



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN Institut für Massivbau www.massivbau.tu-dresden.de



30. DRESDNER BRÜCKENBAUSYMPOSIUM

**PLANUNG, BAUAUSFÜHRUNG, INSTANDSETZUNG
UND ERTÜCHTIGUNG VON BRÜCKEN**

9./10. MÄRZ 2020

© 2020 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: Ulrich van Stipriaan

Anzeigen: Harald Michler

Titelbild: Fehmarnsundbrücke, Zeichnung von Gerd Lohmer
Broschüre Rotary und die Kunst / Gerd Lohmer
(aus dem Privatarchiv von Bettina Lohmer)

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

ISSN 1613-1169
ISBN 978-3-86780-625-1



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Institut für Massivbau <http://massivbau.tu-dresden.de>

Tagungsband

30. Dresdner Brückenbausymposium

Institut für Massivbau

Freunde des Bauingenieurwesens e.V.

TUDIAS GmbH

9. und 10. März 2020

Inhalt

Grußwort des Rektors	9
<i>Prof. Dr.-Ing. habil. DEng/Auckland Hans Müller-Steinhagen</i>	
Entwicklung des Instituts für Massivbau – Lehre und Forschung im Brückenbau an der TU Dresden	13
<i>Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	
Die neue Erhaltungsstrategie des Bundes – Planung und Bau von Brücken auf den Hauptverkehrsrouten	27
<i>MR Prof. Dr.-Ing. Gero Marzahn</i>	
Brücken aus bewehrtem UHPC (Stahl-UHFB)	33
<i>Prof. Dr. Eugen Brühwiler, dipl. Ing. ETH/SIA, IABSE</i>	
Nutzung von Ultra-Hochleistungs-Faserbeton (UHFB) im ASTRA – Rückblicke und Perspektiven	47
<i>Stéphane Cuennet, Guido Biaggio</i>	
Neufassung der Nachrechnungsrichtlinie für Massivbrücken	57
<i>Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger, Viviane Adam M.Sc., Dr.-Ing. Frederik Teworte, Dr.-Ing. Naceur Kerkeni</i>	
Historische Eisenbahnbrücken – Denkmale im Netz	71
<i>Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, Dipl.-Ing. Markus Köppel, Dipl.-Ing. Jens Müller</i>	
85 Jahre Autobahnbrückenbau – 30 Jahre Dresdner Brückenbausymposium	83
<i>Dipl.-Ing. Werner Buhl</i>	
Gerd Lohmer (1909–1981) Der Brückenarchitekt der Nachkriegszeit	101
<i>Prof. Cengiz Dicleli</i>	
Ersatzneubau der Rheinbrücke Leverkusen – Gesamtplanung des 8-streifigen Ausbaus der A1 zwischen Köln und Leverkusen	123
<i>Dipl.-Ing. (FH) Nicole Ritterbusch, Dr. sc. techn. Hans Grassl, Dominic Reyer, M.Sc.</i>	
Ein neuer Schritt im Großbrückenbau: Querverschub einer Verbundbrücke mit Pfeilern und Gründung bei der Talbrücke Rinsdorf im Zuge der A 45	139
<i>Dipl.-Ing. Roger Istel, Dipl.-Ing. Ralf Schubart</i>	
S-Bahn-Querung im neuen Stuttgarter Tiefbahnhof S21 – erstmaliger Einsatz von interner verbundloser Vorspannung bei der DB AG	149
<i>Prof. Dr.-Ing. Manfred Keuser, Dipl.-Ing. Angelika Schmid, Prof. Dr.-Ing. Christian Sodeikat</i>	
Reduzierte Bauzeit bei Ersatzneubauten von Straßenbrücken durch Carbonbeton	165
<i>Dr.-Ing. Sergej Rempel, Dipl.-Ing. (FH) Eugen Kanschin</i>	
Robust, wirtschaftlich und schön – der Entwurf von integralen Brücken	177
<i>Dipl.-Ing. Andreas Keil</i>	
Neubau der Busbrücke über den Bahnhof in Zwolle	191
<i>Dr.-Ing. Gerhard Setzpfandt, Tristan Wolvekamp MSc, Dipl.-Des. Marion Kresken</i>	
Katastrophen vermeiden: Brückenmonitoring mit einem Netzwerk leistungsstarker dreiachsiger MEMS-Beschleunigungssensoren	207
<i>Dipl.-Ing. Ulrich Dähne</i>	
Brückenvielfalt in Süddeutschland und den Alpen – Bericht zur Brückenexkursion 2019	213
<i>Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Dipl.-Ing. Philipp Riegelmann</i>	
Chronik des Brückenbaus	227
<i>Zusammengestellt von Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner</i>	

Nutzung von Ultra-Hochleistungs-Faserbeton (UHFB) im ASTRA – Rückblicke und Perspektiven

Stéphane Cuennet¹, Guido Biaggio²

1 Einführung

Das Bundesamt für Straßen (ASTRA), die Schweizer Fachbehörde für die Straßeninfrastruktur und den individuellen Straßenverkehr, hat bereits im Jahr 2005 zwei Brückenelemente mit traditionell eingebautem Ultra-Hochleistungs-Faserbeton (UHFB) erstellt. Im Jahr 2014 wurden die Viadukte von Chillon mittels einer dünnen Schicht aus industriell aufgebrachtem (UHFB) auf mehr als fünf Hektar verstärkt. Seit dieser massiven Intervention entstehen weitere ähnliche Großprojekte auf unserem Nationalstraßennetz. Im Frühjahr 2019 wurde entschieden, dass die Autobahn N01 zwischen Genf und Lausanne mit einer neuen Generation integraler Brücken mit einer vorgespannten Fahrbahnplatte aus UHFB zu planen sei. Bei unseren Objekten zählen wir derzeit rund zehn Eingriffstypen für etwa zwanzig verschiedene Anwendungen unterschiedlichen Umfangs.

2 Vor dem ASTRA – ein Blick zurück auf die Anfänge

2.1 Inspiration für den Menschen: das Vogelnest

Die Idee, Fasern in ein zusammenhängendes Material einzubringen, um es zu verstärken, ist erstmals wahrscheinlich nicht der menschlichen Imagination entsprungen. Tatsächlich



Bild 1 Furnarius-Nest (Familie der Horneros)
Foto: Dario Sanches

baut sich der Horneros, eine kleine Vogelart in Südamerika, sein Nest seit Jahrtausenden aus mit Stroh verstärktem Lehm (Bild 1), und das lange bevor die Menschen auf diese Idee gekommen sind. Das Nest wird dabei vom Vogelpaar in ungefähr einer Woche gebaut. Es besteht aus verschiedenen Elementen (Schlamm, Haare, Stroh, Wurzeln, Dung usw.), die zusammen eine Art Mörtel bilden. Die Regelmäßigkeit der Nestform deutet darauf hin, dass es sich um ein genetisch bedingtes Verhalten handelt.

2.2 Der erste Verbundwerkstoff der Menschheitsgeschichte

Lehm gilt als erster Verbundwerkstoff der Geschichte. Er besteht aus einer plastischen Matrix (Erde) und strukturverstärkenden Magerungsbestandteilen (Pflanzenfasern oder Tierhaare). Seit der Jungsteinzeit wird Lehm als Baumaterial verwendet. Die Lehmziegelbauweise ist in den Hochkulturen des Vorderen Orients, Zentralamerikas und Chinas seit der Jungsteinzeit bekannt. Lehmbauten sind typisch für Regionen mit tonhaltigen Böden. Zur Minderung der Rissbildung während des Trocknens und zur generellen Strukturverbesserung wurde dieses Baumaterial jeweils mit Stroh verstärkt. Seit dieser uralten elementaren Anwendung hat die Idee Eingang ins menschliche Gedankengut gefunden und sich weiterentwickelt zu einer „Hightech“-Nutzung als Verstärkungselement der hydraulisch härtenden Matrix des UHFB.

«Originalität ist nichts anderes als eine kluge Nachahmung.»
Voltaire (1694–1778)

3 Die Suche nach dem Gleichgewicht zwischen den Regeln und der Freiheit der Kunst

Die Welt ist im Laufe ihrer Geschichte noch nie mit einer so hohen Veränderungsdynamik konfrontiert worden wie in unserer Generation.

¹ Dipl. Ing. HES, Bundesamt für Straßen ASTRA, Abteilung Straßeninfrastruktur West

² Dipl. Bauing. ETH, Bundesamt für Straßen ASTRA, Abteilung Straßeninfrastruktur Ost

Dies wird in allen Bereichen täglich beobachtet, und das gilt natürlich auch für den Tiefbau. Folglich stören dogmatische Regeln der Kunst die Freiheit der Kunst. Die Suche nach einem Gleichgewicht zwischen zu starren Regeln und zu viel konzeptioneller Freiheit ist die tägliche Herausforderung des ASTRA.

3.1 Die Standards der Nationalstraßen

Die Normen, die das ASTRA für Nationalstraßen anwendet, sind unter www.astra.admin.ch verfügbar. Sie umfassen Anweisungen, Richtlinien, technische Handbücher und Dokumentationen, die als technische Grundlage zur Entwicklung von Projekten dienen.

Um gemäß Artikel 5 des Nationalstraßen Gesetzes [1] sicherzustellen, dass die Straßen hohen verkehrstechnischen Anforderungen genügen und insbesondere eine sichere und wirtschaftliche Abwicklung des Verkehrs gewährleisten, müssen die Fachhandbücher immer dem neuesten technischen Stand entsprechen. Aus diesem Grund werden sie regelmäßig überprüft und aktualisiert. Führt die Anwendung der Normen jedoch nicht zu einer technisch und wirtschaftlich akzeptablen Lösung, so ist der Projektverfasser angehalten, eine alternative, machbare Lösung vorzulegen die das Kosten-Nutzen-Verhältnis berücksichtigt.

Die allgemeine Einführung in die technischen Handbücher nennt 12 Ziele, nach welchen sich selbige richten. Darin wird explizit erwähnt, dass die Fachhandbücher wohl auf dem neuesten technischen Stand sind, dass sie aber keine pfannenfertigen Rezepte vorgeben – dies in der Absicht, kreativen Ingenieurösungen ausreichend Raum zu geben. Sie zielen weiter darauf ab, die Forschung und die Entwicklung neuer technischer Produkte nicht unnötigerweise zu behindern. Als oberstes Gebot gilt allerdings, dass die Projektverfasser nicht davon entbunden werden, durchdachte und den Umständen angemessene Lösungen zu finden.

In diesem Sinne bietet die Generierung von Pilotprojekten dem ASTRA die Möglichkeit, innovative Produkte oder Technologien zu testen. Aus diesen Pilotprojekten sollen Erfahrungen hervorgehen, die zur Definition künftiger Standards beitragen können. Die Verstärkung der Brücken Boli, Mettlen und Linden auf der N04 mit UHFB-Mineralabdichtungen sind beispielsweise solche Pilotprojekte.

3.2 Allgemeine Grundsätze für Projekte von Kunstbauten

Bei der Planung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstraßen gelten allgemeine Grundsätze in Bezug auf Konzipierung, Robustheit, Konstruktionsdetails, Wartungsaspekte, zukünftige Nutzungserweiterung und Ästhetik.

Konzept

Bewährte Konzepte sind in der Regel die Garantien für die Qualität bei Kunstbauwerken. Dennoch müssen traditionelle Lösungen an lokale Gegebenheiten oder an spezifische Fälle angepasst werden.

Die Suche nach innovativen Konzepten ist in der Regel mit Situationen verbunden, in denen herkömmliche Lösungen nicht zufriedenstellend sind. In solchen Fällen ist das ASTRA bereits von Beginn einer Studie an der Auswahl des passenden Systems beteiligt. Dabei kann das ASTRA das Hinzuziehen eines oder mehrerer Experten an der Untersuchung und Unterstützung des Projekts verlangen. Dieser Punkt steht im Einklang mit dem Beispiel der Sanierung der Chillon-Viadukte und der im Folgenden vorgestellten neuen Generation von Überführungsbauwerken.

Konstruktionsdetails

Die Erfahrung hat gezeigt, dass Konstruktionsdetails für das Verhalten von Strukturen und deren Haltbarkeit von entscheidender Bedeutung sind. Ihre Konzipierung und Anordnung (bezüglich Form, Materialien und Ausführung) müssen immer gründlich überlegt werden.

In Abhängigkeit unserer Bautradition orientieren sich unsere Standards überwiegend an den Details, die den Beton betreffen. Aufgrund der Zunahme gemischter Stahlbeton- und UHFB-Bauwerke müssen erwähnte Standards an diese Entwicklungen angepasst werden.

3.3 Die Normen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA)

Die SIA-Normen berücksichtigen diese rasante technologische Entwicklung mittels Veröffentlichung technischer Spezifikationen, die eine (erneuerbare) Gültigkeit von fünf Jahren haben. Darunter findet man auch die SIA-Norm 2052 „Hochleistungs-Faserbeton (UHFB) – Bau-

stoffe, Bemessung und Ausführung“ [2]. In jeder Norm enthalten ist auch ein Unterkapitel „Abweichungen“. Es ist also durchaus zulässig, unter bestimmten Bedingungen von den SIA-Normen und den technischen Spezifikationen abzuweichen.

Die Forschungsberichte der Arbeitsgemeinschaft Brückenforschung (AGB) erfüllen beispielsweise diese Bedingungen und werden täglich genutzt, um unnötige und kostspielige Verstärkungsarbeiten an unseren Bauwerken zu vermeiden. Im Bereich der bestehenden Kunstbauten beispielsweise ist die Anwendung der Normenreihe SIA 269 [3] effektiv als Grundlage zu betrachten, die stetig durch die neuesten Erkenntnisse der anerkannten Forschung ergänzt werden muss.

4 Ausgewählte Beispiele verschiedener Anwendungen in der Praxis

Die erste Anwendung des UHFB im ASTRA erfolgte in den Jahren 2006–2007, ein Jahrzehnt also vor dem Inkrafttreten der Norm SIA 2052. Die Arbeiten betrafen zum einen die Leitmauern einer Brücke, zum andern die Schutzverkleidung des zentralen Pfeilers einer Überführung, beide auf der N01 im Kanton Aargau.

Unser wachsendes Interesse an diesem „Hightech“-Material hängt mit seiner außergewöhnlichen Leistungsfähigkeit zusammen, u. a. mit seiner hohen Kompaktheit, die sowohl zu einer Erhöhung der Lebensdauer seiner Komponenten als auch zu einer Senkung der Wartungskosten führt, wodurch Unannehmlichkeiten für unsere Kunden, die Straßenbenutzer, minimiert werden können.

Derzeit sind mehr als zwanzig Anwendungen realisiert oder in Planung. Rückblickend stellen sich die verschiedenen Typologien unserer Anwendungen wie folgt dar:

Mischelemente UHFB und Beton:

1. Verstärkung und/oder Abdichtung von Fahrbahnplatten und anderer Stützelemente,
2. Schutz gegen chemische Zersetzung (Spritzwasser mit Tausalz): Mittelpfeiler, Widerlager, Leitmauern und Brückenränder,
3. Schutz vor mechanischer Beanspruchung (hoher Abrieb): Zwickelbereich,

4. Reprofilierung von Elementen (anstelle traditioneller Mörtel).

Die Besonderheit dieses Materials ist seine Fähigkeit, für all die verschiedenen Anwendungen gleichzeitig zu funktionieren.

Strukturelemente aus UHFB:

5. Neues Strukturelement: Schrägstützen.

Die folgenden ausgewählten Beispiele dienen nicht dazu, jeden Fall ausführlich darzustellen, sondern vielmehr die Problematik und die Abhilfe in Bezug auf die Ursachen sowie das Feedback aus den Inspektionen darzulegen.

4.1 Verstärkung und Abdichtung der Fahrbahnplatte – N09-Viadukte von Chillon

Diese Intervention war bereits Gegenstand zahlreicher Veröffentlichungen, z. B. [4], [5]. Vorliegender Artikel beschränkt sich deshalb auf einige spezifische Rückmeldungen zu den gemachten Erfahrungen.

Der Beton dieser 2 km langen Zwillingsbrücke (Bild 2) ist einer der reaktivsten der Schweiz. Er wurde zwischen 1966 und 1969 mit Zuschlagstoffen aus dem Genfersee oder der Rhône-mündung hergestellt (Alkali-Aggregat-Reaktion AAG mit langsamer Entwicklung).

Das ASTRA sah sich während der Instandsetzungsarbeiten mit der Notwendigkeit konfrontiert, die Struktur kurzfristig zu sanieren, um von einem noch relativ gesunden Stützkörper zu profitieren. Hätten wir dieses Vorhaben um 20 Jahre verschoben, wären wir das Risiko eingegangen, dieses monumentale Bauwerk komplett ersetzen zu müssen. Es war daher verhältnismäßig und angebracht, schnell zu intervenieren und sich der Herausforderung zu stellen, die Risiken zu identifizieren und in den Griff zu bekommen. Diese Herausforderung konnte nur durch erfolgreiche Teamarbeit gemeistert werden.

Die Intervention zielte darauf ab, die negativen Auswirkungen der Alkali-Aggregat-Reaktion abzumildern, ihr Fortschreiten zu hemmen und die Leistung der Fahrbahnplatte mit einem armierten UHFB zu verbessern. So war beispielsweise der Konformitätsgrad der Platte im Jahr 2014 gerade mal zufriedenstellend und ermöglichte es nicht, mögliche zukünftige durch die AAG-



Bild 2 Viadukte von Chillon

Foto: Sylvie Bazzanella

Pathologie verursachte mechanische Schäden abzudecken. Mit dem Auftrag einer dünnen Schicht von 4 bis 5 cm armiertem UHFB auf fünf Hektar der Fahrbahnplatte konnte dieses wichtige Element verstärkt und mit einer strukturellen Reserve versehen werden.

Trotz der Tatsache, dass der UHFB wasserdicht sein sollte, wurde, nach vorgängigem Abtrag mit Hochdruck und einer Vorbehandlung mit einem Polymethylacrylat-Anstrich (PMMA), über die gesamte Oberfläche ein Polymerbitumen-Dichtungsband (PBD) EP5 verlegt. Die technischen Begründungen für dieses Vorgehen sind die folgenden:

1. Gewährleisten einer absoluten Dichtigkeit an den UHFB-Arbeitsfugen unter Vermeidung jeglichen Eindringens von Wasser, das die AA-Reaktion auslösen könnte,
2. Gewährleistung einer einwandfreien Haftung des MA-H-Gussasphalts auf dem UHFB-Substrat; wir wollten keine „schwimmende“ Lösung mit der Gefahr zirkulierenden Wassers in der Schnittstelle zwischen dem UHFB und dem Belag,
3. Reduzierung der Dicke des UHFB unter gleichzeitigem Schutz der Bewehrung, deren theoretische Überdeckung lokal unzureichend war; tatsächlich würde eine Überdeckung des UHFB von 1 cm, um die lokalen Überdeckungsanforderungen zu gewährleisten, zu höheren Mehrkosten führen als das Aufbringen einer PBD-Versiegelung.

Um den Wissensstand für zukünftige Projekte zu verbessern, haben wir die Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne (EPFL) beauftragt [4], die Verbindung zwischen dem UHFB und einem MA-Gussasphalt mittels vier als funktionsfähig eingestuftem Verfahren zu untersuchen. In der experimentellen Testreihe vermochte nur ein einziges Produkt eine akzeptable Leistung zu erbringen. Ein Test der direkten Haftung ohne Haftmittel war nicht vorgesehen. Ohne weitere Erfahrungswerte für die Haftfähigkeit dieses einen Produkts erschien uns jedoch das Risiko zu hoch (Folge \times Eintretenswahrscheinlichkeit), auf den Einsatz einer PB-Abdichtung an der UHFB-MA-Schnittstelle auf einer über fünf Hektar großen Fläche zu verzichten. Diese von vornherein vorsichtige Option wurde zum Zeitpunkt der Bauaus-

führung als korrekt bestätigt. Tatsächlich hat der UHFB-Experte dies wie folgt in seinem Abschlussbericht [6] erwähnt: „*Der Entscheid, die (damals pragmatisch über die gesamte Fläche verteilten) Arbeitsfugen abzudichten, erwies sich als klug für das hochthixotrope UHFB der Chillon Viadukte.*“

Um ihre Dichtigkeit zu gewährleisten, wurden die Arbeitsfugen gemäß den Angaben der technischen Spezifikationen SIA 2052 Art. 5.4.3 [2] vorgesehen. Erfahrungen sowie Laborversuche an gebogenen Trägern (Baustofflabor der EPFL) haben gezeigt, dass nach diesem Detail ausgeführte Arbeitsfugen auch bei Zugbeanspruchung im Betrieb (eingeschränkte Schwindung und Biegezugfestigkeit) dicht halten. Trotz aller Sorgfalt, die das Unternehmen diesem Detail widmete, und trotz der eigens dafür entwickelten Metallschalungen reichte die Vibrationsenergie des Fertigers jedoch nicht aus, um den hochthixotropen UHFB unter die Schalung zu treiben, insbesondere wenn die Querneigung dies verhinderte.

Das ASTRA ist sich bewusst, dass die Möglichkeiten dieses leistungsfähigen und folglich auch teuren Materials voll ausgeschöpft werden müssen. Deshalb haben wir Pilotprojekte gestartet, bei denen UHFB zur Verstärkung und Abdichtung von Fahrbahnplatten eingesetzt wurden. Diese Projekte [7] haben übrigens gezeigt, dass eine konforme Haftung ohne den Einsatz eines Haftmittels zwischen dem UHFB und dem MA erzielt werden kann.

Unter Berücksichtigung der gewonnenen Erfahrungen, der Resultate der Überwachung und zukünftiger Forschungen hoffen wir, dass diese mineralische Abdichtung anlässlich einer der nächsten Revisionen Eingang finden wird in die Norm SN 640 450 „Abdichtungssysteme und bituminöse Schichten auf Brücken mit Betondecken“ (Ausgabe 12/2017) [8].

4.2 Schutz vor chemischen Einflüssen – N01-Überführung Chlosterstraßen

Die Sanierung einer Pfeilerbasis der Chlosterstraßen-Überführung im Mittelstreifen der N01 zwischen Dietikon und Schlieren (Kanton Zürich) bot Gelegenheit zu einem Vergleichstest zweier Methoden: die eine Hälfte des Profils wurde mit einem UHFB überzogen (Holcim 707 Typ, 3,0 % (240 kg/m³) Metallfasergehalt),

währenddessen auf der anderen Hälfte ein Faserbeton mit einer OS2-Beschichtung angebracht wurde.

Die praktische Anwendung hat aufgezeigt, dass die Umsetzung des UHFB keine andere Erfahrung erfordert als das Betonieren unter ähnlichen Bedingungen. Folglich liegt ein solches Verfahren in der Kompetenz eines auf Betonsanierung spezialisierten Auftragnehmers.

Ohne die Kosten für Überwachung und Vorversuche beträgt die Behandlung mit Faserbeton ca. 1.500 CHF/m² – im Vergleich zu 2.300 CHF/m² mit einem UHFB. Aufgrund ihres Charakters als Pilotversuch sind die Kosten der UHFB-Intervention jedoch nicht wirklich repräsentativ. Aus diesem Grund ist zu erwarten, dass die Kosten für künftige UHFB-Anwendungen um 10 bis 30 % sinken werden. Die Ergebnisse des Monitorings im Jahr 2023 werden es auch ermöglichen, den erwarteten Mehrwert für die UHFB-Lösung bezüglich ihrer Nachhaltigkeit abzuwägen.

Der Mittelpfeiler ist mit Sensoren ausgestattet und unterliegt bis 2023 einem intensiven zehnjährigen Überwachungsprogramm. Dieses umfasst zerstörungsfreie Untersuchungen mittels Sensoren sowie Probenahmen aus Prüfkörpern, die unter ähnlichen Bedingungen neben dem Pfeiler gelagert werden. Ein erster Zwischenbericht dazu wurde 1,5 Jahre nach Fertigstellung verfasst. Leider ist die Zeitspanne noch zu kurz, als dass dabei nuancierte Unterschiede zwischen den beiden Interventionstypen bezüglich Chloridpenetration und Karbonatisierungsfortschritt aufgezeigt werden könnten. Die visuelle Prüfung zeigt jedoch an einigen Stellen feine Risse auf der Oberfläche des UHFB. Die Oberfläche muss vorher mit Wasser besprüht werden, um sie mit bloßem Auge besser erkennen zu können. Die Öffnung dieser Risse beträgt meistens etwa 0,1 mm, lokal sogar 0,2 mm, und hat keine Auswirkung auf die Beständigkeit. Die Ergebnisse werden 2023 in einem Abschlussbericht vorgelegt.

4.3 Schutz vor mechanischer Beanspruchung (Abrieb) – N01-Durchlass des Gobé

Die Durchlassröhren des Baches Gobé sind insgesamt etwa 300 m lang. Sie befinden sich in der Nähe des Autobahnkreuzes Le Vengeon (Kanton Genf). Der Innendurchmesser des Durchlasses beträgt 2,00 m. Die Dicke des Bau-



Bild 3 Ansicht des UHFB-Fachwerks

Foto: Stéphane Cuennet

werks variiert zwischen 25 und 30 cm, je nach Höhe der Überdeckung auf dem Scheitel.

Die Durchlassröhren wurden als Zustand 3 „defekt“ nach Anwendungshandbuch KUBA ASTRA [9] eingestuft. Einige Bereiche der Sohle sind erodiert und die Bewehrungseisen sind sichtbar und korrodiert.

Im Zuge der Erarbeitung eines globalen Erhaltungskonzepts wurden drei Sanierungsvarianten analysiert: mit Harz, mit Hobas-Elementen oder mittels einer 3 cm dicken Auskleidung mit UHFB. Die UHFB-Lösung hat sich als vorteilhafteste erwiesen und wird für die folgenden Projektphasen empfohlen.

Im Vergleich zu C30/37-Beton reduziert der Einsatz eines UHFB die Abriebtiefe um ca. 60 %. Darüber hinaus erfolgt der Widerstandsverlust progressiv und ungefährlich für die Struktur [7].

4.4 Element-Reprofilierung – die Brücken von Boli, Mettlen und Linden im Zuge der N04

Diese drei aufeinanderfolgenden Kunstbauten der N04 zwischen Goldau und Immensee (Kanton Schwyz) zeigen ein breites Anwendungsspektrum dieses Materials, sei es zur Verstär-

kung, Abdichtung oder zur Reprofilierung. Bei allen drei handelt es sich um Pilotprojekte des ASTRA.

Eine besondere Anwendung ist die lokale Instandstellung der Stege/Flansche der Profilträger mit UHFB anstelle der herkömmlichen Mörtelreprofilierung. Tatsächlich enthält die UHFB-Matrix Zuschlagstoffe, deren maximaler Durchmesser den eines Mörtels nicht überschreitet, was sie zu einem sehr geeigneten Material für den Betonersatz macht (Prinzip 3 nach Tabelle 5, SIA 269/2 [10]).

Die Vorteile gegenüber herkömmlichen Mörteln (Klasse R3/R4) ähnlicher Preiskategorie sind:

- ❑ Ausgezeichnete Haftung auf einem fachgerecht vorbereiteten Untergrund,
- ❑ Mischbauweise UHFB-Beton bewirkt beim Element aufgrund des hohen Fasergehalts eine Selbstspannung, was Rissbildung vermeidet bzw. markant verringert,
- ❑ Wasserdichte und chloridundurchlässige Oberfläche.

4.5 Neues Strukturelement des Bauwerks – N09-Brücken am Fluss Paudèze [9]

Im Osten von Lausanne wurde an den Brücken über die Paudèze eine weitere UHFB-Anwendung getestet. Die Stützen wurden in einem Fachwerk mit V-förmigen Diagonalen angeordnet (System Warren, Bild 3), um die Erhöhung der Kragarme der Brücken über die Paudèze um einige Dezimeter (ohne Erhöhung der Verkehrskapazität) zu unterstützen. Statische Analysen bestätigten, dass der Einbau von Stützen wegen der Verbreiterung der Brücke unter Beibehaltung der Fahrbahnplatte im Mittelteil notwendig war.

Diese neuen Elemente wurden aus UHFB vorgefertigt, um die Montage zu erleichtern, die Gewichtserhöhung zu begrenzen und das mineralische Erscheinungsbild der Betonplatte im Freivorbau zu erhalten. Die vorgefertigten Elemente wurden sukzessiv durch vor Ort gegossene UHFB-Unterschwellen mit der bestehenden Konstruktion verbunden.

Im Gegensatz zu einer klassischen Ausführung in Stahl, die den Anschein erwecken würde, dass dem Brückendeck prothesengleich eine künstliche Hilfskonstruktion aufgedrückt würde, vermählt sich das Betonfachwerk bestens mit der bestehenden Bausubstanz. Darüber hinaus würde eine Variante mit Stahlprofilen wiederkehrende Kosten für die Erneuerung des Korrosionsschutzes nach sich ziehen (hohe Dauerhaftigkeitsklasse (H) > 15 Jahre nach Anwendungshandbuch KUBA ASTRA [9]). Solche Unterhaltsmaßnahmen sind komplex und teurer, da sie an der Unterseite der Konsolen unter Einhaltung strenger Umweltschutzauflagen durchgeführt werden müssen.

Der Bauherr war von dieser Variante aufgrund ihrer Eleganz und der Reduzierung der Wartungskosten überzeugt.

5 Gegenwart und Zukunftsvision

Die neuen und möglicherweise zukünftigen Anwendungsbereiche von UHFB sind die folgenden:

1. Brückendecks oder komplette Überbauten (UHFB vorgefertigt und/oder auf Platz gegossen, Mischbauweise mit UHFB),

2. Tunnelgewölbe (aufgespritzter UHFB etc.),
3. Neue Brückenränder,
4. Raum für den menschlichen Erfindergeist.

5.1 Eine neue Generation von Überführungen zwischen Genf und Lausanne

Auf dem Autobahnabschnitt der N01 zwischen Le Vengeron und Nyon plant das ASTRA umfangreiche Unterhaltsarbeiten sowie den Ausbau von 2 × 2 auf 2 × 3 Spuren. Ziel ist es, den gesamten Abschnitt zu sanieren und die durch das stetig ansteigende Verkehrsaufkommen verursachten Engpässe zu beseitigen.

Das generelle Projekt (GP) auf dem Abschnitt Vengeron–Coppet–Nyon umfasst u. a. auch Arbeiten an Tiefbauwerken, insbesondere den Rückbau und den Wiederaufbau von Überführungen, deren aktuelle Spurweite eine Verbreiterung der Autobahn auf 2 × 3 Fahrspuren nicht zulässt. Parallel dazu wurden Studienaufträge an verschiedene Ingenieurs-Architekten-Gespanne vergeben, um Ideen für eine architektonische und landschaftliche Integration der Überführungen zwischen Genf und Lausanne zu entwickeln. Dies führte zur Skizzierung einer neuen Generation von Überführungsbauwerken (Bild 4).

Das siegreiche Konzept ist eine vollständig in UHFB gehaltene, zweifach eingespannte Brücke mit mehrfachen T-Trägern. Das Bauwerk ist von einer luftigen skulpturalen Ästhetik, nimmt die formale Tradition der früheren Stützen auf und interpretiert deren statische Wirksamkeit neu. Die Statik des zweifach eingespannten integralen Brückensystems ist empfindlich, aber bewährt.

Bild 5 zeigt, wie die formale Weiterentwicklung von Sprengwerkbrücken unter Verwendung

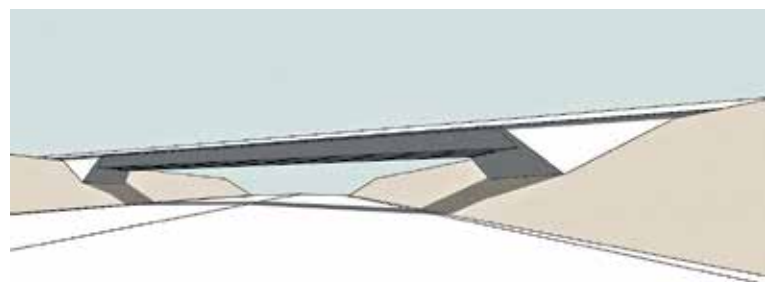


Bild 4 3D-Ansicht der neuen Generation von Überführungsbauwerken mit einer Fahrbahnplatte aus UHFB Grafik: aus [11]

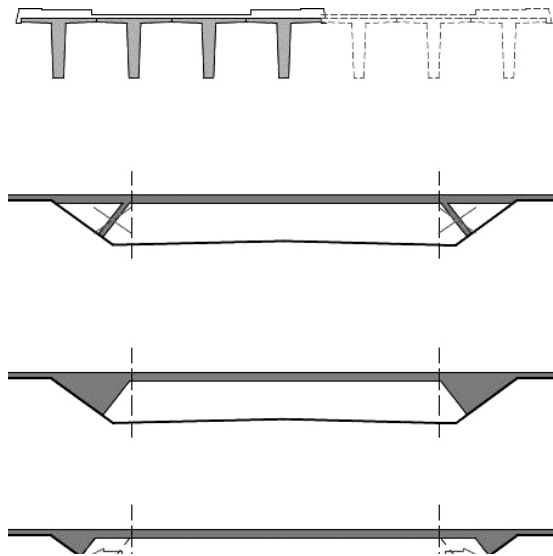


Bild 5 Gestaltungskonzept Zeichnung: aus [11]

eines innovativen, hochbelastbaren Materials wie UHFB zur Entstehung einer modernen Generation integraler Überführungsbauwerke beiträgt.

Der Unterhalt wird durch den Verzicht auf Fugen und Stützvorrichtungen stark optimiert. Zudem erfordert der Einsatz von UHFB a priori keine weitere Abdichtung (laufende ASTRA-Pilotstudie).

UHFB ist gewiss ein teurer, aber dafür auch ein sehr leistungsfähiger Werkstoff. Daher ist eine optimierte Dimensionierung unerlässlich. In diesem Fall bleiben die Kosten für dieses Konzept im Rahmen der Standards herkömmlicher Brücken.

Wir waren der Ansicht, dass die Wahl dieses Konzepts vernünftig und innovativ ist, aber gewagt bleibt. Dieses Material wird jedoch zunehmend häufiger eingesetzt, und wir stützen uns auf einen Erfahrungshorizont von mittlerweile etwa zwei Jahrzehnten. Bevor wir es serienmäßig in Bauwerken einsetzen, werden wir es auf der N09 zwischen Genf und Lausanne in zwei Fällen von vorgezogenen Ersatzmaßnahmen anwenden. Aufgrund ihres innovativen Charakters werden die Projekte von einem Experten begleitet. Der im Ideenauftrag vorgeschlagene Entwurf wird von den Projektverfassern mit Unterstützung des preisgekrönten Architekten verfeinert. Es geht nicht darum, einen industriellen Standard für Überführungen zu entwickeln, wie er beim Bau der Autobahn in den 1960er Jahren festgelegt wurde. Tatsächlich fordert die zunehmend überbaute Umwelt mittlerweile Zugeständnisse, die eine einfache

serienmäßige Realisierung dieser Bauwerke stark einschränken. Folglich ist es eher das Ziel, eine gewisse konzeptionelle und ästhetische Einheit anzustreben, um beim Nutzer den Eindruck von Kohärenz zu erwecken.

Beide Bauwerke werden mit einem detaillierten Überwachungssystem ausgestattet, um deren kurz- und langfristige Verhalten zu bewerten.

Mittels Anpassungen auf beiden Seiten der Widerlager wollen wir diese beiden Überführungen für mindestens zwei Jahre ohne Asphaltbetonbelag verwenden. Dies ermöglicht es uns, den Oberflächenzustand des UHFB zu überprüfen (Überprüfung auf Rissfreiheit nach zwei saisonalen Zyklen). Zu diesem Zweck ist es notwendig, die Oberflächenbehandlung des UHFB so zu definieren, dass er unter Beachtung der Kriterien für Betonstraßen befahrbar ist. Mit der Installation von Feuchtigkeitssensoren unter den Arbeitsfugen können mögliche Wasserinfiltrationen erkannt und die Ad-hoc-Dichtigkeit der eingegossenen UHFB-Schicht beurteilt werden.

Wir sind begeistert und zuversichtlich, dieses Konzept in Kürze mit unseren Mandatsnehmern und Experten entwickeln zu können, um es unseren Nutzern zu Gute kommen zu lassen.

5.2 Neue Brückenränder

Leitmauern und Brückenränder von Autobahnbrücken sind Verschleißteile, die allgemein als nicht tragend gelten und versalztem Spritzwasser ausgesetzt sind. Diese Vorrichtungen gewährleisten die Aufnahme der Kräfte im Falle eines Anpralls und ermöglichen einen dichten Abschluss der Fahrbahnplatte. Sie werden regelmäßig nach unseren Standards gewartet oder ersetzt. Aus diesen Gründen wird ihr Beitrag zur Festigkeit des Bauwerks gemeinhin verkannt. Die 70 cm breiten äußeren Brückenränder sind massive Elemente mit einem Eigengewicht von ca. 10 kN/m.

Die Entwicklung einer Lösung für Leitmauern oder neuer Brückenränder aus UHFB würde es ermöglichen, die selbe Lebensdauer wie das Bauwerk selbst zu erreichen und somit die Instandhaltungs- oder sogar Erneuerungsarbeiten an diesen Elementen zu reduzieren, welche überdies einen großen Schalwagen erfordern. Forschungsarbeiten zu diesem Zweck wurden von der École Polytechnique de Montréal, Kanada durchgeführt.

Die neue Lösung wird sicherlich darin bestehen, die Geometrie der auf dem Deck verlegten L-förmigen Brückenränder zu optimieren, indem eine sparsame Anwendung in Form einer Verkleidung/Hülle ermöglicht wird, um das Kosten-Nutzen-Verhältnis zu optimieren. Diese Art Brückenränder wird für die neue Generation von Überführungen entwickelt, die in Abschnitt 5.1 vorgestellt wurden.

Um die Wahl einer solchen Lösung wirtschaftlich zu rechtfertigen, wird eine Analyse der konstanten Rentabilität im Vergleich zu einer Standard-Stahlbetonvariante erstellt, die während der Erhaltungsprojekte eine zyklische Sanierung erfordert.

6 Schlussfolgerungen und Fazit

Die vorgestellten Beispiele zeigen die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten des fortschrittlichen Werkstoffs UHFB im Bereich des Hoch- und Tiefbaus beim ASTRA. Sie stellen lediglich eine Auswahl aller Schritte dar, die in den vergangenen 15 Jahren in der praktischen Anwendung des UHFB auf unserem Nationalstraßennetz unternommen wurden.

Die wichtigste Perspektive, die in diesem Artikel vorgestellt wurde, ist die Herausforderung, mit einem einzigen riesigen Schritt die Autobahn mittels eines Brückendecks zu überspannen, das vollständig aus UHFB gefertigt wurde.

Die zunehmende Anwendung dieses Materials wird den Wettbewerb erhöhen, seine Liefer- und Ausführungskosten weiter senken und damit seine Attraktivität erhöhen.

Aufgrund unserer Bautradition orientieren sich unsere Standards hauptsächlich an Details bezüglich des Betons. Unter Berücksichtigung der zahlreichen Rückmeldungen aus praktischen Erfahrungen mit diesem Ultra-Hochleistungsmaterial sollten die Fachdokumente dieser Entwicklung Rechnung tragen.

Das Leistungsspektrum dieses Verbundwerkstoffs wird es erlauben, die Unterhaltszyklen deutlich zu verkürzen. Damit wird der UHFB natürlich bei einem Projektverantwortlichen, der täglich mit diesem Problem konfrontiert ist, auf großes Interesse stoßen. Tatsächlich verursachen die erwähnten Unterhaltszyklen erhebliche direkte und indirekte Kosten für die Gesellschaft. Darüber hinaus sind aufgrund der unausweichlichen Zunahme der Verkehrsdichte Lösungen zur Reduzierung von

Erhaltungsmaßnahmen unerlässlich, um Unannehmlichkeiten für die Nutzer auf ein absolutes Minimum zu beschränken.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesgesetz über die Nationalstrassen (NSG) vom 8.3.1960 (Stand am 1.1.2018)
- [2] Schweizer Ingenieur- und Architektenverein SIA (Hrsg.): SIA-Norm 2052 „Hochleistungs-Faserbeton (UHFB) – Baustoffe, Bemessung und Ausführung“. Gültig ab 1.3.2016
- [3] Schweizer Ingenieur- und Architektenverein SIA (Hrsg.): SIA-Normreihe 269 „Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken“. 2011
- [4] Brühwiler, E.; Bastien Masse, M.: Strengthening the Chillon viaducts deck slabs with reinforced UHPFRC. In: IABSE Conf. 2015: Structural Engineering: Providing Solutions to Global Challenges, 23.–25.6.2015 in Genf (Schweiz), IABSE Symposium Report Vol. 105, 2015, S. 1171–1178
- [5] Perret, J.; Mühlberg, H.; Schär, P.; Cuennet, S.: Renforcement des viaducs de Chillon. Tracés, Bulletin technique de la Suisse romande 19 (2014), S. 7–10
- [6] OPAN Concept SA: Blaise Fleury – Experte UHFB, Realisierung: Auszug aus dem Gutachten zur Kontrolle der Umsetzung von UHFB auf den Viadukten Chillon N9
- [7] N04 Boli-Mettlen-Lindenbrücken: Projektautor und öBL (örtliche Bauleitung): INGE A4SZ Konsortium (Jauslin Stebler AG (Pilot), B+S AG, Locher Ingenieure AG) / Unternehmen: ARGE Konsortium N4 EP KüBru % Implenia Schweiz AG (Porr AG, Cellere)
- [8] VSS Norm SN 640 450 „Abdichtungssysteme und bituminöse Schichten auf Brücken mit Betondecken“. Ausgabe 12/2017
- [9] ASTRA 62011 KUBA 5.0 Fachapplikation Kunstbauten und Tunnel – Anwendungshandbuch (2013). Aufrufbar unter: <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/fachleute/dokumente-nationalstrassen/standards/kunstbauten.html> (geprüft am 5.2.2020)
- [10] Schweizer Ingenieur- und Architektenverein SIA (Hrsg.): SIA-Norm 269/2 „Erhaltung von Tragwerken – Betonbau“. Gültig ab 1.1.2011
- [11] Atelier Jordan & Comamala Ismail Architectes: CONCEPT ARCHITECTURAL ET PAYSAGER DES PASSAGES SUPERIEURS. Präsentation, 7.12.2018

-
- 9 Grußwort des Rektors
 - 13 Entwicklung des Instituts für Massivbau –
Lehre und Forschung im Brückenbau an der TU Dresden
 - 27 Die neue Erhaltungsstrategie des Bundes –
Planung und Bau von Brücken auf den Hauptverkehrsrouten
 - 33 Brücken aus bewehrtem UHPC (Stahl-UHFB)
 - 47 Nutzung von Ultra-Hochleistungs-Faserbeton (UHFB) im ASTRA –
Rückblicke und Perspektiven
 - 57 Neufassung der Nachrechnungsrichtlinie für Massivbrücken
 - 71 Historische Eisenbahnbrücken – Denkmale im Netz
 - 83 85 Jahre Autobahnbrückenbau – 30 Jahre Dresdner Brückenbausymposium
 - 101 Gerd Lohmer (1909–1981) – Der Brückenarchitekt der Nachkriegszeit
 - 123 Ersatzneubau der Rheinbrücke Leverkusen – Gesamtplanung
des 8-streifigen Ausbaus der A1 zwischen Köln und Leverkusen
 - 139 Ein neuer Schritt im Großbrückenbau: Querverschub einer Verbundbrücke mit Pfeilern
und Gründung bei der Talbrücke Rinsdorf im Zuge der A 45
 - 149 S-Bahn-Querung im neuen Stuttgarter Tiefbahnhof S21 –
erstmaliger Einsatz von interner verbundloser Vorspannung bei der DB AG
 - 165 Reduzierte Bauzeit bei Ersatzneubauten von Straßenbrücken durch Carbonbeton
 - 177 Robust, wirtschaftlich und schön – der Entwurf von integralen Brücken
 - 191 Neubau der Busbrücke über den Bahnhof in Zwolle
 - 207 Katastrophen vermeiden: Brückenmonitoring mit einem Netzwerk
leistungsstarker dreiachsiger MEMS-Beschleunigungssensoren
 - 213 Brückenvielfalt in Süddeutschland und den Alpen – Bericht zur Brückenexkursion 2019
 - 227 Chronik des Brückenbaus