



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN

25

9./10. März 2015

DRESDNER
BRÜCKENBAU
SYMPOSIUM



© 2015 Technische Universität Dresden

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichnungen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
01062 Dresden

Redaktion: Silke Scheerer
Angela Heller

Layout: Ammar Al-Jamous

Anzeigen: Harald Michler

Titelgestaltung: Ulrich van Stipriaan

Auflage: 1.500 Stück

Druck: addprint AG, Am Spitzberg 8a, 01728 Bannewitz / Possendorf

ISSN 1613-1169
ISBN 978-3-86780-421-9

Tagungsband

25. Dresdner Brückenbausymposium

Institut für Massivbau
Freunde des Bauingenieurwesens e. V.

09. und 10. März 2015

Inhaltsverzeichnis

0 Herzlich Willkommen zum 25. Dresdner Brückenbausymposium	
<i>Magnifizenz Prof. Dr.-Ing. habil. DEng/Auckland Hans Müller-Steinhagen</i>	11
1 Überall Brücken – von der Vielgestaltigkeit eines Gedankens	
<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	15
2 Brückenbau in Deutschland – eine Auswahl zukünftiger Schwerpunkte	
<i>Dr.-Ing. Gero Andreas Marzahn</i>	33
3 25 Jahre Dresdner Brückenbausymposium – eine deutsche Erfolgsgeschichte	
<i>Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stritzke</i>	37
4 Bridge Architecture – from Structure to Elegance	
<i>Dr. Michel Virlogeux</i>	63
5 Fußgängerbrücken – Entwurf und Konstruktion	
<i>Dipl.-Ing. Andreas Keil</i>	69
6 Schlanke vorgespannte Fußgängerbrücke aus Textilbeton	
<i>Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger, Dipl.-Ing. Sergej Rempel, Dr.-Ing. Christian Kulas</i>	83
7 Pilotanwendungen von Textilbeton für Verstärkungen im Brückenbau	
<i>Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Jürgen Feix, Dipl.-Ing. Dr. Mario Hansl</i>	99
8 Gustave Magnel – ein Wegbereiter der Spannbetonbauweise	
<i>Prof. dr. ir. Luc R. Taerwe</i>	113
9 Integrale Brücken im Wandel der Zeit	
<i>Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner, Jaroslav Kohoutek M.Sc.</i>	131
10 Dynamisch über das Saale-Elster-Tal – Bemessung und Konstruktion einer Stabbogenbrücke für den Eisenbahnhochgeschwindigkeitsverkehr	
<i>Dipl.-Ing. Rolf Jung, Dipl.-Ing. Tobias Mansperger</i>	151
11 Sicherung der Rheinbrücke Leverkusen – Von der Schadensaufnahme zum Instandsetzungsmanagement unter Berücksichtigung der Altstahlproblematik	
<i>Dr.-Ing. Gero Marzahn, Dr.-Ing. Markus Hamme, Dr.-Ing. Peter Langenberg, Prof. Dr.-Ing. Gerd Groten, Dipl.-Ing. Michael Paschen</i>	163
12 Friedrichsbrücke Berlin – Denkmalgerechte Erneuerung und Anpassung der Friedrichsbrücke über die Spree – die Verbindung von zwei verschiedenartigen Brückenkonstruktionen	
<i>Dipl.-Ing. Michael Hänig, Dipl.-Ing. (FH) Andreas Höregott, Dipl.-Ing. Andrea Thoms</i>	181
13 Egg-Graben-Brücke, Wildbrücke AM2, Lafnitzbrücke – Anwendung von neuen Bauverfahren für Brücken in Österreich	
<i>Prof. Dr.-Ing. Johann Kollegger, Dipl.-Ing. Sara Foremniak, Dipl.-Ing. Benjamin Kromoser</i>	193

14 Feuerverzinken im Brückenbau – Anwendung und aktuelle Forschungsergebnisse	
<i>Holger Glinde</i>	217
15 Das Schwergutgewerbe – Großraum- und Schwertransporte, Autokrane, Brückenbau	
<i>Dipl.-Ing. Wolfgang Draaf</i>	229
16 Massivbrücken unter extremen Wetterbedingungen	
<i>Dr.-Ing. Dirk Proske</i>	239
17 Brückenbauexkursion 2014 – Spurensuche in Deutschland	
<i>Dipl.-Ing. Robert Zobel, Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm</i>	253
18 Chronik des Brückenbaus	
<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner</i>	265
19 Inserentenverzeichnis	
<i>Übersicht der Werbeanzeigen im Tagungsband</i>	287

6 Schlanke vorgespannte Fußgängerbrücke aus Textilbeton

Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger; Dipl.-Ing. Sergej Rempel

Lehrstuhl und Institut für Massivbau, RWTH Aachen

Dr.-Ing. Christian Kulas
solidian GmbH, Albstadt

Zusammenfassung

Textilbewehrter Beton (TRC, Textile Reinforced Concrete) ist ein innovativer Verbundwerkstoff, der Feinbeton und gitterartige Textilien als Ausgangsstoffe verwendet. Im Gegensatz zur Stahlbewehrung sind die Textilien nicht korrosionsgefährdet, sodass die Betondeckung auf wenige Millimeter reduziert werden kann. Daraus ergeben sich schlanke Betonkonstruktionen, die den Ansprüchen von Architekten und Planern entsprechen. Zusätzlich bieten sie ökonomische und wirtschaftliche Vorteile. Der Beitrag stellt eine realisierte Fußgängerbrücke vor, deren textilbewehrter Überbau eine Gesamtlänge von 97 m aufweist. Insbesondere wird dabei auf die Brückenkonstruktion und das Tragverhalten eingegangen.

6.1 Einleitung

Textilbewehrter Beton (TRC) ist ein innovativer Verbundwerkstoff, der Feinbeton und maschenartige technische Textilien als Ausgangsstoffe verwendet. Die textile Bewehrung wird aus alkaliresistentem Glas (AR-Glas) oder Carbon hergestellt und ist daher nicht korrosionsgefährdet. Dieser Vorteil erlaubt es, die Betondeckung bis auf wenige Millimeter zu reduzieren. Im Gegensatz zum Stahlbeton können so extrem schlanke Betonbauteile produziert werden.

Textilbeton eignet sich neben Verstärkungsmaßnahmen von bestehenden Bauwerken [1]-[2] und der Herstellung von Schalentragwerken [3] besonders für Fassadenplatten. Die geringe Betondeckung von etwa 10-15 mm reduziert das Gewicht um etwa 50 % im Vergleich zu einer herkömmlichen Stahlbetonfassade. Hegger et al. beschreiben in [4]-[8] die Anwendungsmöglichkeiten für

hinterlüftete Fassaden und Sandwichfassadenplatten wie auch das Tragverhalten von Textilbetonbauteilen [9]. Eine weitere Anwendung ist der Einsatz von Textilbeton bei Bauwerken mit Chloridangriff, hervorgerufen durch eine Frost-Tausalz-Beanspruchung. Ein Beispiel dafür ist die Fertigteil-Fußgängerbrücke, die in diesem Beitrag behandelt wird.

Vorhandene betonstahlbewehrte Brücken weisen oft Schäden auf, die infolge von Stahlkorrosion eintreten. Ein Grund hierfür ist eine zu geringe Betondeckung, die nach früheren Anforderungen festgelegt wurde. Die minimale Deckung, die in den älteren Normen verlangt wurde, ist nicht in der Lage, die Stahlbewehrung vor Korrosion durch Chloridangriffe zu schützen. Die Konsequenzen sind Risse und Betonabplatzungen. Diese Schäden sind nicht nur optische Mängel, sondern beeinflussen das Tragverhalten negativ. Als Folge können solche Bauwerke nur mit einem enormen Kostenaufwand saniert werden. In einigen Fällen sind sogar der Abriss und ein anschließender Neubau des Bauwerks wirtschaftlicher. Ein Beispiel dafür ist die Fußgängerbrücke über eine Bundesstraße in Albstadt (Bild 6.1). Die ursprüngliche Brücke musste aufgrund erheblicher Korrosionsschäden (Bild 6.2) durch eine neue ersetzt werden (Bild 6.1).

Die Anforderungen an die Bewehrung infolge der Frost-Tausalz-Beanspruchung führten zu einem Querschnittsentwurf aus Textilbeton, da die textile Bewehrung resistent gegen den Chloridangriff ist. Des Weiteren konnte die Betondeckung auf 15 Millimeter reduziert werden, was zu einem schlanken, leichten und scharfkantigen Bauwerk mit einer hohen Betonoberflächenqualität führte. Im Gegensatz zu herkömmlichen Stahlbeton- und Spannbetonbauten war eine bituminöse Beschichtung auf der befahrbaren Oberfläche der Brücke nicht erforderlich, da ein gefügedichter Beton hoher Festigkeitsklasse verwendet wurde. Folglich werden Sanierungsarbeiten erheblich reduziert, da der übliche Austausch der Bitumenabdichtung nicht erforderlich wird.

Dieser Beitrag informiert im Detail über die Konstruktion der knapp einhundert Meter langen Textilbetonbrücke. Es werden die Materialien, Ergebnisse der Bemessung und experimentelle Untersuchungen vorgestellt.



Bild 6.1: Ansicht der neuen Textilbetonfußgängerbrücke in Albstadt [Foto: Groz-Beckert]



Bild 6.2: Ursprüngliche Fußgängerbrücke in Albstadt mit Korrosionsschäden [Foto: Groz-Beckert]

6.2 Materialien

6.2.1 Textile Bewehrung

Im Textilbeton werden gitterartige Textilien aus AR-Glas- oder Carbonfilamenten als Bewehrung verwendet. Gries et al. [10] beschreiben die Herstellung und die Materialeigenschaften der Textilien. Carbon hat den Vorteil der hohen Zugfestigkeiten von etwa 3000 N/mm^2 . Allerdings war es während der Planungsphase nur bedingt verfügbar. Zudem liegen die Materialkosten im Vergleich zu AR-Glas deutlich höher. Aus diesen Gründen wurde AR-Glas für die textile Bewehrung der Fußgängerbrücke verwendet. Die AR-Glas-Rovings, die aus hunderten Filamenten bestehen, werden schließlich zu Textilgelegen verarbeitet (Bild 6.3 und 6.4).

Die Abstände der Rovings des Textils für die Textilbetonbrücke betragen gemäß Bild 6.4 zwischen 5 mm und 15 mm. Im letzten Produktionsschritt wird die Textilmatte mit Epoxidharz ge-

tränkt. Es sorgt dafür, dass die inneren Filamente beim Lastabtrag aktiviert werden. Dabei penetriert das Harz tief in den Kern des Rovings, verbindet die Filamente miteinander und erzeugt somit einen homogenen Querschnitt. Durch die hohe Anzahl der aktivierten Filamente wird die Zugfestigkeit im Vergleich zu ungetränkten Textilien verdoppelt. Die Betonmatrix wäre nicht in der Lage die Filamente miteinander zu verbinden, da der benötigte Raum zwischen den wenigen Mikrometern dünnen Filamenten nicht vorhanden ist.

Nach der Tränkung müssen die Textilien unter hohen Temperaturen aushärten. Dafür gibt es zwei verschiedene Methoden. Entweder findet die Temperaturbehandlung direkt nach der Tränkung statt, oder es wird zuerst ein duroplastisches Harz aufgetragen und anschließend erfolgt die Aushärtung unter hohen Temperaturen. Bei der ersten Variante wird das Textil durch eine Wanne mit flüssigem Epoxidharz gezogen. Im direkten Anschluss erfolgt die Aushärtung im Trockenturm bei Temperaturen um 160°C . Diese Methode wird vor allem

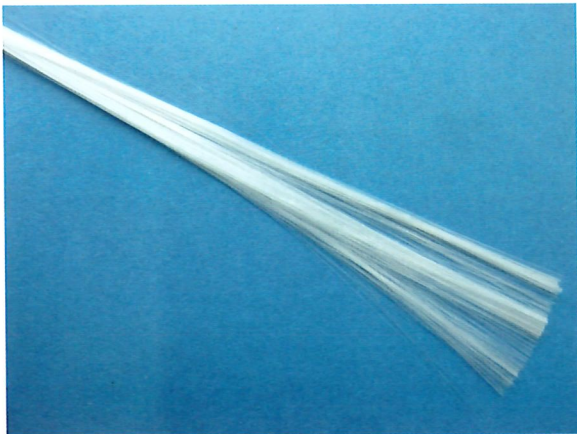


Bild 6.3: Detailaufnahme eines Rovings; hergestellt aus hunderten von AR-Glas-Filamenten

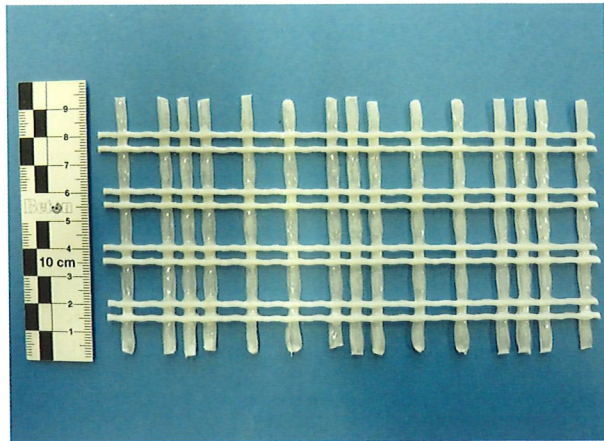


Bild 6.4: Textilgelege bzw. Textilmatte

zur Herstellung von ebenen Textilmaten angewendet. Die Tränkung mit dem duroplastischen Harz wird für die Produktion von Bewehrungsformen, z. B. von Stegprofilen gemäß Bild 6.5, verwendet. Dabei verbleibt das Harz zunächst in einer sogenannten B-Phase, in der es noch nicht ausgehärtet ist und deshalb formbar bleibt. Hierfür legt man das getränkte Textil in eine beliebige Schalungsform und härtet es im letzten Schritt bei Temperaturen um 180 °C über einen Zeitraum von etwa 20 min aus [11].

Getränkte Textilmaten sind robust und weisen eine gute Handhabung und Bearbeitbarkeit auf. Diese Eigenschaften werden für eine praxistaugliche Massenproduktion bei der Fertigteilherstellung benötigt. Des Weiteren erhöht die Tränkung die Dauerhaftigkeit der AR-Glas Bewehrung. Raupach et al. [12], [13] beschreiben die Vorteile der getränkten Textilien im Vergleich zu den nicht getränkten. Die wichtigsten Materialeigenschaften der bei der Brücke Albstadt verwendeten AR-Glas-Textilien sind in Tabelle 6.1 zusammengefasst.

6.2.2 Feinbeton

Aufgrund der geringen Maschenöffnungen wurde eine Betonrezeptur mit kleinem Größtkorn verwendet, um eine gute Betonierbarkeit der Textilien sicherzustellen. Der Feinbeton wurde im Sonderforschungsbereich 532 (SFB 532) an der RWTH Aachen entwickelt [14]. Während im SFB 532 ein Größtkorn von 0,6 mm eingesetzt wurde, enthielt die Betonzusammensetzung bei der Textilbetonbrücke ein Größtkorn von 4 mm. Ein größerer

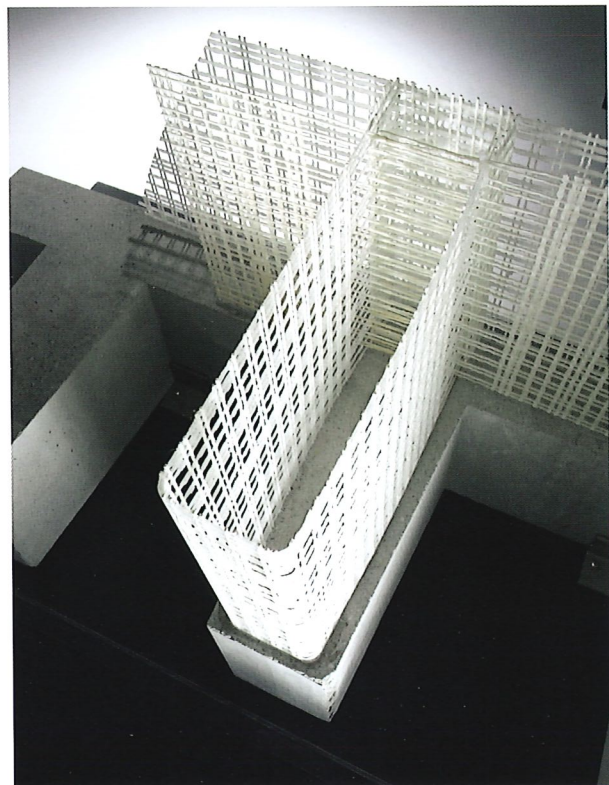


Bild 6.5: Formbewehrung für die Stegprofile [Foto: Groz-Beckert]

Durchmesser des Korns verringert den Zementanteil und verbessert die Verarbeitbarkeit. Die Betonrezeptur wurde in Zusammenarbeit des Fertigteilwerks Sebastian Wochner GmbH & Co. KG aus Dormettingen und dem Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (ibac) entwickelt [15]. Die wich-

Tabelle 6.1: Textileigenschaften

Eigenschaften		Einheit	
Material		-	AR-Glas
Roving	Hersteller	-	OCV™ Reinforcement
	Bezeichnung	-	LTR 5325
	Titer	tex	3600 (= 1200 + 2400)
	E-Modul	N/mm ²	64800
Beschichtung		-	Epoxidharz (Hexion Speciality Chemicals, Inc)
Rovingabstand	0 ° / 90 °	mm	5; 15 / 7,5; 15
Bewehrungsquerschnitt	0 ° / 90 °	mm ² /m	134 / 119
Zugfestigkeit (Textil im Beton, Mittelwert)	0 ° / 90 °	N/mm ²	1035 / 1194

Tabelle 6.2: Betoneigenschaften des Frisch- und Festbetons des verwendeten Betons M9-15 im Vergleich zu anderen Feinbetonen [15]

Eigenschaften	Einheit	M9-15	SFB 532 (Referenz)	M1 (Referenz)
Äquivalenter w/b-Wert	-	0,41	0,47	0,45
Ausbreitmaß	mm	750	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Luftgehalt	Vol.-%	2,8	0,4	nicht bestimmt.
Frischbetonrohddichte	kg/m ³	2256	2239	2490
Würfeldruckfestigkeit (28 d)	N/mm ²	87,1	nicht bestimmt	68,7
Biegezugfestigkeit (28 d)		10,7	7,6	8,9
E-Modul (28 d)		33600	33000	37200
pH-Wert der Porenlösung (28 Tage nach der Herstellung)	-	13,2	13,5	14,0

tigsten Materialeigenschaften sind in der Tabelle 6.2 zusammengefasst.

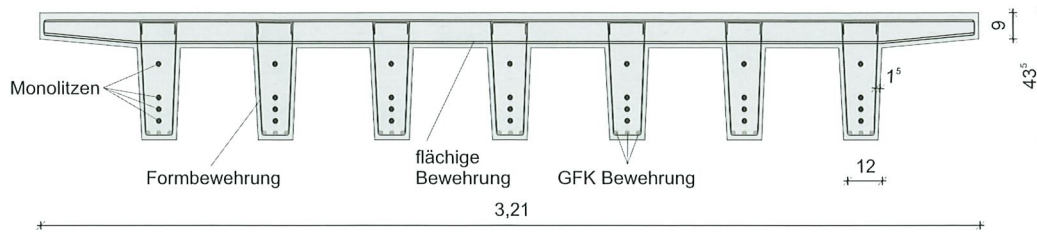
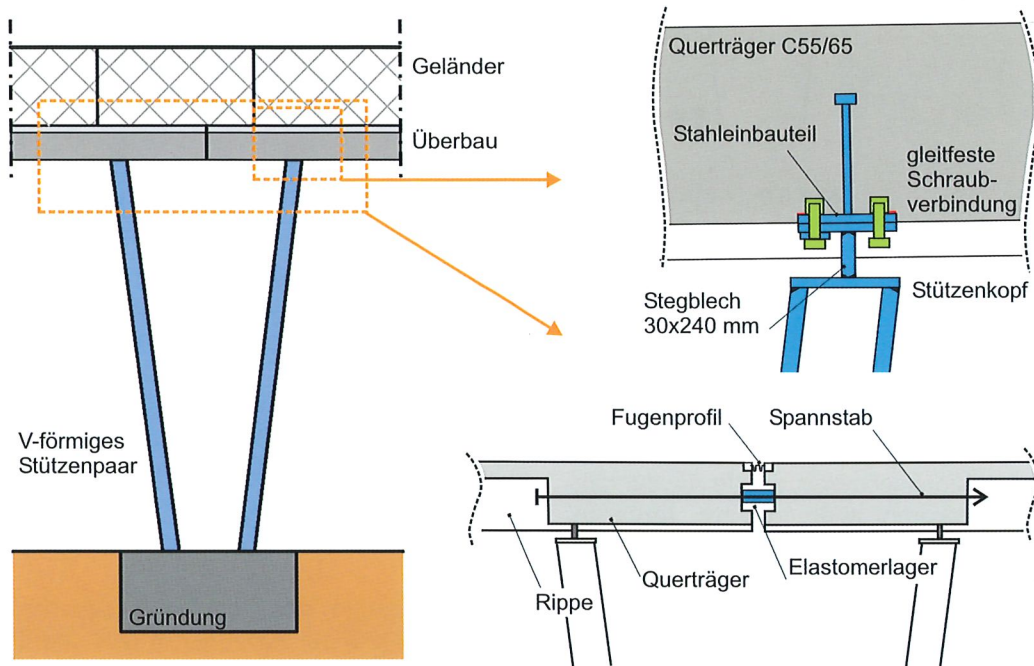
6.3 Brückendaten und Konstruktionsdetails

Die Fußgängerbrücke mit einer Gesamtlänge von 97 m besteht aus sechs Fertigteilen mit Längen von 11,8 m bzw. 16,1 m in den Endfeldern und jeweils 17,2 m in den Mittelfeldern. Jedes Bauteil wurde im Fertigteilwerk mit einem konstanten Radius von $R=112,5$ m hergestellt und anschließend auf der Baustelle auf Stahlrohrstützen gelagert. Aufgrund der schräggestellten Stützen wird eine effektive Spannweite von 15,05 m erreicht. Der Überbauquerschnitt ist ein 7-stegiger Plattenbalken mit einer Breite von 3,21 m (Bild 6.6). Jeder Steg wurde mit vier Monolitzen vorgespannt und mit ei-

nem einlagigen Textil bewehrt. Zusätzlich werden drei GFK-Stäbe in die Zugzone eingelegt.

Die textile Bewehrung der Stege besteht aus U-Profilen, in die die untere Zugbewehrung eingelegt wird. Die U-Profile werden in der Platte verankert, wobei die Rovings bis in die oberste Bewehrungslage geführt werden. Während die Zugkraft infolge der Biegebelastung von den GFK-Stäben, der textilen Bewehrung und den Monolitzen aufgenommen wird, besteht die Querkraftbewehrung ausschließlich aus den U-Profilen.

Die Betondeckung von 15 mm wurde an das Größtkorn und die Einbautoleranzen angepasst. Sie ist ausreichend, um den Verbund der textilen Bewehrung mit dem Beton sicherzustellen. Die Betondeckung und der geringe Biegerollendurchmesser der Bewehrung von etwa 8 mm lassen eine minimale Stegbreite von nur 120 mm zu. Die Plattendicke beträgt am Kragarmende 90 mm und wächst

**Bild 6.6:** Querschnitt des Textilbeton-Überbaus [16]**Bild 6.7:** Detail der Überbaufugen und des Stützenkopfanschlusses [16]

zur Mitte auf 120 mm an. Dabei ist die oberste Schicht von etwa 10 mm als Verschleißschicht gegen mechanische Beanspruchung durch Fußgänger, Fahrradfahrer oder Schneeräumfahrzeuge vorgesehen. Darüber hinaus werden keine weiteren Deckschichten benötigt, sodass eine Gesamtquerschnittshöhe von 43,5 cm entsteht. Damit hat die Konstruktion eine Schlankheit von $H : L = 1 : 35$.

An jedem Mittelaufleger wurden die Fertigteile durch vier V-förmig angeordnete Stahlstützen unterstützt. Die Fertigteile werden zwischen den Stützen mit jeweils zwei vorgespannten Gewindestäben und Elastomerlagern gekoppelt, sodass eine teilweise Einspannung entsteht (Bild 6.7). Die Vorspannkraft im Gewindestab sorgt dafür, dass das Elastomerlager auch nach Kriechen und Schwinden des Betons unter Bemessungslasten überdrückt bleibt. Auf diese Weise wurde in Brückenlängsrichtung eine teilweise Durchlaufwirkung erzeugt, die zur Erhöhung der Steifigkeit in Längsrichtung führt.

Der Überbau ist an den Stützenköpfen über ein Stahleinbauteil direkt mit den Stahlstützen verbunden. An den Widerlagern ist der Überbau auf Elastomerlagern gelagert, die in Brückenlängsrichtung verschieblich sind. In Brückenlängsrichtung liegt somit eine schwimmende Lagerung vor. Die Lastweiterleitung in den Baugrund erfolgt in den Achsen 1 bis 5 durch eine Pfahlgründung mit Pfahlkopfplatte. An den Endauflagern wurden in Abhängigkeit von der Geländegeometrie Kastenwiderlager mit Flachgründungen ausgebildet (Bild 6.8).

6.4 Bemessung

6.4.1 Einwirkung

Die Randbedingungen und die erforderlichen Einwirkungen für die Bemessung der Brückenkonstruktion wurden auf Basis des DIN-Fachberichts

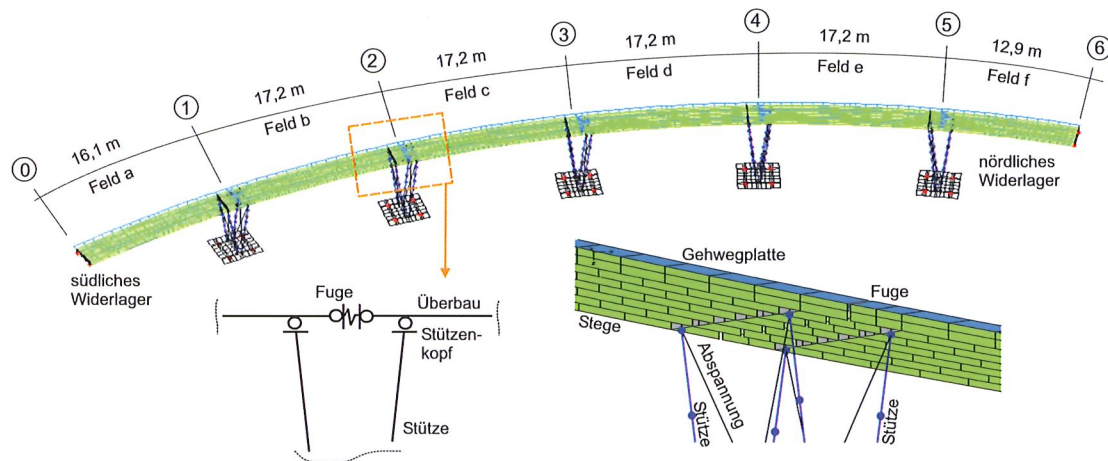


Bild 6.8: Dreidimensionales Finite-Elemente-Modell [16]

101 [17] festgelegt. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit wurde neben Eigengewicht, Vorspannung, Kriechen und Schwinden, Fußgängerlast sowie Wind- und Schneelast ein Servicefahrzeug (Schneeräumung) mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 5 t angesetzt.

Der Dekompressionsnachweis wurde für die häufige Einwirkungskombination geführt (Anforderungskategorie B) [18]. Dabei wurde für die Fußgängerlast ein reduzierter Kombinationsbeiwert $\psi_0 = \psi_1 = 0,3$ festgelegt. Die zulässige Rissbreite $w_k \leq 0,3$ mm für die seltene Einwirkungskombination konnte in den Bauteilversuchen nachgewiesen werden. Zusätzlich wurde in Anlehnung an Eurocode 5 [19] ein Schwingungsnachweis geführt.

Tabelle 6.3 gibt einen Überblick über die geführten Nachweise und die zugehörigen Einwirkungen.

gekrümmten Grundrisses der Brücke unterscheiden sich die Momentenbeanspruchungen der Stege. Mit zunehmendem Radius erhöhen sich die Stützweite und damit die Beanspruchung. Mit der Vergrößerung des inneren statischen Hebelarmes der Kräfte aus Vorspannung konnte dem entgegen gewirkt werden. In Bild 6.9 ist die Querschnittsausnutzung beispielhaft für das Endfeld "a" dargestellt.

Die Bemessung des Textilbetonquerschnitts erfolgte nach [20] auf Basis der in [21] und [22] vorgestellten Modelle zum Tragverhalten von textiltbewehrtem Beton. Der Einfluss der Vorspannung ohne Verbund auf die Querkrafttragfähigkeit wurde nach [23] abgeschätzt und durch experimentelle Untersuchungen überprüft [24].

6.4.2 Querschnittstragfähigkeit

Die inneren Kräfte, Betonspannungen und die Schnittgrößen infolge der Lastfälle einschließlich der Vorspannung wurden mit einem 3D-Finite-Elemente-Modell ermittelt (Bild 6.8). Dafür wurden der Überbau und die Fundamente mit Schalenelementen abgebildet. Für die Stahlrohrstützen wurden Biegestäbe implementiert, die auch die Steifigkeit des Stützenkopfs berücksichtigen. Mit dem Modell wurden sowohl die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit, wie auch im Gebrauchszustand geführt. Zusätzlich konnte das Schwingungsverhalten damit analysiert werden.

Mit Hilfe einer Spannungsintegration aus dem FE-Modell wurden die inneren Kräfte (M, N, V) für die einzelnen Stege bestimmt. Aufgrund des

6.5 Experimentelle Untersuchungen

Da Textilbeton zu Beginn der Planung der Brücke bauaufsichtlich nicht geregelt war, musste die Fußgängerbrücke im Rahmen einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) genehmigt werden. Als Grundlage für die Genehmigung wurden umfangreiche Untersuchungen am Institut für Massivbau (IMB) und am Institut für Bauforschung (ibac) der RWTH Aachen durchgeführt. Exemplarisch werden das Tragverhalten der Fahrbahnplatte in Brückenquerrichtung sowie das Tragverhalten des Plattenbalkens in Brückenlängsrichtung beschrieben.

Tabelle 6.3: Einwirkungen

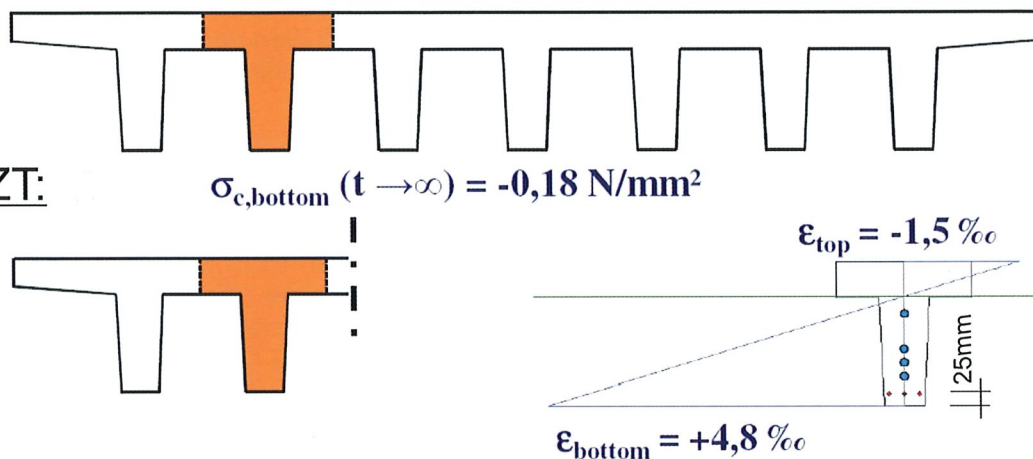
Nachweis	Einwirkung
Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)	Eigengewicht
	Verkehrslasten (Fußgänger, Wind)
	Schneeräumfahrzeug (5 t)
Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)	Dekompressionsnachweis (häufige Einwirkungskombination)
	Rissbreite ($w_k \leq 0,3$; seltene Einwirkungskombination)
Erdbeben	Erdbebenzone 3 ($a = 0,8 \text{ m/s}^2$)
Schwingungsverhalten	Grenze der vertikalen Beschleunigung $a_v \leq 0,7 \text{ m/s}^2$
	Grenze der horizontalen Beschleunigung $a_h \leq 0,2 \text{ m/s}^2$

GZG:

$$\sigma_{c,top}(t \rightarrow \infty) = -11,14 \text{ N/mm}^2$$

GZT:

$$\sigma_{c,bottom}(t \rightarrow \infty) = -0,18 \text{ N/mm}^2$$

**Bild 6.9:** Nachweis der Dekompression (GZG) und Dehnungsverteilung unter Bemessungslasten (GZT) [16]

6.5.1 Tragverhalten der Fahrbahnplatte (Brückenquerrichtung)

Das Tragverhalten der Fahrbahnplatte wurde mit Vier-Punkt-Biegeversuchen ermittelt. Die Abmessungen der Versuchskörper entsprachen dabei denen des tatsächlichen Brückenquerschnitts. Allerdings wurde die 10 mm dicke Verschleißschicht bei den Versuchskörpern nicht angesetzt, sodass ein Querschnitt mit einer reduzierten Gesamthöhe von 110 mm geprüft wurde. Das Tragverhalten des Kragarms wurde mit dem Versuchsaufbau, der in Bild 6.10 dargestellt ist, untersucht.

Aufgrund des hohen Längsbewehrungsgrades und der fehlenden Querkraftbewehrung in der Fahrbahnplatte versagten alle Versuchskörper infolge der Schubbelastung. In Bild 6.11 ist das Rissbild des Versuchskörpers auf der Zugseite kurz vor dem Versagenszustand zu erkennen. Alle Versuchskörper weisen ein fein verteiltes Rissbild auf. Die Rissabstände liegen zwischen 1 und 3 cm.

In Bild 6.12 ist der diagonale Versagensriss nach Überschreiten der maximalen Prüfkraft gut zu erkennen. Im Bruchzustand öffnete sich dieser Biegeschubriss, der sich zu einem horizontalen Riss auf Höhe der unteren Bewehrungslage weiterentwickelte. Dieses Bauteilverhalten kann an Stahlbetonplatten ohne Schubbewehrung ebenfalls beobachtet werden.

Bild 6.13 zeigt die auftretenden Textilspannungen in Abhängigkeit der zugehörigen Verformungen der Versuchskörper. Vergleicht man die erreichten Textilspannungen im Vier-Punkt-Biegeversuch mit den Spannungen im Dehnkörperversuch, die in Tabelle 6.1 angegeben sind, so stellt man fest, dass diese um etwa 45 % überschritten werden. Die mittlere Textilspannung im Biegeversuch beträgt etwa 1500 N/mm^2 . Hegger und Voss [25] erklären diesen Effekt mit der Aktivierung der inneren Filamente, die durch die Umlenkung an der Rissante beansprucht werden. Dieser Effekt ist bei den getränkten Textilien nicht maßgebend. Eher ist hier

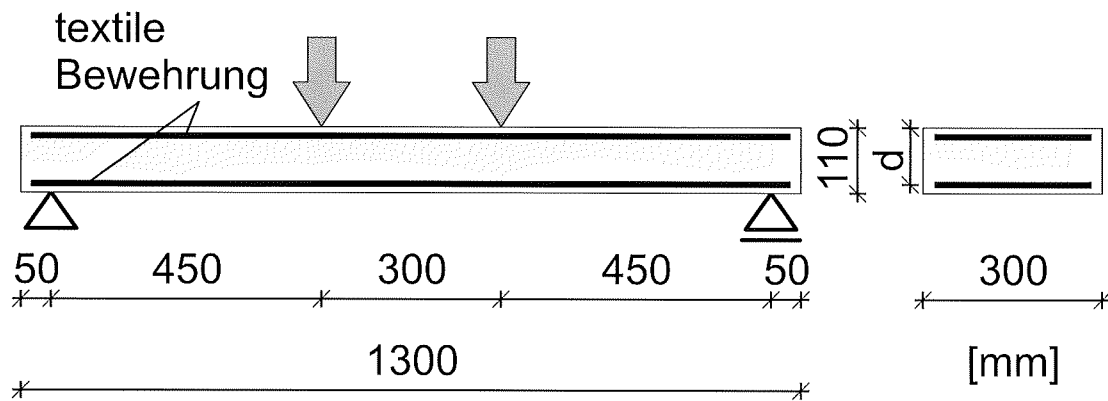


Bild 6.10: Versuchsaufbau (Fahrbahnplatte); Vier-Punkt-Biegeversuch

auf einen verbesserten Verbund zwischen den Textilien und dem Beton zu schließen. Zurzeit werden die genauen Ursachen dieses Effekts untersucht.

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) wird vom Bauherrn eine zulässige Rissbreite $w_k = 0,3$ mm gefordert. Dieses Kriterium wird im Gebrauchszustand erfüllt, da der Prüfkörper ungerissen bleibt. Der globale Sicherheitsfaktor zwischen der Einwirkung E_k und dem charakteristischen Widerstand R_k beträgt $\eta_{global} = 5,0$.

6.5.2 Tragverhalten der Plattenbalken (Brückenlängsrichtung)

Mit dem Versuchsaufbau gemäß Bild 6.14 wurde das Querkrafttragverhalten der Fußgängerbrücke in Längsrichtung untersucht. Der Versuchskörper wurde vereinfachend mit drei anstelle der tatsächlich sieben Stege geprüft. Die Versuchsergebnisse wurden im Anschluss auf sieben Stege extrapoliert. Während des Versuchs betrug der Abstand der Lasteinleitung zum Auflager 1,2 m. Das entspricht einer Schubslankheit von $a/d = 3,0$.

Der Bruchzustand war durch ein Versagen der Betondruckzone gekennzeichnet (Bild 6.15). Im Gebrauchszustand blieb der Versuchskörper ungerissen. Auf der horizontalen Achse in Bild 6.16 ist die bezogene Durchbiegung angegeben. Man erkennt, dass die Versuchskörper sehr große Verformungen zwischen 1/200 und 1/150 im Tragfähigkeitszustand (GZT) erreichen können. Eine hohe Verformung und ein ausgeprägtes Rissbild deuten das Versagen des Prüfkörpers frühzeitig an (Bild 6.15). Wie schon bei den Tragfähigkeitsuntersuchungen der Fahrbahnplatten in Querrichtung konnte auch hier ein globales Sicherheitsniveau von $\eta_{global} = 5,0$ erzielt werden.

6.5.3 Tragverhalten der Brücke im Originalmaßstab

Zusätzlich zu den Versuchen an 7 m langen Probekörpern unter Laborbedingungen wurde ein Biegeversuch am realen Brückenquerschnitt durchgeführt. Das 17,2 m lange und 3,21 m breite Brückensegment wurde im Hof des Fertigteilwerks mit Betonblöcken belastet. Die Gewichte wurden dabei schrittweise auf einer Fläche von 2,0 m x 3,21 m aufgebracht (Bild 6.17). Ab einer Masse von etwa 83 t (2.800 kNm), das entspricht ungefähr 80 % der maximal aufgetragenen Belastung, konnte eine Rissbreite von 0,3 mm gemessen werden. Diese maximal zulässigen Rissbreiten traten erst bei mehr als der doppelten rechnerisch ermittelten Belastung auf, wobei die Rissbildung bei 1.200 kNm auftreten sollte.

Die maximale Masse, die auf das Brückensegment aufgebracht worden ist, betrug 103 t (Bild 6.18 und Bild 6.19). Eine Erhöhung der Belastung war aus Sicherheitsgründen nicht möglich, da die aufeinander gestapelten Betonblöcke eine kritische Höhe erreicht hatten und umzustürzen drohten. Bei dieser Last von 103 t konnte eine Verformung in Feldmitte von knapp 0,5 m gemessen werden. Die maximale Rissbreite betrug 0,6 mm.

6.6 Bauausführung

Nach der Herstellung der sechs Brückenelemente Anfang 2010 und der Anlieferung auf die Baustelle wurde die 97 m lange Brücke innerhalb von zwei Tagen errichtet. Bild 6.20 zeigt den Montageablauf, Bild 6.21 die Brücke während der Montage.

Aufgrund der erforderlichen Genauigkeit erfolgte die Montage mit Hilfe von Rüsttürmen, die zu-

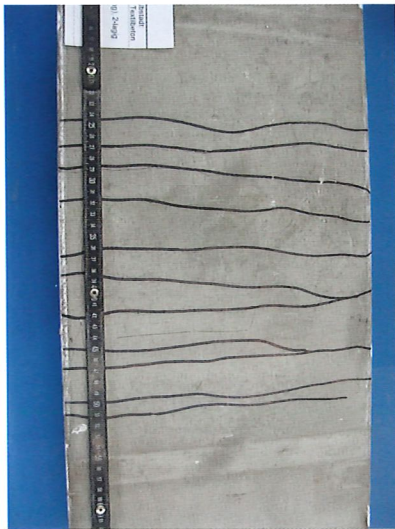


Bild 6.11: Fahrbahnplatte im Vier-Punkt-Biegeversuch: Rissbild

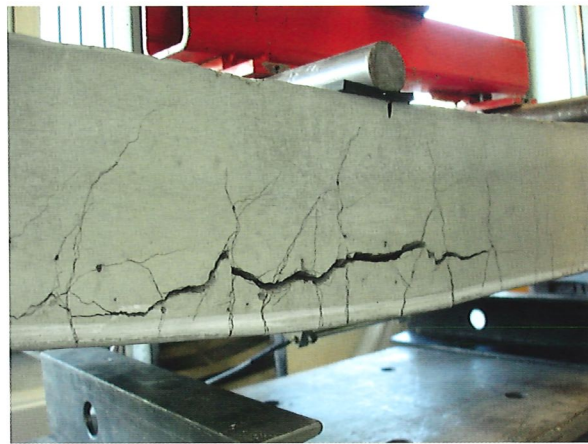


Bild 6.12: Fahrbahnplatte im Vier-Punkt-Biegeversuch: Versagenszustand

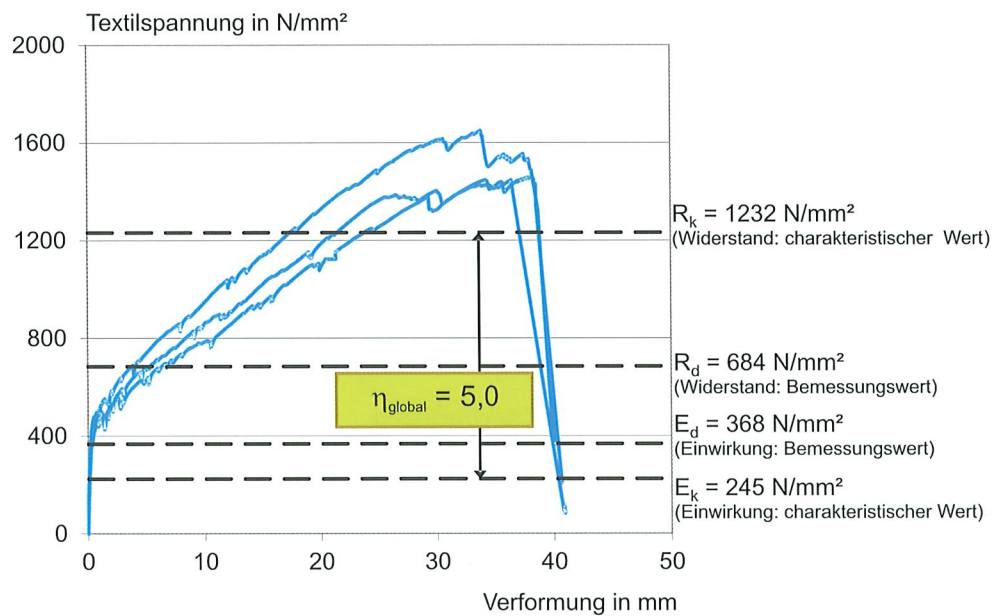


Bild 6.13: Textilspannungs-Verformungsdiagramm (Fahrbahnplatte, Vier-Punkt-Biegeversuch) [24]

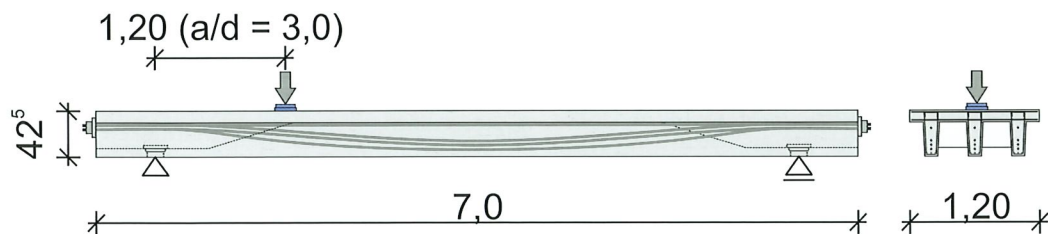


Bild 6.14: Plattenbalken: Versuchsaufbau zur Überprüfung der Querkrafttragfähigkeit [24]

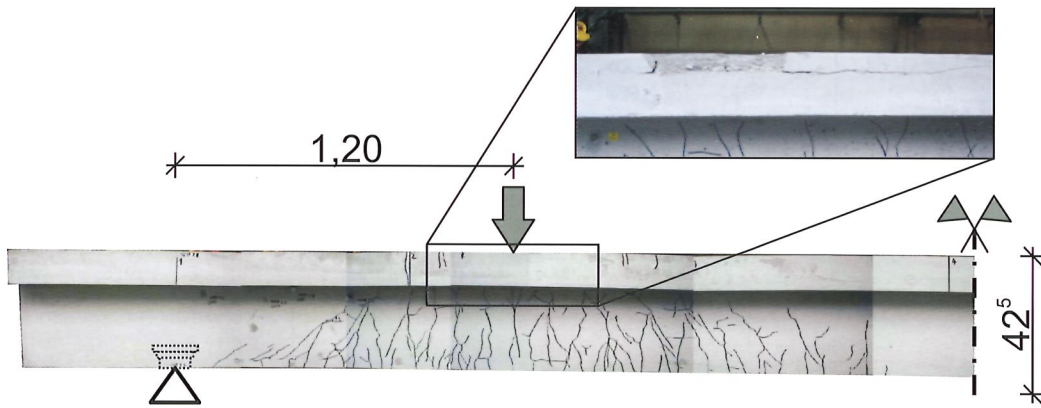


Bild 6.15: Plattenbalken: Rissbild und Bruchzustand (Versagen der Betondruckzone) [24]

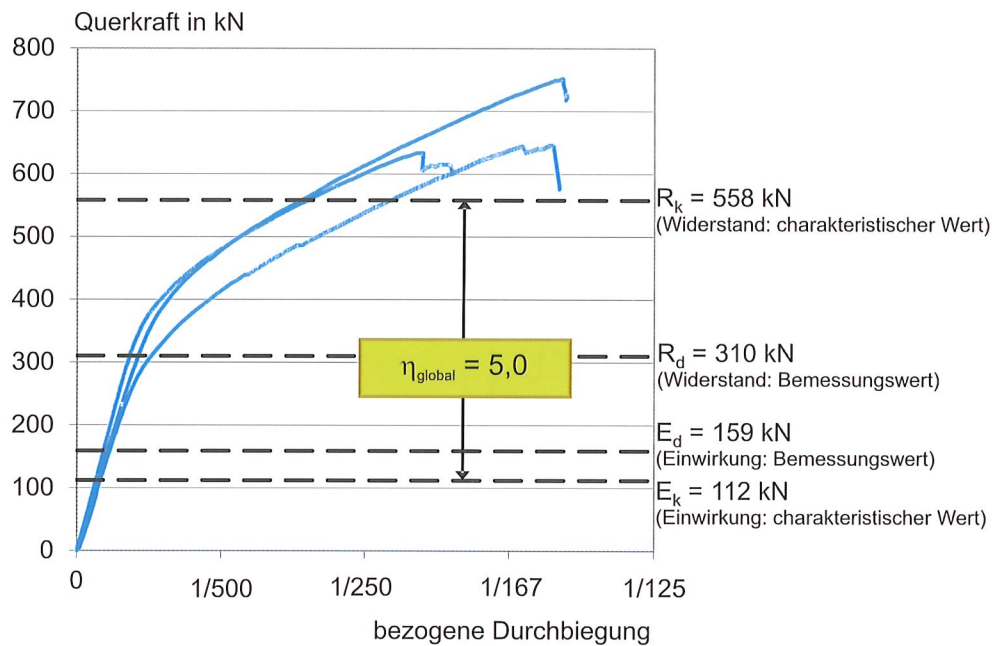


Bild 6.16: Querkraft-Verformungsdiagramm (Plattenbalken) [24]

sätzlich die Lastabtragung der Vertikal- und Horizontallasten während der Montage übernehmen. Nach der Errichtung der Türme wurden zunächst die Stahlrohrstützen in den Fundamentköchern positioniert. Um eine zwängungsfreie Montage und Ausrichtung der Brückenelemente sicherzustellen, wurden die Fertigteile in Längsrichtung auf Gleitplatten gelagert. Ausgehend vom mittleren Brückenfeld wurden die Stabanker in den Fugen gekoppelt. Im vorletzten Arbeitsschritt wurden die Stützen angehoben, ausgerichtet und mit dem Überbau verschraubt. Zum Schluss wurden die Fundamentaussparungen zur Stützensicherung vollständig betoniert.

6.7 Zusammenfassung

Aufgrund der korrosionsbeständigen technischen Textilien können Tragwerke aus Textilbeton im Vergleich zu Stahlbetonbauteilen deutlich schlanker ausgeführt werden. Dies wird eindrucksvoll durch die bisher realisierten Bauwerke verdeutlicht. Das Beispiel der 97 m langen Textilbetonbrücke zeigt, dass Textilbeton auch für großformatige Bauwerke mit komplexem Tragverhalten geeignet ist.

Um Erkenntnisse zum Dauerstandverhalten gewinnen zu können, wurde auf dem Gelände des Fertigteilwerks ein Brückensegment aufgebaut. Im Winter wird es mit einem Schneeräumfahrzeug belastet und gleichzeitig mit Tausalz bestreut.

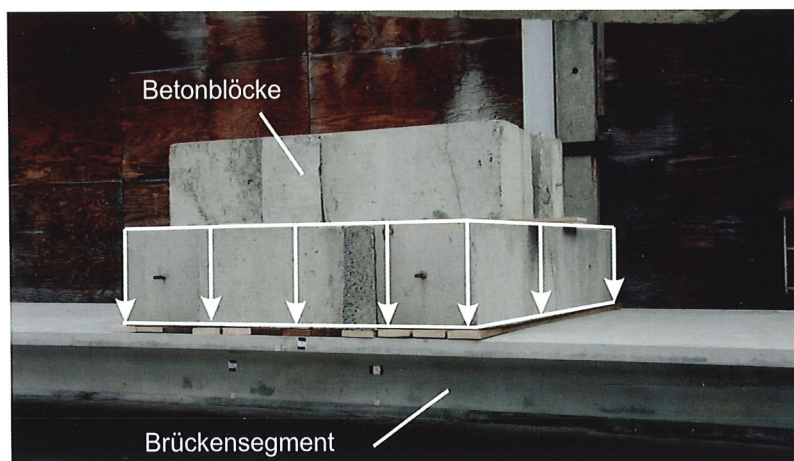


Bild 6.17: Betonblöcke für die Tragfähigkeitsuntersuchungen am realen Brückensegment

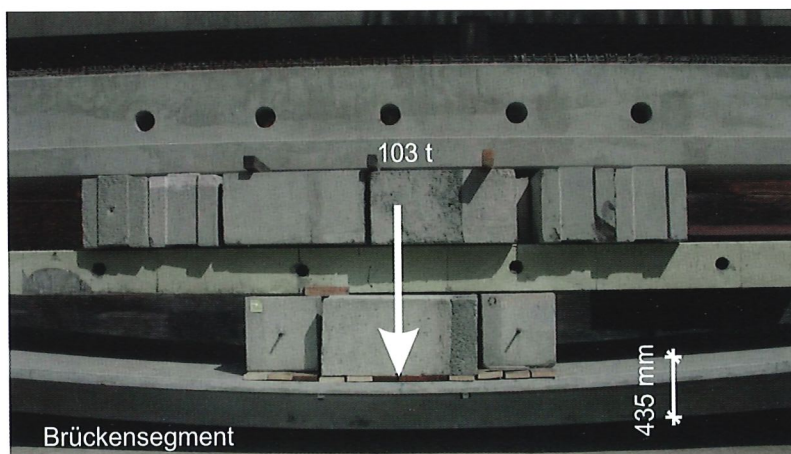


Bild 6.18: Verformung des Brückenfertigteils: Seitenansicht



Bild 6.19: Verformung des Brückenfertigteils: Längsansicht

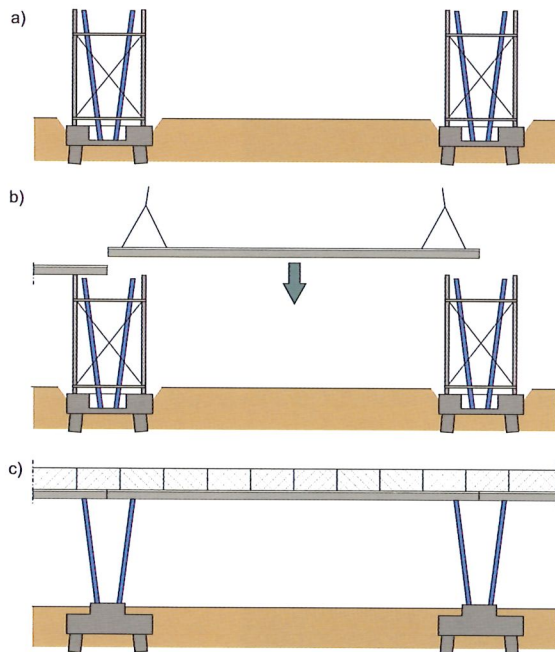


Bild 6.20: Hauptarbeitsschritte bei der Brückenmontage: a) Aufbau der Rüsttürme und Stahlrohrstützen, b) Einheben der Überbauten und Ausrichten auf den Rüsttürmen, c) Betonieren der Fundamentaussparungen [16]



Bild 6.21: Fertigteilbrücke während der Montage [Foto: Groz-Beckert]

Tabelle 6.4: Projektbeteiligte

Projektbeteiligte	Funktion
Groz-Beckert KG / Stadt Albstadt	Bauherr
Hartwig N. Schneider, Stuttgart	Architektonischer Entwurf
H+P Ingenieure GmbH & Co. KG, Aachen	Tragwerksplanung
Sebastian Wochner GmbH & Co. KG, Dormettingen	Ausführende Firma
RWTH Aachen Institut für Massivbau, Prof. Hegger	Gutachten zur Zustimmung im Einzelfall Tragverhalten
Institut für Bauforschung, Prof. Brameshuber	Betonentwicklung
Bornscheuer Drexler Eisele	Statische Prüfung
Regierungspräsidium Tübingen	Genehmigung, Zustimmung im Einzelfall

Mögliche auftretende Veränderungen und Verformungen werden dokumentiert und mit den zulässigen Werten verglichen.

Dank

Die Autoren bedanken sich bei der Stadt Albstadt für die Unterstützung und Realisierung dieses Pilotprojektes. Dank gilt auch der Sebastian Wochner GmbH & Co. KG Dormettingen (Fertigteilwerk), der H+P Ingenieure GmbH & Co. KG Aachen (statische Berechnungen), dem Regierungspräsidium in Tübingen und hns architect Stuttgart (architektonischer Entwurf) für die erfolgreiche Zusammenarbeit. Das Projekt wurde durch eine großzügige Unterstützung der Groz-Beckert KG finanziert, die damit die Möglichkeiten des Textilbetons aufzeigen möchte. Groz-Beckert unterstützt außerdem den Wissenstransfer im Bereich Textilbeton zwischen Forschung und Industrie. Mit dem Tochterunternehmen solidian werden Produkte aus und für Textilbeton entwickelt und vertrieben.

Gedankt sei auch der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 532 "Textilbewehrter Beton – Grundlagen für die Entwicklung einer neuartigen Technologie" und der Transferprojekte T07, T08 und T09 an der RWTH Aachen.

6.8 Literaturverzeichnis

- [1] CURBACH, M.; ORTLEPP, R.; SCHEERER, S.; FRENZEL, M.: Verstärken mit Textilbeton – Weg von der Vision zur Anwendung. Der Prüingenieur 39 (2011) 39, S. 32-44.
- [2] SCHLADITZ, F.; LORENZ, E.; CURBACH, M.: Biegetragfähigkeit von textilbetonverstärkten Stahlbetonplatten. Beton- und Stahlbetonbau 106 (2011) 6, S. 377-384 – DOI: 10.1002/best.201100002.
- [3] SCHOLZEN, A.; CHUDоба, R.; HEGGER J.: Dünnwandiges Schalentragsystem aus textilbewehrtem Beton; Entwurf, Bemessung und baupraktische Umsetzung. Beton- und Stahlbetonbau, Heft 107 (2012) 11, S. 767-776.
- [4] HEGGER, J.; KULAS, C.; HORSTMANN, M.: Realization of TRC facades with impregnated AR-glass textiles. Key Engineering Materials. 466 (2011), S. 121-130.
- [5] REMPEL, S.; KULAS, C.; HEGGER J.: Plattenbau im 21. Jahrhundert – Schulmensa St. Leonhard, Aachen. In: Beton Bauteile 2014, Gütersloh: Bau Verlag, 2013.
- [6] REMPEL, S.; KULAS, C.; HEGGER J.: Ventilated façade structures made of textile-reinforced concrete – structural behavior and construction. The Fourth International fib Congress 2014 in Mumbai: Improving Performance of Concrete Structures, Proceedings Vol. I, pp. 566-569 (short paper), CD-ROM (full paper), ISBN 978-81-7371-919-6, February 2014.
- [7] KULAS, C.; SCHNEIDER, M.; WILL, N.; GREBE, R.: Ventilated facade structures made of textile reinforced concrete – structural behavior and construction. Bautechnik 88 (2011) 5, S. 271-280.
- [8] HEGGER, J.; HORSTMANN, M.; FELDMANN, M.; PYSCHNY, D.; RAUPACH, M.; BÜTTNER, T.; FEGGER, C.: Sandwich Panels made of TRC and Discrete and Continuous Connectors. In: Bramehuber, W. (Hrsg.): Proceedings of the 2nd International RILEM Conference on Material Science (MatSci), 6.-8.9.2010, Aachen, RILEM Publications S.A.R.L., S. 381-392.
- [9] KULAS, C.: Ingenieurmodelle zum Tragverhalten getränkter textiler Bewehrungselemente für Betonbauteile. Diss., Schriftenreihe des IMB, RWTH Aachen University, Heft 38, 2013
- [10] GRIES, T.; ROYE, A.; OFFERMANN, P.; PELED, A.: Textiles. In: Bramehuber, W. (Hrsg.): Textile Reinforced Concrete. RILEM Report 36, S. 11-27.
- [11] HEGGER, J.; KULAS, C.; HORSTMANN, M.: Spatial Textile Reinforcement Structures for Ventilated and Sandwich Façade Elements. Advances in Structural Engineering 15 (2012) 4, S. 665-675.
- [12] RAUPACH, M.; ORLOWSKY, J.; BÜTTNER, T.: Epoxy-impregnated textiles in concrete – load bearing capacity and durability. In: Hegger, J.; Bramehuber, W.; Will, N. (Hrsg.): Proceedings of the 1st International RILEM Conference, 6.-7.9.2006, Aachen, RILEM Publications S.A.R.L., S. 77-88.
- [13] BÜTTNER, T.; ORLOWSKY, J.; RAUPACH, M.; HOJCZYK, M.; WEICHOLD, O.: Enhancement of the durability of alkali-resistant glass-rovings in concrete. In: Bramehuber, W. (Hrsg.): Proceedings of the 2nd International RILEM Conference on Material Science (MatSci), 6.-8.9.2010, Aachen, RILEM Publications S.A.R.L., S. 333-342.

- [14] BROCKMANN, T.: Mechanical and fracture mechanical properties of fine grained concrete for textile reinforced composites. PhD-Thesis, RWTH Aachen, 2006.
- [15] BRAMESHUBER, W.; HINZEN, M.; WOCHNER, M.: Elegante Fußgängerbrücke aus textilbewehrtem Beton. *beton*, Ausgabe 11/2010, Verlag Bau + Technik, S. 438-444.
- [16] HEGGER, J.; GORALSKI, C.; KULAS, C.: Hegger, J.; Goralski, C.; Kulas, C.: Schlanke Fußgängerbrücke aus Textilbeton. *Beton und Stahlbetonbau* 106 (2011) 2, S. 64-71.
- [17] DIN-Fachbericht 101: Einwirkungen auf Brücken. Berlin: Beuth, 2009.
- [18] DIN-Fachbericht 102: Betonbrücken. Berlin: Beuth, 2009.
- [19] Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Berlin: Beuth, 2008.
- [20] VOSS, S.: Ingenieurmodelle zum Tragverhalten von textilbewehrtem Beton. Diss., RWTH Aachen, 2008.
- [21] HEGGER, J.; WILL, N.; BRUCKERMANN, O.; VOSS, S.: Loadbearing behavior and simulation of textile reinforced concrete. *Materials and Structures* 39 (2006), S. 765-776.
- [22] HEGGER, J.; VOSS, S.: Investigations on the load-bearing behavior and application of Textile Reinforced Concrete. *Engineering Structures* 30 (2008), S. 2050-2056.
- [23] KORDINA, K.; HEGGER, J.; TEUTSCH, M.: Shear-strength of prestressed concrete beams with unbounded tendons. *ACI Structural Journal* 2 (1989), S. 143-149.
- [24] HEGGER, J.; KULAS, C.; RAUPACH, M.; BÜTTNER, T.: Tragverhalten und Dauerhaftigkeit einer schlanken Textilbetonbrücke. *Beton und Stahlbetonbau* 106 (2011) 2, S. 72-80.
- [25] HEGGER, J.; WILL, N.; BRUCKERMANN, O.; VOSS, S.: Loadbearing behavior and simulation of textile reinforced concrete. *Materials and Structures* 39 (2006), S. 765-776.

11	Herzlich Willkommen zum 25. Dresdner Brückenbausymposium
15	Überall Brücken – von der Vielgestaltigkeit eines Gedankens
33	Brückenbau in Deutschland – eine Auswahl zukünftiger Schwerpunkte
37	25 Jahre Dresdner Brückenbausymposium – eine deutsche Erfolgsgeschichte
63	Bridge Architecture – from Structure to Elegance
69	Fußgängerbrücken – Entwurf und Konstruktion
83	Schlanke vorgespannte Fußgängerbrücke aus Textilbeton
99	Pilotanwendungen von Textilbeton für Verstärkungen im Brückenbau
113	Gustave Magnel – ein Wegbereiter der Spannbetonbauweise
131	Integrale Brücken im Wandel der Zeit
151	Dynamisch über das Saale-Elster-Tal – Bemessung und Konstruktion einer Stabbogenbrücke für den Eisenbahnhochgeschwindigkeitsverkehr
163	Sicherung der Rheinbrücke Leverkusen – von der Schadensaufnahme zum Instandsetzungsmanagement unter Berücksichtigung der Altstahlproblematik
181	Friedrichsbrücke Berlin – Denkmalgerechte Erneuerung und Anpassung der Friedrichsbrücke über die Spree – die Verbindung von zwei verschiedenartigen Brückenkonstruktionen
193	Egg-Graben-Brücke, Wildbrücke AM2, Lafnitzbrücke – Anwendung von neuen Bauverfahren für Brücken in Österreich
217	Feuerverzinken im Brückenbau – Anwendung und aktuelle Forschungsergebnisse
229	Das Schwergutgewerbe – Großraum- und Schwertransporte, Autokrane, Brückenbau
239	Massivbrücken unter extremen Wetterbedingungen
253	Brückenbauexkursion 2014 – Spurensuche in Deutschland
265	Chronik des Brückenbaus