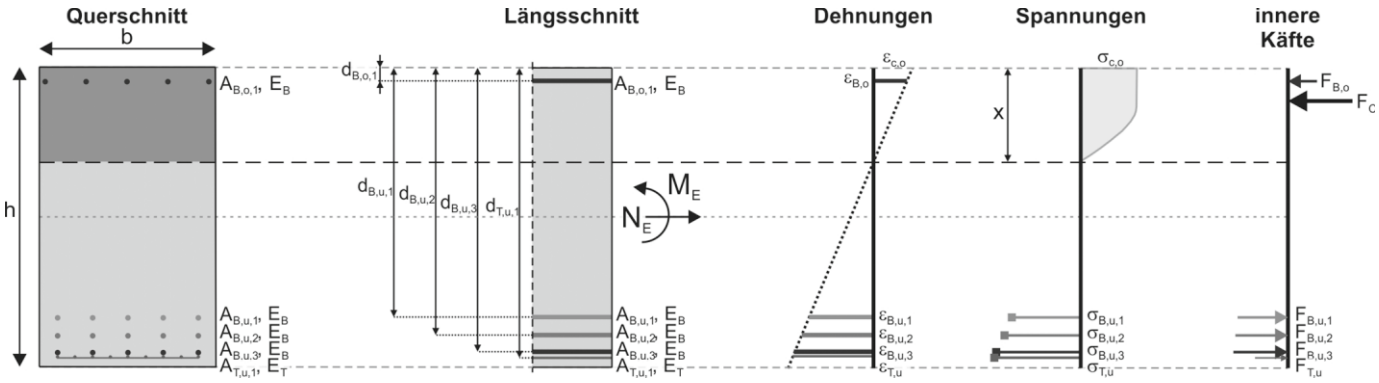
Quelle: cbing

Bild 8 Bewehrungsanordnung im Regelbereich (Haupttragrichtung) des Überbaus
Arrangement of reinforcements in the control range (main load-bearing direction) of the superstructure

Im Zuge der Bewertung der Ergebnisse der Voruntersuchungen erfolgte aus technischen und wirtschaftlichen Gründen (u.a. Spannweite) die Entscheidung zur baulichen Umsetzung der in den Bildern 2 und 3 dargestellten schlaff carbonbewehrten Ortbetonvariante. Das für die statische Berechnung des Bauwerks verwendete dreidimensionale FE-Modell ist in Bild 6 gezeigt. Der Carbonbetonüberbau und die Carbonbetonkappen sind grau eingefärbt. Die betonstahlbewehrten Unterbauten werden grün dargestellt.

Die Bemessung des Bauwerks erfolgte unter Beachtung der normativen Lasten und Bemessungskombinationen gemäß DIN EN 1991-2 [9] bzw. DIN EN 1990 [10]. Es wurden die Regelverkehrslasten des Lastmodells LM 1 sowie des Ermüdungslastmodells LM 3 berücksichtigt. Mithilfe der ermittelten Schnittkraftverläufe konnte anschließend die Querschnittsbemessung der Carbonbetonbauteile im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) sowie im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) durchgeführt werden. Der Nachweis der Biegetragfähigkeit der mehrlagig carbonbewehrten Betonbauteile erfolgte unter Beachtung der spezifischen Materialkennwerte der Bewehrungselemente mit einem iterativen Berechnungsverfahren. Die in Haupttragrichtung des Überbauquerschnitts vorhandene prinzipielle Dehnungs- und Spannungsverteilung sowie die Darstellung der äußeren und inneren Kräfte ist schematisch in Bild 7 gezeigt.

Für den maßgebenden Bemessungsschnitt in Feldmitte des Carbonbetonüberbaus (Haupttragrichtung) ergibt sich, unter Beachtung aller Bemessungsanforderungen, der in Bild 8 dargestellte Bewehrungsaufbau. Demnach wurde in Brückenlängsrichtung eine untere Carbonstabbewehrung im Abstand von 6 cm erforderlich. Da zum Zeitpunkt der Planung ausschließlich ein Nenndurchmesser der Carbonstäbe von 8,5 mm zur Verfügung stand, erfolgte die Anordnung der Carbonstabbewehrung dreilagig. Mit der weiteren Entwicklung und der Verfügbarkeit von größeren Durchmessern wird die erforderliche Stabanzahl zukünftig reduziert werden können. In Querrichtung wurden Stabbündel von jeweils drei Stäben im Abstand von 20 cm verlegt. An der Unterseite der Konstruktion erfolgte zudem die Anordnung einer zusätzlichen rissbreitenvermindernden Oberflächenbewehrung aus Carbongittern. Im Bereich der Bauwerkoberseite wurde eine primär als rissbreitenbeschränkende Bewehrung wirkende Mindeststabbewehrung im Abstand von 7 cm bzw. 12 cm angeordnet. Die konstruktive Durchbildung des Carbonbetonüberbaus erfolgte unter Beachtung der Randbedingungen und Anforderungen der Carbonbetonbauweise. Da aufgrund des Pilotprojektcharakters des Bauwerks zum Planungszeitpunkt keine Regeldetails und Richtzeichnungen für Carbonbetonbrücken vorlagen, wurden verschiedene Konstruktionsdetails entwickelt und mit den Projektbeteiligten abgestimmt.



Quelle: cbing

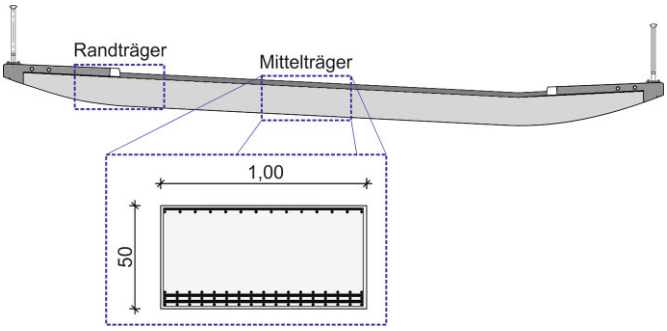
Bild 7 Dehnungs- und Spannungsverteilung sowie Darstellung der äußeren und inneren Kräfte
Strain and stress distribution and illustration of external and internal forces

6 Großbauteilversuche

Zum Nachweis der bauseitigen Herstellbarkeit der geplanten Brückenkonstruktion in Ortbetonbauweise sowie zur experimentellen Bestätigung der rechnerischen Tragfähigkeit und Ermüdungsfestigkeit des Carbonbetonüberbaus wurden aufbauend auf den Ergebnissen der Bauwerksbemessung separate Großbauteilversuche im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden durchgeführt. Die Versuche erfolgten an repräsentativen Ausschnitten aus dem Carbonbetonüberbau mit Spannweiten von 6,60 m und Breiten von 1,0 m. Die betrachteten Bereiche des Überbaus und die zugehörige Bewehrungsanordnung eines Mittelträgers zeigt Bild 9. Im Zuge der großformatigen 4-Punkt-Bauteilversuche wurden drei Mittelträger und ein Randträger experimentell statisch und dynamisch untersucht. Der verwendete Versuchsaufbau sowie das Kraft-Durchbiegungs-Diagramm eines geprüften Mittelträgers sind exemplarisch in Bild 10 dargestellt. Der Verlauf der Kraft-Durchbiegungs-Beziehung zeigt hierbei einen für einen Carbonbetonbiegeträger typischen Verlauf. Im Zuge der Auswertung der Bauteilversuche wurden die Prüflasten zudem den im Rahmen der statischen Berechnungen für die maßgebenden Bemessungskombinationen nachgewiesenen Belastungswerten gegenübergestellt. Das Bauteilversagen erfolgte, nach dem Erreichen der Bruchlast von F_u = 885 kN, planmäßig durch Schubversagen im Auflagerbereich. Die zunächst durch über 2 Millionen Lastwechsel beanspruchten Großbauteile versagten bei anschließender Prüfung der Resttragfähigkeit auf demselben Lastniveau wie die Referenzbauteile ohne zyklische Beanspruchung. Infolge der im Rahmen der statischen Berechnungen berücksichtigten material- und lastseitigen Sicherheitsbeiwerte sowie der Tragreserve der Carbonbewehrungen bei großen Zugdehnungen konnte ein globaler Sicherheitsfaktor von ca. 3,2 nachgewiesen werden. Die Ergebnisse der Großbauteilversuche bestätigen experimentell die bauliche Umsetzbarkeit und die Tragsicherheit des geplanten Carbonbetonüberbaus.

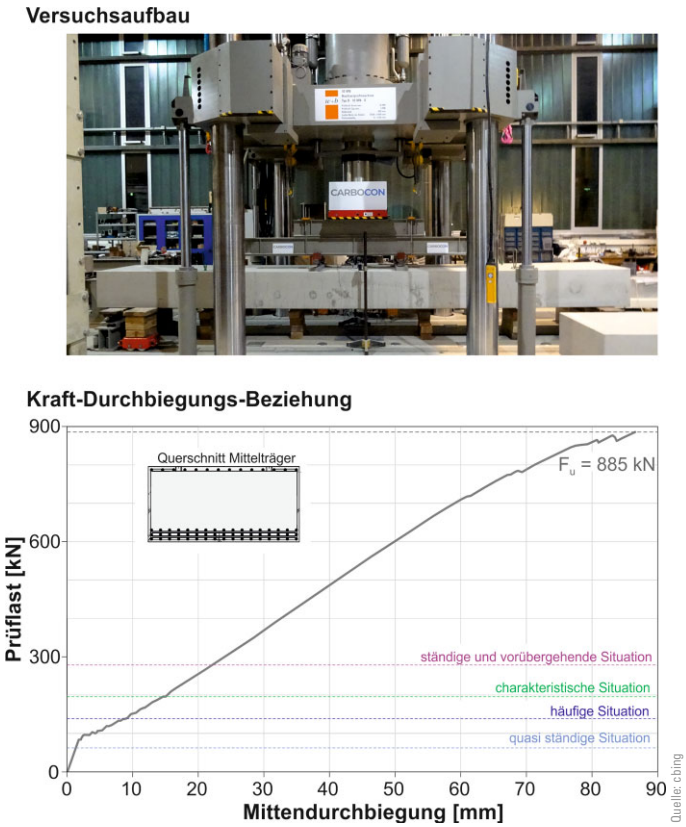
7 Bauausführung

Nach dem Abschluss der Planungen und der Erteilung der Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erfolgte im Frühjahr des Jahres 2021 der Beginn der Baumaßnahme. Im Anschluss an die Fertigstellung der betonstahlbewehrten Unterbauten und die Herstellung des Traggerüsts konnte im Oktober 2021 mit dem Einbau der unteren Carbonbewehrungslagen begonnen werden, Bild 11. Bild 12 zeigt den nahezu vollständig hergestellten Carbonbewehrungskorb des Überbaus. In Bild 13 ist die Betonage des Überbaus dargestellt. Im Anschluss an die Herstellung der ebenfalls in Carbonbetonbauweise umgesetzten Randkappen erfolgten die erforderlichen Restarbeiten zur Abdichtung und Einschüttung des Bauwerks, der vollständige Einbau des Bachbetts, die Herstellung des Fahrbahnaufbaus sowie die Montage der Geländer und Schutzeinrichtungen. In Bild 14 ist abschließend die Seitenansicht des fertiggestellten Bauwerks zu sehen.



Quelle: cbing

Bild 9 Versuchskörper Bauteilversuche
Prototype for component tests

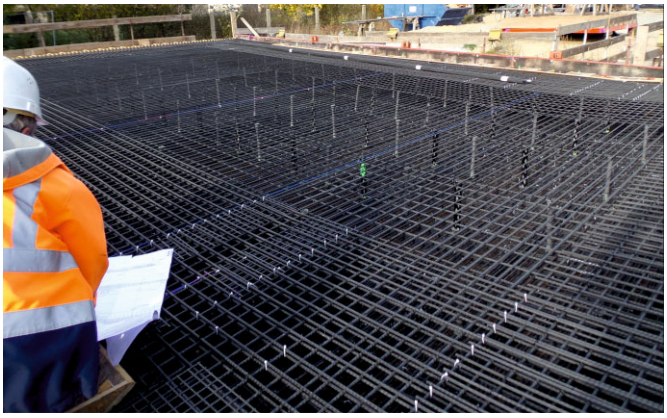


Quelle: cbing

Bild 10 Ergebnisse Großbauteilversuch Mittelträger (statisch)
Results of the beam component test

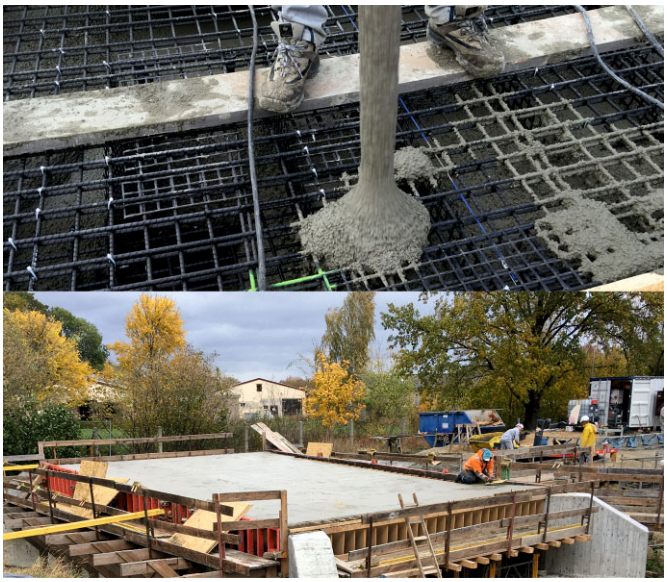
Quelle: cbing

Bild 11 Einbau der unteren Carbonbewehrungslagen
Installation of lower carbon reinforcement layers



Quelle: cbing

Bild 12 Carbonbewehrungskorb des Überbaus
Carbon reinforcement cage of the superstructure



Quelle: cbing

Bild 13 Betonage des Überbaus
Concreting for superstructure

Quelle: cbing

Bild 14 Ansicht des fertiggestellten Bauwerks
View of the completed structure

8 Belastungsversuche

Gemäß den Forderungen der ZiE/vBG erfolgten vor der Verkehrsfreigabe des Brückenbauwerks abschließende Probebelastungen. Als Belastungsfahrzeuge wurden zwei Kranfahrzeuge mit Gesamtgewichten von jeweils 36 t und zugehörigen Achslasten von 12 t eingesetzt, Bilder 15 und 16. Die zielgerichtete Durchführung der Belastungsversuche erfolgte unter Beachtung eines erarbeiteten Belastungskonzepts. Die Belastungsfahrzeuge wurden in den statisch maßgebenden Laststellungen auf dem Bauwerk platziert. Es erfolgten sowohl statische Belastungen mit Haltezeiten von 60 Sek. als auch Überfahrten mit Geschwindigkeiten von ca. 30 km/h. Zur Überprüfung der Bauwerksantwort erfolgte während der Belastungsversuche ein intensives Bauwerksmonitoring. Hierzu wurden bereits im Zuge des Bewehrungseinbaus faseroptische Sensorstränge und Sensorfasern innerhalb des Brückenquerschnitts angeordnet und einbetoniert. Die im Bereich der Biegezugzone angeordneten Messstränge sind exemplarisch in Bild 17 dargestellt.

Quelle: cbing

Bild 15 Belastungsfahrzeuge auf dem Bauwerk
Load-testing vehicles on the structure

Quelle: cbing

Bild 16 Probebelastung (statisch mit Haltezeit)
Static load test (including hold time)

Die angeordneten Sensorstränge ermöglichen neben der belastungsabhängigen Ermittlung der vorhandenen Beton- und Bewehrungsdehnungen sowie der resultierenden Spannungen die Detektion der über die gesamte Bauwerkslänge im Bereich der Biegezugzone resultierenden Verteilung der Biegerisse im Zustand II. Zusätzlich erfolgten unabhängige Messungen der Bauwerksdurchbiegungen, der Bauwerks- und Umgebungstemperaturen sowie der Beschleunigungsverläufe und Beschleunigungsspektren. Im Ergebnis der Belastungs-

Quelle: CARBOCON GMBH

Bild 17 Aufbau Messbereich in der Biegezugzone: schwarzes Kabel: Temperaturmessung, rotes Kabel: Temperaturmessfaser Beton, blaues Kabel: Dehnungsmessstrang, grüne Linie: Dehnungsmessfaser Carbonstab
Set-up of measuring range in bending-tension zone

versuche konnten die Ergebnisse der Bauwerksbemessung sowie des Belastungskonzepts bestätigt werden. Die am Bauwerk nachgewiesenen Dehnungen liegen aufgrund von zusätzlichen, im Rahmen der statischen Berechnungen nicht berücksichtigten, Lastabtragungsmechanismen, wie z. B.

- die Mitwirkung des Fahrbahnaufbaus,
- die Beteiligung der Randkappen am Lastabtrag sowie
- der versteifende Einfluss der Hinterfüllung,

auf der sicheren Seite liegend unterhalb der prognostizierten Werte. Das beobachtete Tragverhalten ist somit erwartungsgemäß ca. 70 % steifer als rechnerisch ermittelt. In den Belastungstests wurden keine die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks beeinträchtigenden Verformungen oder Rissbildungen festgestellt. Nach der Auswertung und Prüfung der Ergebnisse der Belastungsversuche konnte das Brückenbauwerk planmäßig vor den Weihnachtsfeiertagen des Jahres 2021 für den Verkehr freigegeben werden.

9 Zusammenfassung und Ausblick

In der ostsächsischen Ortschaft Wurschen (Landkreis Bautzen) wurde im Jahr 2021 Sachsens erste Straßenbrücke aus Carbonbeton errichtet. Die erfolgreiche Durchführung des Pilotprojekts weist die Möglichkeit der baupraktischen Anwendung der Carbonbetonbauweise für die Herstellung alternativer dauerhafter, wartungsarmer und zukunftsfähiger Brückenneubauten in Ortbetonbauweise nach.

Die derzeit noch hohen Kosten für die eingesetzten Bewehrungsmaterialien müssen zur weiteren Etablierung der Bauweise noch auf ein akzeptables Niveau gesenkt werden. Die erwarteten Vorteile hinsichtlich Instandhaltungsaufwand und möglicher Lebensdauer sind aber beachtlich! Weiterhin führt die Bemessung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit oft zu hohen Bewehrungsmengen, die eine Ausnutzung der hohen Festigkeiten der Carbonbewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit verhindern. Daher sollte für zukünftige Projekte zusätzlich eine Vorspannung angestrebt werden. Da die nichtrostende Carbonfaserbewehrung kein alkalisches Milieu benötigt, können für Carbonbetonbauwerke auch ökologischere, zementreduzierte Betone verwendet werden.

Die im Rahmen des Projekts gewonnenen Erfahrungen bilden wichtige Grundlagen zur Weiterentwicklung und Standardisierung der Bemessung und Konstruktion entsprechender Brückenbauwerke. Dies betrifft insbesondere die Erarbeitung von standardisierten Konstruktionsdetails sowie die Anpassung der verfügbaren Bewehrungsgeometrien und Stabdurchmesser der Carbonstäbe an die Anforderungen des Brückenbaus.

Durch rechtzeitiges Einbinden aller am Vorhaben beteiligten Partner (Behörden, Planer, Hersteller und Ausführende) können auch innovative, nicht geregelte Baumaßnahmen erfolgreich und partnerschaftlich in herkömmlicher Projektzeit umgesetzt werden.

Literatur

[1] Naumann, J. (2011) *Brückenertüchtigung jetzt – Ein wichtiger Beitrag zur Sicherung der Mobilität auf Bundesfernstraßen*. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. [Hrsg.] *Studie im Auftrag von Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.* Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.; Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V., Berlin.

[2] BMVI (2020) *Stand der Modernisierung von Brücken der Bundesfernstraßen*. Bericht, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur [Hrsg.].

[3] Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH [Hrsg.] (2013) *Ersatzneubau Kommunale Straßenbrücken. Endbericht* [online]. https://www.bauindustrie.de/media/documents/Studie_Ersatzneubau-Bruecken.pdf [Zugriff am 30. Mär. 2023]

[4] DIN EN 206 (2021) *Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*; Deutsche Fassung EN 206:2013+A2:2021. Berlin: Beuth. Ausgabe Juni 2021.

[5] DIN 1045-2 (2008) *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1*. Berlin: Beuth. Ausgabe August 2008.

[6] Curbach, M.; Hegger, J.; Schladitz, F.; Tietze, M.; Lieboldt, M. (2023) *Handbuch Carbonbeton. Einsatz nichtmetallischer Bewehrung*. Berlin: Ernst & Sohn.

[7] Steinbock, O. (2021) *Verstärkung von Stahl- und Spannbetonbrücken mit Carbonbeton* [Dissertation]. Technische Universität Dresden. Erschienen in: Curbach, M.; Haller, P.; Häußler-Combe, U.; Kaliske, M.; Marx, S.; Stroetmann, R. [Hrsg.] *Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden (kid), Heft 63*.

[8] May, S.; Schumann, A.; Lorenz, E. (2022) *Erste Straßenbrücke aus Carbonbeton – Erfahrungen und Erkenntnisse aus Planung und Bau* in: Krieger, J.; Isecke, B. [Hrsg.] *Tagungs-*

handbuch zum 5. Brückenkolloquium. 06./07.9.2022 in Ostfildern, Ostfildern: TA Esslingen, S. 309–314.

[9] DIN EN 1991-2 (2010-12) *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken*; Deutsche Fassung EN 1991-2:2003 + AC:2010. Berlin: Beuth.

[10] DIN EN 1990:2010-12 (2010) *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010. Berlin: Beuth. Ausgabe Dezember 2010.

Autoren

Dr.-Ing. Enrico Lorenz (Korrespondenzautor)
el@cbing.de
cbing – Curbach Bösche Ingenieurpartner
Bergstraße 21a
01069 Dresden

Alexander Peter, M. Sc.
ap@cbing.de
cbing – Curbach Bösche Ingenieurpartner
Bergstraße 21a
01069 Dresden

Dipl.-Ing. Sebastian May
may@carbocon-gmbh.de
CARBOCON GmbH
Mohorner Straße 13
01159 Dresden

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bösche
tb@cbing.de
HTW Dresden/cbing
Bergstraße 21a
01069 Dresden

Zitieren Sie diesen Beitrag

Lorenz, E.; Peter, A.; May, S.; Bösche, T. (2023) *Planung und Neubau einer Straßenbrücke aus Carbonbeton – Carbonbeton „The Next Step“*. Beton- und Stahlbetonbau 118, H. 9, S. 705–712.
https://doi.org/10.1002/best.202300037