

**SONDERDRUCK
BWI 6/14**



-  Abcic
-  ABTC
-  ACI
American Concrete Institute
-  American Concrete Pipe Association
-  bibm
-  BRITISH PRECAST
-  ICPI
International Concrete Pipe Institute
-  OPMA
International Association
-  CPI
-  NATIONAL PRECAST
-  NPCA
-  NZCS
-  PCI
-  PORTLAND CEMENT
www.portlandcement.com

Von der Entwicklung bis zur Anwendung

Hochleistungsbeton mit Klebeverbindung

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 Klebetechnik 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 mechanisch verbunden. Hochleistungsbetone wie UHPC zeigen neben sehr hohen Druck- und Biegezugfestigkeiten insbesondere auch große Haftzugfestigkeiten, die Klebeverbindungen ermöglichen. Im folgenden Beitrag wird die Entwicklung von einem Messexponat (Abb. 1) bis zu einer ersten industriellen Anwendung aufgezeigt.

■ Thomas Deuse und Walter Ritter,
Dyckerhoff GmbH, Deutschland
Christian Drössler und Thomas Drössler,
Benno Drössler GmbH & Co. Bauunternehmung KG,
Deutschland ■

UHPC mit Dyckerhoff Nanodur Compound 5941

Ultra High Performance Concrete UHPC ist Hochleistungsbeton mit besonderen mechanischen Eigenschaften. Druckfestigkeiten im Bereich von 150 MPa bei 15 – 25 MPa Biegezugfestigkeit und E-Moduli in der Größenordnung von 50.000 MPa werden durch eine dichte Packung des Zementsteingefüges in Verbindung mit einem niedrigen Wasser/Zement Wert ($< 0,3$) 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 aufwändig. Dyckerhoff stellt dagegen mit Nanodur Compound 5941 ein Spezialbindemittel her, das den Einsatz lufttrockener normaler Gesteinskörnung und üblicher Betonmischer erlaubt. 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 im Zementwerk Neuwied erfolgt dann in mehreren Schritten die finale Aufbereitung mit dem Basiszement CEM I 52,5 R. Das resultierende Bindemittel Nanodur Compound 5941 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 0/2mm, 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 10 Minuten betragen, wobei die Mischerkapazität nur zu 50 % nutzbar ist.

Die besonderen Eigenschaften des mit Nanodur Compound 5941 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



Abb. 1: UHPC-Treppe als Exponat auf der BAU 2011



Abb. 2: Biegezugprüfung



■ **Thomas Deuse, Dipl.-Ing.**, studierte in Siegen Bauingenieurwesen. Berufliche Stationen waren Bauleiter bei Gartenmann, Anwendungstechniker im Bereich anorganische Chemieprodukte der Degussa AG, Projektleiter bei Peri sowie bautechnischer Berater bei der Ceca Klebstoff GmbH. 1996 Eintritt in die Dyckerhoff AG, Wiesbaden, zunächst mit Aufgaben im technischen Vertrieb Spezialbaustoffe und später im Produktmarketing Bindemittel und Zement. Seit 2011 verantwortlich für die Produktentwicklung und den Vertrieb der Spezialbaustoffe der Dyckerhoff GmbH. thomas.deuse@dyckerhoff.com



■ **Christian Drössler, Dipl.-Ing.**, studierte Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen und dem Imperial College in London. Nach dem Studium Mitarbeit im Ingenieurbüro und der Bauausführung der Laumer Bautechnik GmbH in Massing. Seit 1997 im Familienbetrieb Benno Drössler GmbH & Co. Bauunternehmung KG, Siegen, hier seit 1999 Mitglied der Geschäftsführung. [christian.droessler.de](mailto:christian.droessler@droessler.de)



■ **Thomas Drössler, Dipl.-Ing. Arch.**, studierte Architektur an der RWTH Aachen sowie an der University of Sheffield. Beginn der beruflichen Laufbahn im Bereich Ausschreibung und Projektleitung bei der Nessler Grünzig Bau GmbH, Aachen. Seit 2001 im Familienbetrieb Benno Drössler GmbH & Co. Bauunternehmung KG, Siegen, verantwortlich für Vertrieb, Projektleitung und Kalkulation im Bereich Hochbau/Ingenieurbau, Fassaden und Produktentwicklung. [thomas.droessler.de](mailto:thomas.droessler@droessler.de)



■ **Walter Ritter, Ass. Jur.**, studierte Rechtswissenschaften an den Universitäten Marburg und Göttingen. Geschäftsleitungsmitglied bei der Firmengruppe Kimm in Kassel, danach bei Hochtief u.a. als Geschäftsführer der Hochtief Baustoff GmbH, Berlin. 1997 Eintritt in die Dyckerhoff AG, Wiesbaden, mit verschiedensten Managementaufgaben im In- und Ausland in den Bereichen Transportbeton, Betonprodukte sowie in Sand- und Kiesgewinnung. mail@walter-ritter.com

von Hochleistungsbeton mit mechanisch vorbehandelten Klebeflächen ein hohes Tragpotenzial [2]. Im Rahmen der Entwicklung wurden Klebeverbindungen von Nanodurbeton mit speziellen Epoxidharzmörteln bei der Bostik GmbH in Borgholzhausen untersucht. Mittige Krafteinleitung direkt auf die Klebefuge führte bei Biegezugversuchen ausnahmslos zum Bruch im Beton und gab dessen Festigkeit wieder (Abb. 2). Abrisse in der Klebefuge oder an den Grenzflächen wurden nicht beobachtet [3]. Dies bestätigt sich auch immer wieder bei anwendungstechnischen Prüfungen der Haftzugfestigkeit im Wilhelm Dyckerhoff Institut, wo Stahlstempel mit Epoxidharz auf Betonplatten aufgeklebt werden. Im Falle von UHPC mit Nanodur Compound 5941 als Bindemittel erfolgt der Abriss immer am Boden der zur Begrenzung der Prüffläche gebohrten Ringnut und somit innerhalb des Betons.

Treppe aus verklebtem Hochleistungsbeton als Messexponat auf der BAU 2011

Blickfang des Dyckerhoff Messestandes auf der BAU 2011 in München war - ähnlich wie in der Automobilindustrie - ein Prototyp, der zukünftige Möglichkeiten der Betonanwendung andeuten sollte. Das von der Benno Drössler GmbH & Co. Bauunternehmung KG, Siegen, hergestellte Exponat (Abb. 1) bestand aus 3 Elementen einer begehbaren 29 mm dicken Faltrappe aus weißem Hochleistungsbeton. Das Falterwerk war mit Reaktionsharz zwischen zwei Glasscheiben eingeklebt. Zur Herstellung der Einzelelemente wurde eine Feinkornmischung (Drössler Ultralith FG) mit 75 kg/m³ Mikrostahtfasern stehend in Holzschalungen langsam eingefüllt, um dem selbstverdichtenden Nanodurbeton 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



Abb. 3: Belastungstest Fertigteilwerk Drössler, Deutschland



Abb. 4: Belastungstest TU Dresden, Deutschland

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 (Abb. 3).

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

leiten 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...

...Insgesamt ist der Belastungsversuch (Abb. 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 Konstruktion, obwohl kein Bewehrungsstahl eingelegt worden war.“ [4].

Schwimmkörper aus geklebtem Hochleistungsbeton

Basierend auf den Erfahrungen mit dem Messexponat fertigte die Fa. Drössler im Auftrag von Dyckerhoff eine „Hochleistungsbetonschachtel“ (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 schweren Systemstein aus Beton beladen (Abb. 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 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 (Abb. 6). Auf Basis dieser Praxisergebnisse erhielt die Technische Universität Dresden den Auftrag zur Bemessung und Statik für Schwimmkörper aus Hochleistungsbeton.

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. Außenliegende 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 Abb. 7 angegeben, wie hoch sich die maximale 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].



Abb. 5: Hochleistungsbetonschachtel mit Systemstein



Abb. 6: Betonponton aus verklebtem Hochleistungsbeton

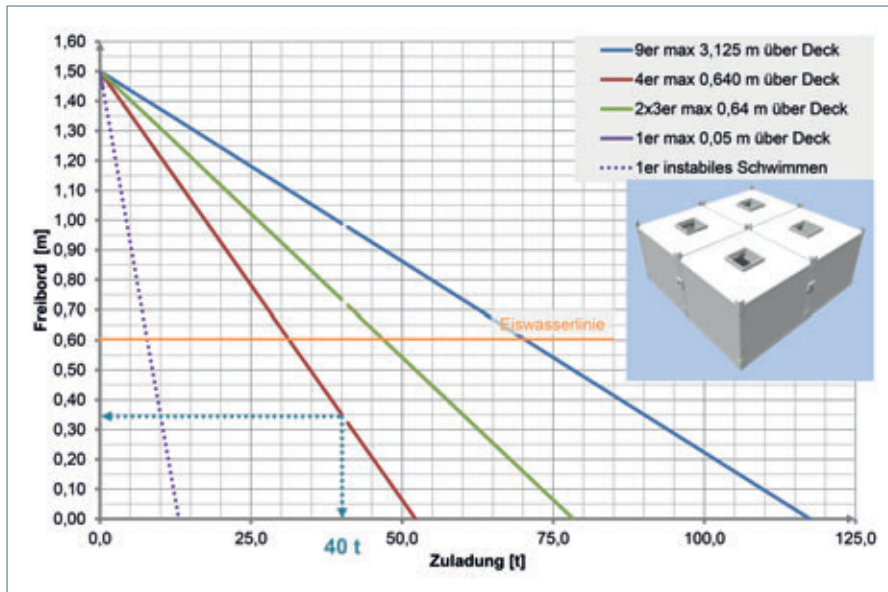


Abb. 7: Schwimmzustände


 Abb. 8: Sandwichquerschnitt
($d = 4 \text{ cm}$) nach Prüfung

Die modular in industrieller Fertigung herstellbaren Einzelpontons ermöglichen eine variable Anordnung von Plattformen (Abb. 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 als Verbundbauweise mit $d = 4 \text{ cm}$. Das Carbon Gelege Sigratex Grid 350 wurde im frischen Zustand in eine 3,5 cm dicke selbstverdichtende Grobkornmischung mit 60 kg/m^3 Mikrostahlfasern (Drössler Ultralith SG MSF) 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 (Drössler Ultralith FG) 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 Basaltspalit und Mikrostahlfaser, unten die Feinkornmischung mit dem Carbon Gelege in der Zugzone (Abb. 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 Technischen Universität Dresden getestet (Abb. 9). Das Verhalten des Verbundwerkstoffes 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 ...



Abb. 9: Prüfeinrichtung TU Dresden, Deutschland



Abb. 10: Vorhangfassade der Ferchau Firmenzentrale, Deutschland

... Das Verbundverhalten zwischen der textilen Bewehrung und dem Feinbeton ist vergleichbar mit dem bisher verwendeter 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 Stahlfasern bewehrten Faserbetonplatte werden durch die textile Bewehrung auf mehrere kleinere Einzelrisse verteilt, eine gewisse Laststeigerung ist auch nach dem Aufreißen möglich, da die Zugkräfte vom 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 Technischen Universität 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



Abb. 11: Exponat auf der EuroTier 2012

Betonelemente – auch zur Verlängerung des Fließweges – zu verstärken. Die Verbindungen mit definierter Klebefuge sind dabei im Rahmen einer Eignungsprüfung für den vorgesehenen Reaktionsharzmörtel im konkreten Anwendungsfall nachzuweisen.

Drössler Ultralith der Benno Drössler Bauunternehmung

Infolge notwendiger sehr aufwändiger 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 Drössler Ultralith (UHPC auf Basis Dyckerhoff Nanodur Compound 5941) haben sich dennoch interessante Einsatzgebiete ergeben. Beim Neubau der Ferchau Firmenzentrale in Gummersbach kamen z.B. für 900 m² Sichtbeton Vorhangfassade großformatige sehr dünne unbewehrte Fassadenplatten als Alternative zu Naturstein zum Einsatz (Abb. 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 am Rohbau befestigt [7]. Dieses Projekt war die erste größere baupraktische Anwendung zur Verifizierung der sehr viel versprechenden Laborergebnisse in Bezug auf die Dauerhaftigkeit von Nanodurbeton. Anders als beim klassischen UHPC mit Normzement und Silikastaub besteht der reaktive Bindemittelanteil beim Nanodur



Abb. 12: Betonage mit selbstverdichtendem Drössler Ultralith SG



Abb. 13: Unteres Beckenelement



Abb. 14: Oberes Beckenelement



Abb. 15: Stoßfugenausbildung



Abb. 16: Fertiggestelltes oberes Becken



Abb. 17: Gefülltes unteres Becken

Compound 5941 aus bewährten kornoptimierten Hauptbestandteilen Portlandzementklinker und Hüttensand (entsprechend CEM II/B-S 52,5). Dieses Bindemittelkonzept und seine Hydratationssteuerung durch anorganische nanostrukturierte synthetische Oxide war Gegenstand eines BMBF Projekts im Rahmen der Ausschreibung NanoTecture. Die Bauhaus Universität Weimar untersuchte dort anwen-

dungsfreundliche energieeffiziente Hochleistungsbetone u.a. auf beschleunigte Carbonatisierung, Frost- und Frost-Tausalz-widerstand und Chloridmigration. Die dabei festgestellte außergewöhnliche Beständigkeit erfuhr durch Klimawechsellaagerung über 12 Monate mit extrem AKR-sensibler Gesteinskörnung eine weitere Bestätigung [8].

Fertigteilelemente für die Garnelenfarm Grevesmühlen

Ausgehend vom Prototyp eines geklebten Bassins als Messexponat auf der EuroTier 2012 (Abb. 11) begann Drössler zusammen mit dem Unternehmen Green Aqua Farming mit der Entwicklung von Fischzuchtanlagen als modulare Konstruktion in beliebiger Größe aus miteinander verklebten

Tabelle 1: Nanodurbeton Rezepturen

	Grobkornrezeptur (Drössler® Ultralith SG MSF)	Feinkornrezeptur (Drössler® Ultralith FG)
Nanodur® Compound 5941 grau (NC)	1.050 kg/m ³	1.210 kg/m ³
Rheinsand 0/2 mm	430 kg/m ³	-
Quarzsand < 0,5 mm (feuertrocknet)	-	950 kg/m ³
Basaltsplitt 2/5 mm	880 kg/m ³	-
Stahlfaser 015 x 0,9 mm	60 kg/m ³	-
PCE Fließmittel auf NC	1,3 %	1,9 %
Wasser/NC	0,16	0,17
Druckfestigkeit*	> 150	> 130
3-Punkt-Biegezugfestigkeit*	> 20	> 18

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

UHPC Einzelementen. Für die Garnelenzuchtanlage Grevesmühlen wurde eine doppelstöckige Konstruktion mit einer Länge von 35 m und 5 m Breite ausgearbeitet. Mit nur 6 cm Wandstärke wurden die dreidimensionalen Einzelemente mit selbstverdichtendem Drössler Ultralith SG im Werk Siegen hergestellt (Abb. 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 (Abb. 13) auf vorbereiteten Betonbalken und Elastomerbändern wurden die oberen UHPC Elemente auf Trägern und Querriegeln aus hochfestem Normalbeton mit einer eigens konstruierten Hebevorrichtung aufgelegt, die in bereits bestehenden Hallen anwendbar ist (Abb. 14). Nach Abschluss der Montage erfolgte der Verschluss der Stöße durch Einkleben von Drössler Ultralith FG-Laschen mit Reaktionsharzklebstoff (Abb. 15). Zur Abdichtung der Fugen zwischen Laschen und Beckenelementen kam ein hydraulischer Mörtel mit Trinkwasserzulassung zum Einsatz [9].

Ausblick

UHPC wird im konstruktiven Ingenieurbau auf absehbare Zeit nur mit Zeit und Kosten aufwändiger Zustimmung im Einzelfall realisierbar sein. Ein Beitrag zu schnellerer Umsetzung ist die Vereinfachung der Herstellungsprozesse von UHPC. Im Falle von Nanodur Compound 5941 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 Nanodur 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 dünnwandigen Drössler Ultralith zeigt neue Möglichkeiten für die Betonbauweise auf. Die Montage mit Reaktionsharzklebstoff – die nur durch

die große Haftzugfestigkeit des UHPC möglich ist – kann zusätzlich weitere interessante Anwendungsfelder erschließen. ■

■ Literatur

- [1] Bernhard Sagmeister, Thomas Deuse, Anwendungen von UHPC auf Basis eines Spezialbindemittels in Bautechnik und Maschinenbau, BWI BetonWerk International, 01/2012
- [2] Nguyen Viet Tue, Martina Winkler, Bernhard Freytag, TU Graz, Modulare Bauweise in der Betonfertigteilverindustrie – Verbindungen für UHPC-Fertigteile, BWI BetonWerk International, 4/2011
- [3] Michael Müller, www.bostik.de, Prüfungen Klebemörtel (unveröffentlicht)
- [4] Manfred Curbach, Frank Schladitz, Untersuchungsbericht zur Tragfähigkeit einer Treppe, TU Dresden, Februar 2012 (unveröffentlicht)
- [5] Manfred Curbach, Harald Michler, Statische Berechnung und Abschätzung der Schwimmstabilität von Plattformen aus Einzelschwimmkörpern aus Ponton F, TU Dresden, Juli 2013 (unveröffentlicht)
- [6] Manfred Curbach, Harald Michler, Tragfähigkeit und Bauteilwiderstand von Textil verstärkten Faserbetonplatten unter Verwendung von Dyckerhoff Nanodur Compound 5941 und Sigratex Grid 350, TU Dresden, Juli 2013 (unveröffentlicht)
- [7] Thomas Drössler, 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 Anwendungs-Freundlicher Hochleistungsbeton, Förderkennzeichen 03X0066A, TIB Hannover, 2012
- [9] Thomas Deuse, Thomas Drössler, York Dyckerhoff, Fischzuchtanlage aus Hochleistungsbeton, Portland 62/2014 (Mitarbeiterzeitschrift BUZZI Unicem)
- [10] York Dyckerhoff, Gerrit Quantz, <http://www.greenaquaforming.de/>

WEITERE INFORMATIONEN

ULTRALITH
bd DRÖSSLER®

Benno Drössler GmbH & Co. Bauunternehmung KG
Marienhütte 6, 57080 Siegen, Deutschland
T +49 271 31890
F +49 271 3189175
vertrieb@droessler.de
www.droessler.de

BUZZI Dyckerhoff

Dyckerhoff GmbH
Biebricher Straße 69
65203 Wiesbaden, Deutschland
T +49 611 676 1181
marketing@dyckerhoff.com
www.dyckerhoff.de