

## Instandsetzen und Verstärken von Betonbauwerken und Bauteilen mit ultra-hochfestem Beton (UHPC)

Michael Schmidt, Kassel

### 1. Einführung

Ultra-Hochfester Beton ist ein besonders gefügedichter und daher sehr korrosionsbeständiger Hochleistungsbeton mit einer Druckfestigkeit von rd. 150 bis 200 N/mm<sup>2</sup>. Die hohe Festigkeit beruht in erster Linie auf zwei Maßnahmen: zum Einen auf einem sehr niedrigen w/z-Wert von nur etwa 0.20 und zum Anderen auf einer sehr dichten Kornpackung des Feinstkorns mit einer Korngröße von weniger als rd. 0.125 mm. Sie wird erreicht, indem zusätzlich zum Zement und zu Mikrosilika unterschiedlich feine Gesteinsmehle in gezielten Mengen eingesetzt werden, um eine möglichst hohlräumarme Kornzusammensetzung zu erreichen - meist in Form einer mehrfachen Ausfallsieblinie. Bild 1 zeigt ein bereits in der Praxis verwendetes Beispiel.

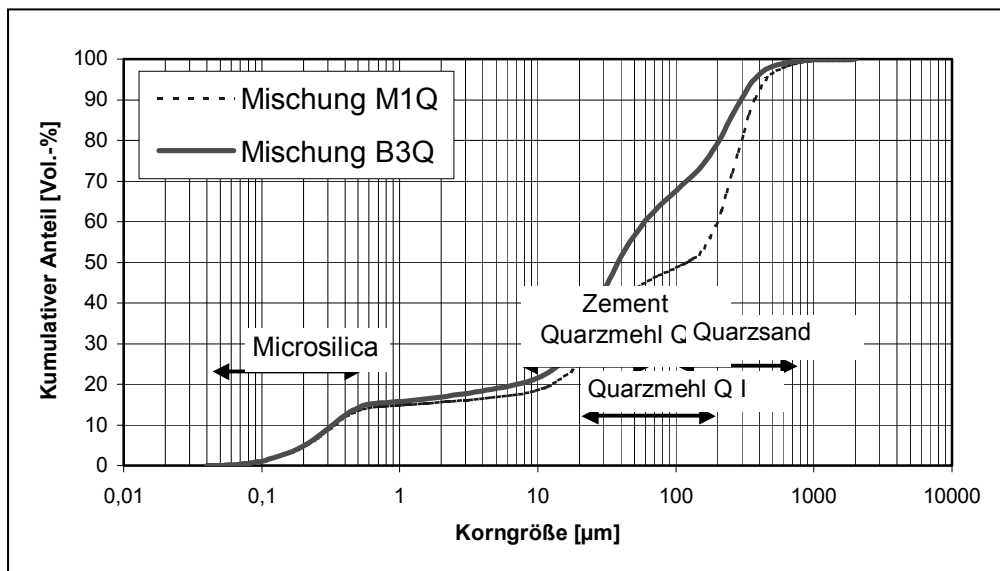


Bild 1. Kornzusammensetzung eines feinkörnigen UHPC nach [ 4 ]

Dadurch wird auch der Wasseranspruch des Feinmörtels so verringert, dass mit hoch wirksamen Fließmitteln trotz des niedrigen Wassergehaltes ein nahezu selbstverdichtender Beton hergestellt werden kann.

Der sehr gefügedichte ist Beton ist allerdings auch sehr spröde. Er würde bei Überbeanspruchung schlagartig versagen, was aus Gründen der Bausicherheit bei konstruktiven Bauwerken nicht akzeptabel ist. UHPC werden deshalb in aller Regel zwischen rd. 1 und rd. 3 Vol.-% feiner hochfester Stahlfasern zugegeben. dadurch wird eine ausreichende Duktilität und ein "gutmütiges" Versagen erreicht. Mit einer ausreichenden Fasermenge kann zudem die Biegezugfestigkeit durchaus bis zu 45 N/mm<sup>2</sup> erreichen, also etwa das Zehnfache von Normalbeton. Schlaffe Bewehrung

kann dadurch stark verringert werden oder - auch bei auf Zug- oder Biegezug beanspruchten Bauteilen - ganz entfallen. Ausführliche Angaben über die Ausgangsstoffe, zur Zusammensetzung und zu den Eigenschaften von UHPC sind [ 4 ] zu entnehmen. Bild 2 zeigt das im Vergleich zu üblichem porösem Normalbeton sehr dichte, praktisch kapillarporenfreie Gefüge eines feinkörnigen UHPC.

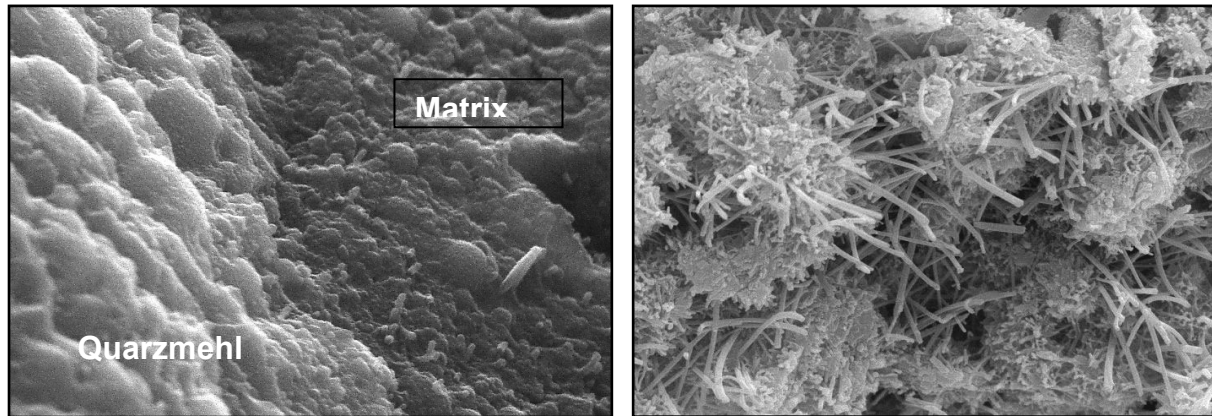


Bild 2: Kapillarporenfrees Gefüge von UHPC (links) im Vergleich zu Normalbeton C 30/37 (rechts). REM-Aufnahmen, Bildbreite 7µm (links) und 23 µm (rechts).

## 2. Neubau mit UHPC

UHPC ermöglicht es, wesentliche filigranere und damit leichtere und Bauwerke zu gestalten, als dies mit Normalbeton möglich ist. Die Spannweite von Brücken kann wesentlich verlängert und - aufgrund der hohen Druckfestigkeit - die Bauhöhe von Hochhäusern auf bis zu 700 m oder mehr erhöht werden.

Nach einigen wenigen Brücken in Kanada, Frankreich, Korea und Japan ist die erste größere Brücke mit UHPC in Deutschland, die Gärtnerplatzbrücke über die Fulda in Kassel, nahezu fertiggestellt [ 1 ]. Das sehr filigrane Bauwerk entsteht auf den Pfeilern einer abgängigen, nur rd. 30 Jahre alten Holzbrücke. Neben dem neuen Beton wird bei diesem leichten Stahl-UHPC-Verbundbauwerk ein weiterer Schritt in die Zukunft des Bauens getan: Die trotz einer Bemessungslast von 50 kN minimal nur rd. 8.5 cm dicken vorgespannten Deckenplatten aus UHPC werden mit den sehr filigranen, bis zu 36 m langen Obergurten aus UHPC mit einem Querschnitt von nur 30 x 40 cm dauerhaft tragend verklebt. Bild 3 zeigt den Stand des Bauwerks Anfang 2007. Über das Kleben der Bauteile aus UHPC und die dafür an der Universität Kassel durchgeführten Voruntersuchungen wurde u.a. in [2, 3] berichtet.

Die Betonfertigteile der rd. 140 m langen Fußgänger- und Radbrücke wurden im Fertigteilewerk der Firma ELO, Elementbau Osthessen mit den dort vorhandenen Misch- und Betoniereinrichtungen hergestellt. Die parallel zur längeren Seite mit Litzen vorgespannten rd. 5 x 2.20 m großen Platten wurden in einer aufrecht stehenden Schalung betoniert. Der sehr leicht verarbeitbare Beton wurde in die Schalung mit einem Schlauch eingebracht und mit Schalungsrüttlern praktisch vollständig entlüftet. Bild 4 zeigt eine der fertigen Betonplatten



Bild 3: Blick auf die Gärtnerplatzbrücke in Kassel; Stand Frühjahr 2007.  
Deckenplatten und Obergurte aus UHPC, Raumfachwerk aus Stahlrohren.



Bild 4: UHPC-Platte des Brückendecks

Die Oberfläche war sehr homogen, dicht und glatt. In Bild 5 ist das fertige, 36 m lange Mittelteil der Brücke mit den beiden Obergurten aus UHPC dargestellt, das danach mit einem Autokran auf die Pfeiler abgelegt wurde.

Die Oberflächenzugfestigkeit des Betons betrug etwa  $6-8 \text{ N/mm}^2$ . Dies führte zu der Überlegung, die beiden Bauteile nicht - wie üblich - mechanisch zu verbinden, sondern vollflächig miteinander zu verkleben, ähnlich wie dies bei Flugzeugen oder Autoteilen längst üblich ist. Verwendet wird ein gefülltes Epoxidharz der Firma SIKA, das seit vielen Jahren zum Kleben von Verstärkungslaschen und Kohlefaserlamellen auf Beton verwendet wird. Die Vorversuche an der Universität Kassel ergaben

erstaunliche Ergebnisse: so war es bei sorgfältigem Vorgehen möglich, dass aus zwei Teilen mittig zusammengeklebte Biegebalken nicht - wie bei Normalbeton üblich - schlagartig in der Klebefuge versagten, sondern unter Aktivierung der Fasern sehr duktil im faserbewehrten Beton! Die Biegezugfestigkeit und die Schubfestigkeit der Klebefuge erreichten dann die Werte des Betons - über  $15 \text{ N/mm}^2$ .



Bild 5: Mittelteil der Brücke mit ursprünglich gerade betonierte, erst bei der Montage an das Stahlfachwerk gebogenen Obergurten aus UHPC.

### 3. Instandsetzung und Verstärkung mit UHPC

Ultra-Hochfester Beton ist nun nicht nur für den Neubau von sehr dauerhaften Betonbauwerken geeignet, sondern auch für deren Instandsetzung und Verstärkung. Seine sehr hohe Widerstand gegen Frost- und Frost-Tausalzeinwirkung ebenso wie der sehr hohe Carbonatisierungswiderstand lässt dabei zunächst einmal an Verkehrsbauwerke denken, die nicht nur durch die dynamischen Verkehrslasten sondern auch durch die Witterung und durch Tausalz besonders beansprucht werden.

Die bereits fertiggestellte Planung für eine erste deutsche Straßenbrücke mit UHPC in Hessen sieht vor, nicht nur die Brückenkappen und einige konstruktive Verbindungsteile (Betonknoten) aus UHPC herzustellen. Erstmals sollte auf die sonst übliche Abdichtung des Brückendecks gegen Chloridangriff auf die Bewehrung der Tragkonstruktion durch Folien o.ä. verzichtet werden. Statt dessen war geplant, vor Ort eine nur rd. 3-4 cm dicke Schicht aus einem speziellen, mit 6 Vol.-% Stahlfasern unterschiedlicher Länge hoch faserhaltigen und dadurch besonders duktilen UHPC aufzubringen. Er wurde an der ETH Lausanne (Prof. Brühwiler) entwickelt und bereits an einer Kleinbrücke erprobt [ 3 ]. Bekannt ist, dass UHPC praktisch dicht gegen Chloridionen ist und so den tragenden Stahlbeton des Bauwerks ausreichend vor Korrosion schützt. [ 4, 5 ]. Im vorliegenden Fall soll noch eine Deckschicht aus Asphalt aufgebracht werden, um die Griffbarkeit der Oberfläche sicherzustellen. Längerfristig ist es das Ziel, UHPC als direkt befahrene, dünne Deckschicht für den Neubau und die Instandsetzung von Brücken und zur Instandsetzung hoch

beanspruchter Betonfahrbahnen zu verwenden. Bild 6 zeigen das Aufbringen des im Betonwerk hergestellten, trotz des hohen Faseranteils relativ leicht zu verarbeitenden Betons auf einer Versuchsbrücke in der Schweiz, die verbreitert und bei der das Brückendeck instandgesetzt werden musste (siehe Bild 7).



Bild 6: Hoch faserhaltiger UHPC der ETH Lausanne (Prof. Brühwiler) beim Aufbringen auf eine Brücke in der Schweiz. Fotos: ETH Lausanne [3].

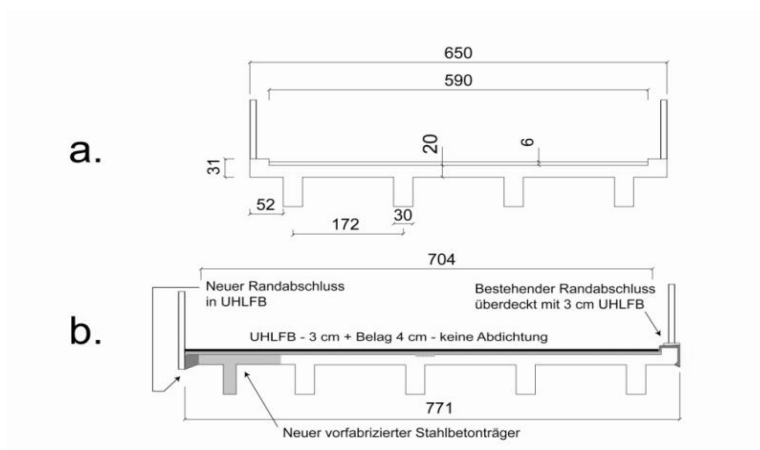


Bild 7: Querschnitt der mit UHPC instandgesetzten Brücke in Bild 6 [3].

Eine wesentliche Verbesserung der Tragfähigkeit ist auch bei abgängigen Beton- oder Asphaltfahrbahnen denkbar, indem sie mit einer etwa 4 bis 8 cm dicken, durchgehend bewehrten Deckschicht aus hochfestem oder ultra-hochfestem Beton überdeckt wird. Zu dieser allgemein als "Whitetopping" bezeichneten Instandsetzungsbauweise beginnt gerade mit finanzieller Förderung des MBV ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben an der Universität Kassel. Bereits realisiert wurde in den Niederlanden die Verstärkung ermüdeten orthotroper Brückenplatten von Stahlbrücken mit etwa 4 cm dicken bewehrten UHPC-Schichten, die mit Einbaufertigern aufgebracht wurden sowie die "Beschichtung" sehr hoch beanspruchter Industriebodenflächen [6].

Neben diesen "großen" Instandsetzungsmaßnahmen können auch kleinere Betonbauteile mit UHPC dauerhaft instandgesetzt und geschützt werden. Die Bilder 9 und 10 zeigen den Schutz einer Leiteinrichtung aus beton auf einer Brücke durch eine rd. 3 cm dicke Schicht des mit dem auch für das Brückendeck in Bild 6 verwendeten hoch-faserhaltigen UHPC der ETH Lausanne.



Bild 9: Schutz einer Brücken-Leiteinrichtung durch eine 3 cm dicke Schicht aus einem speziellen UHPC (Fotos: ETH Lausanne).

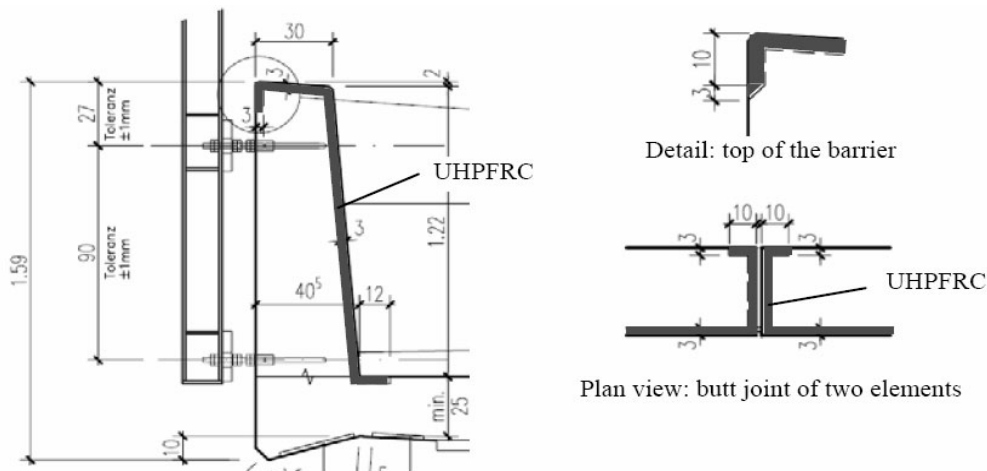


Bild 10: Querschnitt der Leiteinrichtung in Bild 9 gezeigten Leiteinrichtung (ETH Lausanne)

## Schrifttum

- [ 1 ] Schmidt, M., K. Bunje, E. Fehling, T. Teichmann: Brückenfamilie aus Ultra-hochfestem Beton in Niestetal und Kassel. Beton- und Stahlbetonbau 101 (2006) H. 6, S. 198-204.
  - [ 2 ] Teichmann, T., Krelaus, R.: Kleben von Ultra-Hochfestem Beton. Vortrag Ulmer Betontage 2007.
  - [ 3 ] Brühwiler, E., Habel, K., Denarie, E.: Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete for Advanced Rehabilitation of Bridges. Proc. fib-Symposium "Keep Concrete attractive", Budapest May 2005, Vol 2, pp. 951-956. ISBN 963 420 837 1.
  - [ 4 ] Fehling, E., Schmidt, M., Teichmann, T., Bunje, K., Bornemann, R., Middendorf, B.: Entwicklung, Dauerhaftigkeit und Berechnung Ultra-Hochfester Betone UHPC, Schriftenreihe Baustoffe und Massivbau, No. 1, Heft 1, 130 Seiten, Kassel University Press, GmbH, Kassel, 2005, ISBN 3-89958-108-3.
  - [ 5 ] Schmidt, M., E. Fehling, and C. Geisenhanslüke: Ultra High Performance Concrete (UHPC). Schriftenreihe Baustoffe und Massivbau - Structural Materials and Engineering Series, ed. M. Schmidt, E. Fehling, and C. Geisenhanslüke. Vol. 3. 2004, Kassel: kassel university press.
  - [ 6 ] Buitelaar, P.: Ultra Thin Heavy Reinforced High Performance Concrete Overlays. 6th Int. Symp. on Utilization ogf High Performance Concrete, Vol. 2. Ed. G. König, F. Dehn, T. Faust. Leipzig 2002.
  - [ 7 ] Oesterlee, C., E. Denarié und E. Brühwiler: UHPFR protection layer on the crash barrier wall of a bridge. Proc. Advances in Construction Mateials. July 23-24, Universität Stuttgart.
-