

Hochleistungsbeton mit Klebeverbindung^{*)}

Von der Entwicklung bis zur Anwendung

Von Thomas Deuse und Walter Ritter, Wiesbaden, sowie Christian Drössler und Thomas Drössler, Siegen

1 Einführung

Verklebungen weisen gegenüber mechanischen Verbindungen eine gleichmäßigere Kraftverteilung mit weniger Spannungsspitzen auf. Die Anwendungen sind vielfältig wie z. B. in der Flugzeugindustrie, wo große Teile der Materialverbindungen geklebt sind. Möglich ist dies durch homogene Werkstoffeigenschaften und hohe Oberflächenfestigkeiten. Im Baubereich beschränkt sich die Klebtechnik im Wesentlichen auf Fliesen, Platten und Systemsteine. Konstruktive Verklebungen wie im Holzbau sind – außer bei Klebedübeln – im Betonbau eher selten. Beton wird überwiegend mit Anschlussbewehrung oder mecha-

nisch verbunden. Hochleistungsbetone wie UHPC zeigen neben sehr hohen Druck- und Biegezugfestigkeiten insbesondere auch große Oberflächenzugfestigkeiten, die Klebeverbindungen ermöglichen. In diesem Beitrag wird die Entwicklung von einem Messexponat (Bild 1) bis zu einer ersten industriellen Anwendung aufgezeigt.

2 UHPC mit Spezialbindemittel

Ultra High Performance Concrete (UHPC) ist Hochleistungsbeton mit besonderen mechanischen Eigenschaften. Druckfestigkeiten im Bereich von 150 MPa bei 15 – 25 MPa

^{*)} Dieser Beitrag basiert auf einer Veröffentlichung in der BWI – BetonWerk International 6/2014, S. 52–59.

Biegezugfestigkeit und E-Moduln in der Größenordnung von 50.000 MPa werden durch eine dichte Packung des Zementsteingefüges in Verbindung mit einem niedrigen Wasserzementwert ($< 0,3$) erreicht. Die Herstellung von klassischem UHPC mit Normalzement und Silikastaub als reaktive Bindemittelkomponenten sowie ausgesuchten ofentrockenen feinteiligen mineralischen Füllstoffen ist dabei aus Gründen der Homogenität in Bezug auf Dosier- und Mischtechnik vergleichsweise aufwendig. Kornoptimierte Spezialbindemittel erlauben jedoch den Einsatz lufttrockener normaler Gesteinskörnung und üblicher Betonmischer. Hier ist kein Silikastaub erforderlich, da für die spätere dichte Packung des UHPC Rohstoffe wie Feinstzementkomponenten, synthetische Kieselsäuren und Quarzfeinmehle gezielt ausgewählt und aufeinander abgestimmt werden. In einem Hochleistungspulvermischer erfolgt dann in mehreren Schritten die finale Aufbereitung mit dem Basiszement. Das resultierende Bin-



Bild 1: UHPC-Treppe als Exponat auf der BAU 2011 a) seitlich b) von vorne

Bild 2: Biegezugprüfung

demittel wird wie konventioneller Zement im Silofahrzeug angeliefert und im Mischwerk in ein einziges Silo eingeblasen. Die üblichen Trog- oder Doppelwellenmischer sind zur Aufbereitung mit lufttrockenem Grubensand 0/2 mm, Edelsplitt 2/5 mm, Wasser und PCE-Fließmittel völlig ausreichend. Die Mischdauer für den selbstverdichtenden UHPC kann in Abhängigkeit von der Reaktivität des PCE-Fließmittels bis zu zehn Minuten betragen, wobei die Mischerkapazität nur zu 50 % nutzbar ist.

Die besonderen Eigenschaften des so hergestellten UHPC haben mittlerweile abseits der Bauindustrie neue Anwendungsfelder z. B. im Maschinenbau erschlossen. Maschinenbetten und Werkzeuggestelle aus UHPC sind aufgrund der hohen Dämpfung eine attraktive Alternative zu metallischen Werkstoffen, Polymerbeton und Naturstein [1].

UHPC ist extrem dauerhaft und besitzt eine sehr dichte und feste Oberfläche, die Voraussetzung für eine ausreichende Kraftübertragung bei Verklebung mit z. B. Reaktionsharz ist. Untersuchungen der TU Graz bescheinigen Epoxyverklebungen von Hochleistungsbeton mit mechanisch vorbehandelten Klebeflächen ein hohes Tragpotenzial [2]. Im Rahmen der Entwicklung wurden Klebeverbindungen von UHPC mit speziellen Epoxidharzmörteln untersucht. Dabei führte mittige Krafteinleitung direkt auf die Klebefuge bei Biegezugversuchen ausnahmslos zum Bruch im Beton und gab dessen Festigkeit wieder (**Bild 2**). Abrisse in der Klebefuge oder an den Grenzflächen wurden nicht beobachtet [3]. Dies bestätigt sich auch immer wieder bei anwendungstechnischen Prüfungen der Oberflächenzugfestigkeit, wo Stahlstempel mit Epoxidharz auf Betonplatten aufgeklebt

werden. Im Falle des beschriebenen UHPC erfolgt der Abriss immer am Boden der zur Begrenzung der Prüffläche gebohrten Ringnut und somit innerhalb des Betons.

3 Treppe aus verklebtem Hochleistungsbeton

Ein Beispiel der vielfältigen zukünftigen Anwendungen von UHPC zeigt die in Bild 1 dargestellte begehbbare Falltreppe. Die drei nur 29 mm dicken Einzelelemente sind mit Reaktionsharz zwischen jeweils zwei Glasscheiben eingeklebt.

Zur Herstellung der Einzelelemente wurde eine Feinkornmischung mit 75 kg/m³ Mikrostahlfasern stehend in Holzschalungen langsam eingefüllt, um dem selbstverdichtenden UHPC ausreichend Zeit zur Entlüftung zu geben. Die Elemente wurden nach einem Tag ausgeschalt und nach 28 Tagen mit Reaktionsharz zwischen den Glaswangen eingeklebt.

Nach vollständiger Aushärtung des Klebstoffs erfolgten erste Belastungstests mit zwei Betonwürfeln von jeweils 50 kg pro Stufe und zusätzlich eine seitliche Zugbelastung am oberen Ende der Glaswangen über an Traversen angehängte Betonwürfel (2 x 50 kg). Zur augenscheinlichen Beurteilung des Werkstoffverhaltens wurde der Prototyp später durch das Auflegen von zwei Fertigteilen mit insgesamt 7,4 t auf einer Holzkonsole belastet. Das entsprach 1,85 t/Stufe, ohne dass Anzeichen für ein Versagen in Beton, Glas oder Klebefuge sichtbar waren (**Bild 3**).

Die Belastung bis zum Versagen erfuhr vorgenannter Prototyp schließlich im Otto-Mohr-Laboratorium des Instituts für Massivbau der Techni-

schen Universität Dresden. Im Prüfbericht heißt es dazu: „Um lokale Spannungsspitzen in den Aufstandsflächen der Wangen aus Verbundglasscheiben zu vermeiden, wurden diese auf Gummilagern aufgelagert. Da flächige Belastungen experimentell nur schwierig zu realisieren sind, wurde jede der fünf Treppenstufen mittig mit einer Einzellast beaufschlagt. Die Lasteinleitungsflächen betragen jeweils 200 mm x 200 mm. Die Belastung erfolgte dann mit Hilfe von synchronisierten Hydraulikpressen. Die Belastungsgeschwindigkeit betrug ca. 0,5 kN/s. Um die Lasten in die Treppe einleiten zu können, waren die Stufen zuerst durchbohrt worden. Durch die Bohrungen wurden GEWI-Stäbe geführt. Am oberen Ende waren die Hydraulikpressen befestigt. Am unteren Ende waren die Stangen kraftschlüssig im Aufspannfeld verankert. An der ersten, dritten und fünften Stufe wurden jeweils drei induktive Wegaufnehmer (IWA) angeordnet, mit denen die vertikalen Verformungen der Stufen gemessen werden konnten. Unterhalb der mittleren dritten Stufe erfolgte die Anordnung von drei Dehnmessstreifen (DMS) zur Messung der horizontalen Verformungen.“

Zu den Ergebnissen heißt es weiter: „Insgesamt ist der Belastungsversuch (**Bild 4**) erfolgreich verlaufen. Die Tragfähigkeit der Treppe war enorm hoch. Insgesamt wurden fast 110 kN (das entspricht etwa 11 Tonnen Gewicht) in die Konstruktion eingeleitet. Dies entspricht einer Flächenlast von deutlich mehr als 70 kN/m², was weit oberhalb der üblicherweise anzusetzenden Flächenlasten für Treppen u. ä. liegt. Das Versagen wurde schließlich durch einen Bruch im Bereich der Klebefuge zu einer Glaswange hervorgerufen. Positiv war weiterhin das deutlich duktile Verhalten der



Bild 3: Belastungstest im Fertigteilwerk



Bild 4: Belastungstest TU Dresden

Konstruktion, obwohl kein Bewehrungsstahl eingelegt worden war.“ [4].

4 Schwimmkörper aus geklebtem Hochleistungsbeton

Basierend auf den Erfahrungen mit dem Messexponat fertigte das Fertigteilwerk eine „Hochleistungs-

betonschachtel“ (3 m x 1 m x 1 m) als Schwimmkörper aus unbewehrten UHPC Platten (Seitenteile $d = 2$ cm, Stirnseiten $d = 3$ cm, Bodenplatte $d = 5$ cm). Die Verklebung mit Reaktionsharz erfolgte an vorbehandelten Klebeflächen durch einfaches Aneinanderfügen ohne Abstandhalter. Nachdem die Wasserdichtigkeit festgestellt war, wurde das Bauteil zusätzlich mit einem 800 kg schwe-

ren Systemstein aus Beton beladen (Bild 5) und im Rhein schwimmend ausgelagert. Als nach mehreren Wochen kein Wassereintritt zu beobachten war, erfolgte der Bau einer deutlich größeren Konstruktion ($l = 4,0$ m, $b = 3,0$ m, $h = 2,50$ m). Auch hier wurden die aufgehenden Wände ohne Abstandhalter in den mit Spachteln aufgetragenen Reaktionsharzklebemörtel gestellt, sodass das



Bild 5: Hochleistungsbetonschachtel mit Systemstein



Bild 6: Betonponton aus verklebtem Hochleistungsbeton

Größtkorn des Klebers mit weniger als 1 mm die Dicke der Klebefuge bestimmte. Der fertige Schwimmkörper hatte ein Gewicht von 8 t und wurde über Monate erfolgreich in einer Teichanlage getestet (Bild 6). Auf Basis dieser Praxisergebnisse erhielt die TU Dresden den Auftrag zur Bemessung und Statik für Schwimmkörper aus Hochleistungsbeton.

5 Bemessung und Statik eines modularen Pontonsystems

Aus vorgenannten orientierenden Versuchen entstand die Idee zu einem praktisch nutzbaren modularen Pontonsystem aus geklebten Hochleistungsbetonelementen. Die Platten sollen industriell in einheitlichen Abmessungen wirtschaftlich zu fertigen sein und später mit normalen Transporten bewegt werden können. Daraus entstanden folgende Abmessungen: Seitenwände 2 m x 3 m, Bodenplatte 3 m x 3 m, Deckel 3 m x 3 m mit Mannloch.

In einem Metallrahmen als Kantenschutz werden die Platten ausgerichtet, miteinander verklebt und im

Inneren durch Spanten sowie einen Ringkasten im Bereich der Eiswasserlinie verstärkt. Außen liegende Spannseile schließen die Pontonmodule entsprechend der notwendigen Tragfähigkeit zu Verbänden zusammen. Genutzt werden kann dies z. B. für Schwimmhäuser (Floating Homes) oder auch als Arbeitsplattform für Maschinen. Gegenüber Stahlpontons ist vorteilhaft, dass bei Beton keine Wartungsarbeiten wie Korrosionsschutz erforderlich sind. Für die Stabilität eines schwimmenden Körpers ist das sogenannte Metazentrum entscheidend, das sich als Schnittpunkt der Auftriebsvektoren definiert. Bei zentrischer Belastung ist die Schwimmelage stabil; kritisch wird es bei Lastverschiebungen oder bei Ausfall eines Schwimmkörpers. Diese Lastfälle wurden in der Statik der TU Dresden untersucht und es heißt zusammenfassend: „Alle Körper schwimmen bei der angegebenen Zuladung stabil, lediglich der ‚1er‘ verliert mit einer Zuladung von ca. 400 kg seine Schwimmstabilität. Die Schwimmstabilität ist abhängig von dem Schwerpunkt der Zuladung. Daher wird in der Legende zu Bild 7 angegeben, wie hoch sich die maxi-

male Zuladung über Deck befinden darf, d. h. der ‚9er‘ schwimmt auch mit voller Zuladung, also voll eingetaucht stabil, wenn sich der Schwerpunkt der Zuladung maximal 3,125 Meter über Deck befindet. Eine derartige Schwerpunktlage würde also durchaus ein zweistöckiges Haus ermöglichen.“ [5].

Die modular in industrieller Fertigung herstellbaren Einzelpontons ermöglichen eine variable Anordnung von Plattformen (Bild 7), die auch wieder zu demontieren und zu verändern sind: „Es kann gezeigt werden, dass die einzelnen Pontons sicher zu einer Gesamtplattform zusammengespannt werden können, die in der Lage ist, große Lasten sicher zu tragen und die notwendige schiffbauliche Stabilität aufweist. Die Konstruktion kann in weiten Bereichen den Einsatzbedingungen angepasst werden. Detailpunkte, wie der Deckaufbau, müssen hierzu geändert werden, die Gesamtkonstruktion kann aber übernommen werden.“ [5].

Die Konstruktion der Platten erfolgte in Verbundbauweise mit $d = 4$ cm.

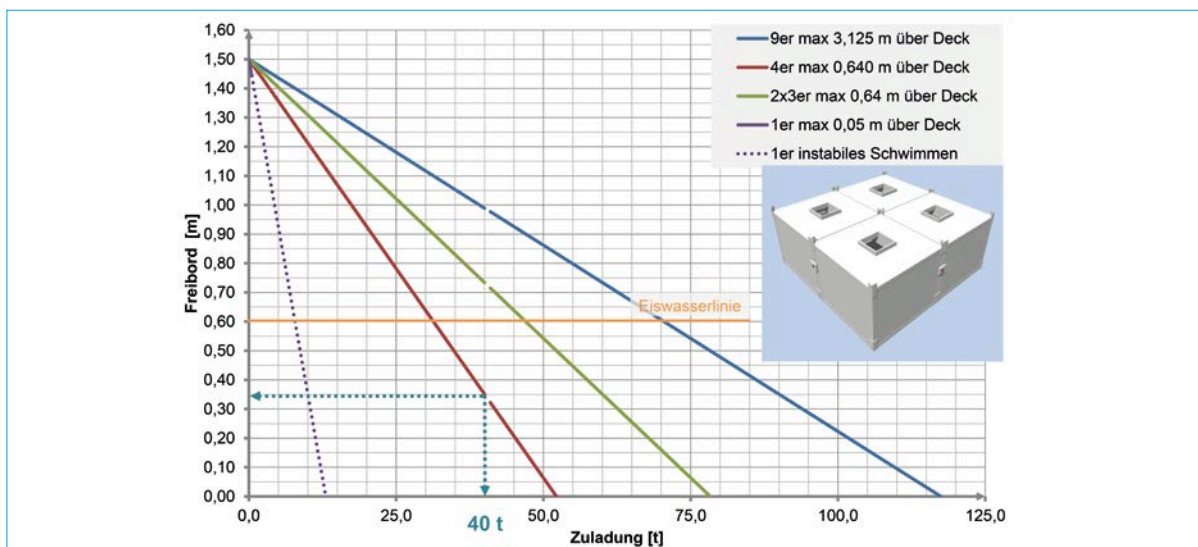


Bild 7: Schwimmzustände

Das Carbon Gelege Sigratex Grid 350 wurde im frischen Zustand in eine 3,5 cm dicke selbstverdichtende Grobkornmischung mit 60 kg/m³ Mikrostaalfasern eingelegt. Durch Aufsprühen von Wasser bzw. Nachbehandlungsmittel wurde die üblicherweise entstehende Elefantenhautbildung verzögert und ein guter Verbund mit der unmittelbar nachfolgenden ebenfalls selbstverdichtenden 0,5 cm dicken Feinkornmischung erzeugt. Am Riss einer bis zum Versagen belasteten Prüfplatte sind der gute Schichtverbund und die einzelnen Bestandteile der Konstruktion deutlich zu erkennen: oben die Grobkornmischung mit Basaltsplitt und Mikrostaalfaser, unten die Feinkornmischung mit dem Carbon Gelege in der Zugzone (Bild 8).

Das Gebrauchsverhalten wurde an 2 m langen und 30 cm breiten UHPC-Brettern im 4-Punkt-Biegezugversuch im Otto-Mohr-Laboratorium des Instituts für Massivbau der TU Dresden getestet (Bild 9). Das

Verhalten des Verbundwerkstoffs wird wie folgt beschrieben: „Im Weiteren stellt sich dann eine relativ enge Rissbildung ein mit Rissabständen um die 4 bis 6 cm. Diese ist bei einer Durchbiegung von ca. 35 mm (1/54) nahezu abgeschlossen. Dies stellt ein recht günstiges Verhalten für die Pontons dar, da die Beanspruchung zwar örtlich einen Riss erzeugt, infolge der großen Verformungsfähigkeit diese aber sofort auf große Plattenteile verteilt werden kann. Als Stichwort wäre hier die Plastizitätstheorie im Stahlbau bzw. hier im Betonbau die Bruchlinientheorie zur Plattenberechnung zu erwähnen, womit eine sehr wirtschaftliche Bemessung erreicht werden kann. Bezüglich der Dichtigkeit sind keine Nachteile zu erwarten, da der Querschnitt über eine ausreichende Druckzone verfügt und diese die Dichtigkeit der Konstruktion gewährleistet.“

Weiter heißt es: „Das Verbundverhalten zwischen der textilen Bewehrung und dem Feinbeton ist ver-

gleichbar mit dem bisher verwendeten Textilbetone. Jedoch können größere Kräfte je Längeneinheit (Verbundfluss) von der Matrix in das Textil eingeleitet werden. Dies wird hauptsächlich auf die größere Biegezugfestigkeit der hier verwendeten Matrix zurückgeführt. Diese größere Zugfestigkeit des Feinbetons resultiert auch in einer höheren Erstrisslast des Textilbetons und führt zu einer Vergrößerung der Rissabstände. Die hohe Erstrisslast wird im geplanten Anwendungsfall als vorteilhaft angesehen, da die Bemessung primär gegen diese Risslast geführt werden soll. Die textilen Bewehrungen sollen sicherstellen, dass die Platte nicht mit dem ersten Riss weit aufreißt und unbrauchbar wird, sondern ein gutartigeres Nachrissverhalten zeigt. Die typischen breiten Einzelrisse der mit kurzen Staalfasern bewehrten Faserbetonplatte werden durch die textile Bewehrung auf mehrere kleinere Einzelrisse verteilt, eine gewisse Laststeigerung ist auch nach dem Aufreißen möglich, da die Zugkräfte



Bild 8: Sandwichquerschnitt (d = 4 cm) nach Prüfung



Bild 9: Prüfeinrichtung TU Dresden

von Beton in die Fasern übertragen werden können und somit auch im Rissquerschnitt weiterhin ein Moment übertragen werden kann. Mit der dazugehörigen Druckzone ist sichergestellt, dass die Konstruktion wasserdicht bleibt“ [6].

Statik und Bemessung der TU Dresden liegen exemplarisch vor und können auf geeignete Konstruktionen übertragen werden. Dabei ist aus Sicherheitsgründen zu empfehlen, die horizontalen und vertikalen Ecken der Pontons durch eingeklebte Betonelemente – auch zur Verlängerung des Fließwegs – zu verstärken. Die Verbindungen mit definierter Klebefuge sind dabei im Rahmen einer Eignungsprüfung für den vorgesehenen Reaktionsharzmörtel im konkreten Anwendungsfall nachzuweisen.

6 Vorhangfassade mit Betonwerksteinelementen

Infolge notwendiger sehr aufwendiger Zustimmungen im Einzelfall wird UHPC in Deutschland bislang selten als konstruktiver Werkstoff eingesetzt, obwohl er bei langfristiger Betrachtungsweise insbesondere aufgrund seiner hohen Dauerhaftigkeit auch wirtschaftlich interessant wäre. Für den UHPC haben sich dennoch interessante Einsatzgebiete ergeben. Beim Neubau einer Firmenzentrale in Gummersbach kamen z. B. für 900 m² Sichtbeton-Vorhangfassade großformatige sehr dünne unbewehrte Fassadenplatten als Alternative zu Naturstein zum Einsatz (Bild 10). Die von Geschoss zu Geschoss spannenden Betonwerksteinelemente mit hoher Biegezugfestigkeit sind rund 3 m lang und 4 cm dick. Die Elemente wurden mit Halte- und Tragankern aus nichtrostenden Stählen an der Tragkonstruktion befestigt [7]. Dieses

Projekt war die erste größere baupraktische Anwendung zur Verifizierung der sehr viel versprechenden Laborergebnisse in Bezug auf die Dauerhaftigkeit der hier beschriebenen UHPC. Anders als beim klassischen UHPC mit Normzement und Silikastaub besteht der reaktive Bindemittelanteil aus bewährten kornoptimierten Hauptbestandteilen Portlandzementklinker und Hütten sand (entsprechend CEM II/B-S 52,5). Dieses Bindemittelkonzept und seine Hydratationssteuerung durch anorganische nanostrukturierte synthetische Oxide war Gegenstand eines BMBF-Projekts. Die Bauhaus Universität Weimar untersuchte dort anwendungsfreundliche energieeffiziente Hochleistungsbetone u. a. auf beschleunigte Carbonatisierung, Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand und Chloridmigration. Die dabei festgestellte außergewöhnliche Beständigkeit erfuhr durch Klimawechsellagerung über 12 Monate mit extrem AKR-sensibler Gesteinskörnung eine weitere Bestätigung [8].



Bild 10: Vorhangfassade einer Firmenzentrale in Gummersbach

7 Fertigteillemente für die Garnelenfarm Grevesmühlen

Ausgehend vom Prototyp eines geklebten Bassins als Messeexponat auf der EuroTier 2012 (Bild 11) begann der Fertigteilhersteller zusammen mit dem Unternehmen Green Aqua Farming mit der Entwicklung von Fischzuchtanlagen als modulare Konstruktion in beliebiger Größe aus miteinander verklebten UHPC Einzel-elementen. Für die Garnelenzuchtanlage Grevesmühlen wurde eine doppelstöckige Konstruktion mit einer Länge von 35 m und 5 m Breite ausgearbeitet. Mit nur 6 cm Wanddicke wurden die Einzelemente mit selbstverdichtendem UHPC hergestellt (Bild 12). Der UHPC enthält keinerlei Bewehrung und die Elemente für das untere Becken sind in einem Guss bereits mit Stützen für das obere Becken ausgeführt worden. Nach Positionierung der unteren UHPC-Beckenelemente (Bild 13) auf vorbereiteten Betonbalken und Elastomerbändern wurden die oberen UHPC-Elemente auf Trägern und



Bild 11: Exponat auf der EuroTier 2012

Querriegeln aus hochfestem Normalbeton mit einer eigens konstruierten Hebevorrichtung aufgelegt, die in bereits bestehenden Hallen anwend-

bar ist (Bild 14). Nach Abschluss der Montage erfolgte der Verschluss der Stöße durch Einkleben von Laschen mit Reaktionsharzklebstoff (Bild 15).

Zur Abdichtung der Fugen zwischen Laschen und Beckenelementen kam ein hydraulischer Mörtel mit Trinkwasserzulassung zum Einsatz [9].



Bild 12: Betonage mit dem selbstverdichtendem UHPC



Bild 13: Unteres Beckenelement



Bild 14: Oberes Beckenelement



Bild 15: Stoßfugenausbildung



Bild 16: Fertiggestelltes oberes Becken



Bild 17: Gefülltes unteres Becken

Tafel 1: Zusammensetzung der UHPC

		Grobkornzusammensetzung	Feinkornzusammensetzung
Nanodur® Compound 5941 grau (NC)	kg/m ³	1.050	1.210
Wasser/NC	–	0,16	0,17
Gesteinskörnung			
Rheinsand 0/2	kg/m ³	430	–
Quarzsand < 0,5 (feuergetrocknet)	kg/m ³	–	950
Basaltsplitt 2/5	kg/m ³	880	–
Stahlfaser 015 x 0,9 mm	kg/m ³	60	–
PCE Fließmittel auf NC	M.-%	1,3	1,9
Druckfestigkeit ¹⁾	MPa	> 150	> 130
3-Punkt-Biegezugfestigkeit ¹⁾	MPa	> 20	> 18

¹⁾ Prisma 4 cm x 4 cm x 16 cm, Prüfkörperlagerung 28 Tage unter Wasser, ca. 10 % niedrigere Festigkeit bei Einsatz von Nanodur Compound 5941 weiß

8 Ausblick

UHPC wird im konstruktiven Ingenieurbau auf absehbare Zeit nur mit zeit- und kostenaufwendiger Zustimmung im Einzelfall realisierbar sein. Ein Beitrag zu schnellerer Umsetzung ist die Vereinfachung der Herstellprozesse von UHPC. Im Falle des vorgestellten UHPC gewährleistet die intensive industrielle Vormischung der reaktiven Bindemittelkomponenten und ausgewählter feiner Gesteinskörnung in Hochleistungspulvermischern mit Messerköpfen eine konstante Qualität des anwendungsfertigen Bindemittels. Durch Mischen mit konventioneller Gesteinskörnung – wie im einfachsten Fall nur lufttrockener Sand 0/2 mm – in normalen Betonmischern ist die Herstellung des Hochleistungsbetons vergleichsweise einfach und in jedem Fertigteilwerk

ohne besonderen Aufwand umsetzbar. Die erfolgreiche Herstellung von inzwischen drei Doppelstock-Becken für die Garnelenfarmen Grevesmühlen und Fluxx² [10] aus unbewehrtem, dünnwandigem UHPC zeigt neue Möglichkeiten für die Betonbauweise auf. Die Montage mit Reaktionsharzklebstoff – die nur durch die große Oberflächenzugfestigkeit des UHPC möglich ist – kann zusätzlich weitere interessante Anwendungsfelder erschließen.

9 Literatur

- [1] Sagmeister, B.; Deuse, T.: Anwendungen von UHPC auf Basis eines Spezialbindemittels in Bautechnik und Maschinenbau, BWI BetonWerk International, 1/2012
- [2] Nguyen, V. T.; Winkler, M.; Freytag, B.: TU Graz, Modulare Bauweise in der Betonfertigteilindustrie – Verbindungen für UHPC-Fertigteile, BWI BetonWerk International, 4/2011

- [3] Müller, M.: www.bostik.de, Prüfungen Klebemörtel (unveröffentlicht)
- [4] Curbach, M.; Schladitz, F.: Untersuchungsbericht zur Tragfähigkeit einer Treppe, TU Dresden, Februar 2012 (unveröffentlicht)
- [5] Curbach, M.; Michler, H.: Statische Berechnung und Abschätzung der Schwimmstabilität von Plattformen aus Einzelschwimmkörpern aus Ponton F, TU Dresden, Juli 2013 (unveröffentlicht)
- [6] Curbach, M.; Michler, H.: Tragfähigkeit und Bauteilwiderstand von Textil verstärkten Faserbetonplatten unter Verwendung von Dyckerhoff Nanodur Compound 5941 und Sigratex Grid 350, TU Dresden, Juli 2013 (unveröffentlicht)
- [7] Drössler, T.: Selbstverdichtende Hochleistungsbetone (HPC und UHPC) als Architekturbetone für Fassaden und Sonderanwendungen, BWI BetonWerk International, 4/2012
- [8] BMBF Projekt OLAF, Nanotechnologisch optimierter, langlebiger, energieeffizienter und insbesondere anwendungsfreundlicher Hochleistungsbeton, Förderkennzeichen 03X0066A, TIB Hannover, 2012
- [9] Deuse, T.; Drössler, T.: York Dyckerhoff, Fischzuchtanlage aus Hochleistungsbeton, Portland 62/2014 (Mitarbeiterzeitschrift BUZZI Unicem)
- [10] York Dyckerhoff, Gerrit Quantz, <http://www.greenaquafarming.de/>

Bauschild

Bindemittelhersteller	Dyckerhoff GmbH, Wiesbaden / Zementwerk Neuwied
Fertigteilwerk	Benno Drössler GmbH & Co. Bauunternehmung KG, Siegen
Betonprüfungen	Wilhelm Dyckerhoff Institut, Wiesbaden
Untersuchung der Klebeverbindungen	Bostik GmbH, Borgholzhausen