

Weniger CO₂ durch Einsatz von Hochleistungsbeton

■ Thorsten Betz, Ventur GmbH, Siegen, Deutschland
Thomas Deuse, Dyckerhoff GmbH, Wiesbaden, Deutschland

Beton hat sehr viele Vorteile gegenüber anderen Baustoffen, nicht zuletzt auch unter Aspekten des Klimaschutzes, der Ressourcenschonung und des Recyclings. Der Primärenergiebedarf für die Erstellung von Bauwerken in Betonbauweise ist generell günstig und ermöglicht langlebige, statisch komplexe und hochbelastbare Strukturen. Unvermeidlich bei der Herstellung des Bindemittels Zement sind CO₂-Emissionen durch die chemische Reaktion bei der notwendigen Entsäuerung des Kalksteins und durch den Brennstoffverbrauch beim anschließenden Sinterprozess bei 1.450° C. Weltweit gibt es zahlreiche Bestrebungen, das Bindemittel Zement und den Baustoff Beton im Hinblick auf CO₂-Emissionen zu modifizieren bzw. durch alternative Materialien zu ersetzen. Unabhängig von dieser wichtigen Zielrichtung kann durch eine Reduzierung der Bauteilabmessungen nicht nur CO₂ eingespart, sondern auch der Bedarf an natürlichen Rohstoffen wie z. B. Sand reduziert werden. Moderne Hochleistungszemente ermöglichen Betone mit außergewöhnlichen Eigenschaftsprofilen, die in puncto Festigkeit, Dauerhaftigkeit und Verarbeitbarkeit neue Möglichkeiten erschließen. Nachfolgender Beitrag berichtet über erfolgreiche Projekte des Fertigteilunternehmens Drössler/Ventur aus Siegen in Zusammenarbeit mit dem Zementhersteller Dyckerhoff aus Wiesbaden.

Entwicklung von Hochleistungsbetonen auf der Basis von Spezialzementen

Vor mehr als 20 Jahren hat Dyckerhoff im Zementwerk Neuwied eine Anlage zur Herstellung von Feinstzementen installiert, die zunächst Ultrafeinstzemente für Injektionen in der Geotechnik sowie zur Bauwerksertüchtigung produzierte. Mit zunehmender Kenntnis der außergewöhnlichen Eigenschaften wurden die Feinstzementkomponenten bald zur Vergütung von Mörteln und schließlich auch von Normzementen für ein dichteres Zementsteingefüge eingesetzt. Untersuchungen der Gebrauchseigenschaften waren Gegenstand zahlreicher Forschungsprojekte, und 2009 war die enge Zusammenarbeit von Dyckerhoff und Drössler/Ventur im BMBF Projekt OLAF [1] der Start für viele gemeinsame innovative Projekte mit Hochleistungsbetonen.



Abb. 1: Windkraftanlage Ventur 4.0

Filigrane Treppenstufen

Ein Ergebnis des OLAF-Projekts war die Bindemittelvormischung Nanodur Compound 5941, die erstmals eine einfache Herstellung von UHPC Ultra High Performance Concrete mit konventioneller Gesteinskörnung in normalen Betonmischwerken erlaubte.

Drössler/Ventur produziert seitdem die UHPC-Rezepturen Ultralith auf Basis von Dyckerhoff Nanodur Compound 5941. Auf dem Messestand der Bau 2011 in München präsentierte Dyckerhoff eine von der Benno Drössler Bauunternehmung hergestellte Sichtbetontreppe, die aus UHPC mit nur 29 mm Dicke beidseitig schalungsglatt über 1 m Höhe stehend betoniert wurde.

Die Oberflächenhaftzugfestigkeit des UHPC ist so groß, dass hier nur mittels Verklebung (ohne Verschraubung) die Fertig-



■ 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 Leiter Produktentwicklung und Spezialbaustoffe der Dyckerhoff GmbH.
thomas.deuse@dyckerhoff.com



■ Thorsten Betz, Dipl.-Ing., absolvierte an der Univ. Siegen die Studiengänge Bauingenieurwesen (FH) - konstruktiver Ingenieurbau u. Baumanagement, anschließend Bauingenieurwesen (Univ.) im Bereich Bauwerkserhaltung und Umwelttechnik, begleitend zu einer Tätigkeit als wiss. Mitarbeiter in der Betontechnologie. 2007 Eintritt in die Drössler GmbH Umwelttechnik, Siegen, zunächst im Vertrieb für Behälter in Spannbetonfertigteiltbauweise. Später Wechsel innerhalb der Firmengruppe in die Ventur GmbH in den Bereich Windkrafttürme. Seit 2013 Leiter Produktmanagement Windkraft und Sonderprodukte wie UHPC.
thorsten.betz@droessler.de

teile an den gläsernen Wangen befestigt werden konnten. Belastungsversuche im Herstellwerk Siegen sowie an der Technischen Universität Dresden erbrachten eine Tragfähigkeit von rund 2 t Gewicht pro Stufe.

Im Juni 2020 wurde der Axel-Springer-Neubau in Berlin offiziell bezogen. 2019 kamen dort Winkelstufen aus UHPC in zweiläufiger Ausführung auf der außenliegenden Treppe zum Einsatz. Neben den links verbauten Stufen im Standardmaß wurden rechts große Doppelstufen montiert. Bei diesem Projekt ermöglichte der selbstverdichtende UHPC eine deutliche Gewichtsreduzierung der einzelnen Betonfertigteile und konnte neben der filigranen Bauweise durch ansprechende Oberflächenoptik punkten.



Abb. 2: Treppendemonstrator, BAU 2011, München



EIRICH

MISCHER



Die erste Wahl für bessere Betone*

* Dachsteinbeton - Vorsatzbeton
Bahnschwellenbeton - selbstverdichtender Beton
Schaumbeton - Faserbeton - hochfester Beton
ultrahochfester Beton - Polymerbeton

Mit dem weltweit einzigartigen EIRICH Mischsystem

- bewältigen Sie jede Konsistenz
- reduzieren Sie den Ausschuss
- produzieren Sie konstante Qualität auf höchstem Niveau
- sind Sie flexibel in der Entwicklung neuer Produkte

Ihr Produkt ist nie besser als die Mischung!

Maschinenfabrik Gustav Eirich GmbH & Co KG
www.eirich.de



Abb. 3: Axel-Springer-Neubau, Berlin

Fischzuchtbecken

Das Thema Verklebung von UHPC-Elementen wurde 2014 bei der Herstellung von Fischzuchtbecken wieder aufgegriffen. Modulare Elemente aus UHPC waren hier eine ökonomisch und ökologisch interessante Alternative zu einer Stahlkonstruktion mit Kunststoffbecken. Insbesondere in der stark korrosiven Umgebung der mit 30° C warmem Salzwasser gefüllten Becken zeigten sich klare Vorteile gegenüber einer aufwändig zu schützenden Stahlkonstruktion. BetonWerk International BWI 6-2014 berichtete seinerzeit wie folgt:

„Ausgehend vom Prototyp eines geklebten Bassins als Messexponat auf der EUROTIER 2012 (Abb. 4) begann Drössler mit der Entwicklung von Fischzuchtanlagen als modulare Konstruktion in beliebiger Größe aus miteinander verklebten UHPC-Einzelementen. Für die Garnelenzuchtanlage Grevesmühlen wurde eine mehrstöckige Konstruktion mit einer Länge von 35 m und 5 m Breite ausgearbeitet (Abb. 5). Mit nur 6 cm Wandstärke wurden die dreidimensionalen Einzelemente mit selbstverdichtendem Drössler Ultralith im Werk Siegen hergestellt. 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 auf vorbereiteten Betonbalken und Elastomerbändern wurden die oberen UHPC-Elemente auf Trägern und Querriegeln aus hochfestem Normalbeton aufgelegt.



Abb. 4: Fischbecken EUROTIER 2012

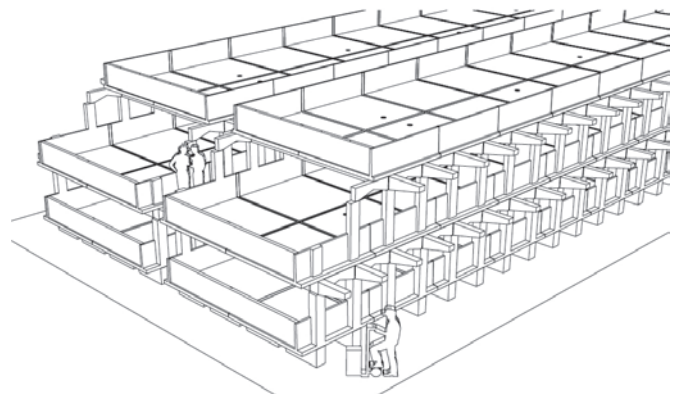


Abb. 5: Garnelenzuchtanlage Grevesmühlen

Concrete Pen

Utility model registered by  worldwide

DAS IDEALE WEIHNACHTSGESCHENK
FÜR IHRE KUNDEN UND MITARBEITER



Weltweit führend in der Mikrowellen-Feuchtemessung



Hydro-Probe
Behälter & Förderbänder



Hydro-Mix
Mischer & Förderer



Einfach zu installieren und zu integrieren



Fernkalibrierung und -konfiguration



Präzise, wiederholbar, in Echtzeit



Lokaler Service & Support



Kontaktieren Sie uns unter enquiries@hydronix.com
für weitere Informationen

www.hydronix.de

Nach Abschluss der Montage erfolgte der Verschluss der Stöße durch Einkleben von Ultralith-Laschen mit Reaktionsharzklebstoff. Zur Abdichtung der Fugen zwischen Laschen und Beckenelementen kam ein hydraulischer Mörtel mit Trinkwasserzulassung zum Einsatz“ [2].

Dünne großformatige Fassadenplatten

Erste Anwendungen des UHPC Drössler Ultralith in der Bau Praxis im Jahre 2012 waren 4 cm dicke unbewehrte Fassadenplatten beim Neubau der von Gerber-Architekten entworfenen Ferchau-Firmenzentrale in Gummersbach (Abb. 6). Die Architekten Ahlbrecht, Felix, Scheidt, Kasprusch waren mit der gesamten Ausführungsplanung und der Bauüberwachung betraut. Die Fassadenvorgabe lautete, eine konventionelle Vorhangfassade mit einer Dicke von bis zu 12 cm zu realisieren. Die graue Farbe des Sichtbetons sollte sich an die Nachbargebäude anpassen, die ebenfalls in Sichtbeton ausgeführt wurden.

Bei den ersten Gesprächen mit den ausführenden Firmen traten jedoch folgende Schwierigkeiten auf: Zum einen war der Innenhof und vor allem das überdachte viergeschossige Foyer, das aus konventionellen und damit sehr schweren Betonfertigteilen besteht, nur sehr schwer zu erreichen.

Zum anderen war der Platz für die Fassadenelemente an dem sehr schlanken Rohbau eng begrenzt und wurde durch Klebearbeiten an den Fensterflächen zusätzlich beeinträchtigt. Das machte die Montage von vorgehängten Betonfertigteillfassaden mit herkömmlichen Befestigungssystemen sehr schwierig.

Die Lösung des Problems bestand darin, die Dicke der Betonplatten zu minimieren, um die Montage in den schwer zugänglichen Bereichen (Innenhof und überdachte Bereiche) zu erleichtern und um die Breite für die Befestigung der Platten an der Tragkonstruktion zu reduzieren. Nach der Besichtigung der Musterplatten entschieden sich die Architekten und

der Bauherr für eine Ausführung mit 4 cm dicken Elementen aus glattem, grauem UHPC mit einer identischen bzw. besseren Oberflächenbeschaffenheit wie bei herkömmlichem Sichtbeton [3].

Bei der Ferchau-Firmenzentrale in Gummersbach wurden 900 m² Fassadenfläche anstelle 12-cm-Normalbeton mit nur 4-cm-dicken UHPC-Elementen ausgeführt. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Zementgehalte konnte dadurch rund die Hälfte des CO₂ aus dem Portlandzementanteil eingespart werden. Das deutlich geringere Gewicht des unbewehrten Ultralith erlaubte zudem eine erheblich einfachere metallische Tragkonstruktion. Durch Einsparungen beim Stahl sowie den Transporten und Kranleistungen lagen die CO₂-Emissionen insgesamt bei nur noch einem Drittel einer konventionellen Stahlbetonkonstruktion (Tabelle 1).

Tabelle 1: Vergleich der CO₂-Emissionen bei 900 m² Fassadenfläche

| CO ₂ -Anteil | 12-cm-Stahlbeton | 4-cm-UHPC |
|-------------------------|------------------|---------------|
| Beton | 24 t | 13 t |
| Stahlbewehrung | 16 t | 0 t |
| Transport | 0,7 t | 0,2 t |
| Kranleistung | 5 t | 1,7 t |
| Summe | 45,7 t | 14,9 t |

Nach diesem gelungenen Pilotprojekt wurden auf den beiden Nebengrundstücken in Gummersbach sowie an zahlreichen anderen Standorten weitere Gebäude mit vergleichbarer Konstruktion ausgeführt. Ergänzend zu den Vorteilen beim Neubau sind unbewehrte UHPC-Fassaden insbesondere am Ende der Nutzungszeit sehr vorteilhaft, da das hochwertige Material sehr einfach recycelt und dem Stoffkreislauf der Bauindustrie wieder zugeführt werden kann.

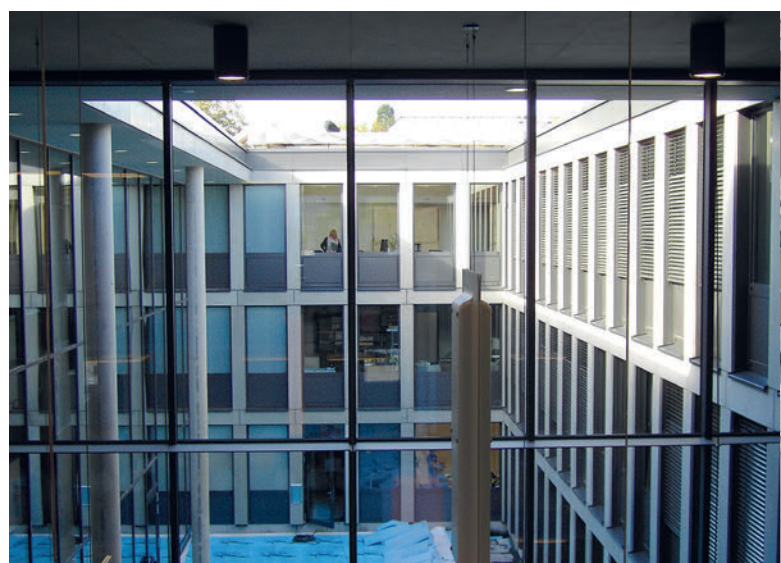


Abb. 6: Fassadenplatten Ferchau Firmenzentrale in Gummersbach

Ventur 4.0 Windkraftanlagen

Neben den zuvor beschriebenen Ultralith-Anwendungen in der Bauindustrie bewährt sich die Bindemittelvormischung Nanodur Compound 5941 seit mehr als zehn Jahren in mittlerweile 5-stelligen UHPC-Mengen als ökonomische und vor allem ökologische Alternative zu Polymerbeton und Grauguss bei der Produktion von Maschinenbetten und Werkzeuggestellen [4].

In Deutschland gibt es derzeit noch keine bauaufsichtlich eingeführte Regelung für Hochleistungsbetone. Seit Jahren bestehen hierzu aber umfängliche Bemühungen seitens des DAfStb in verschiedenen Arbeitskreisen, um zukünftig eine den Eurocode ergänzende Richtlinie UHFB (Ultrahochfester Beton) bereitstellen zu können. In anderen Ländern findet bereits eine erfolgreiche Umsetzung statt, wie z. B. in Frankreich oder auch in der Schweiz, wo die innovative Bauweise durch das Merkblatt SIA 2052 geregelt ist.

Leistungsstarke Bindemittelvormischungen (Compounds) für Anwendungen außerhalb der Betonwerksteinnorm erfordern in Deutschland derzeit allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen und/oder Zustimmungen im Einzelfall. Auf der Suche nach Alternativen entstand deshalb auf Basis des ebenfalls mit der Dyckerhoff Mikrodur-Technologie hergestellten Normzements Variodur 40 CEM III/A 52,5 R in Verbindung mit hochleistungsfähigen Fließmitteln eine UHFB-Rezeptur mit sehr niedrigem w/z-Wert im Bereich von 0,20. In Concrete Plant International CPI 2/2020 wurde über das Bindemittelkonzept ausführlich berichtet [5].

Gegenüber klassischen Hochleistungsbeton-Rezepturen mit Silikastaub ist in diesem Fall keine Vielkomponentenmischung besonderer Gesteinskörnungen mit spezieller Mischtechnik notwendig. Der Normzement Variodur ermöglicht die Herstellung von UHFB allein mit konventionellen Gruben- und Brechsanden sowie Edelsplitten bei Verwendung üblicher Betonmischtechnik – hierdurch wird der Produktions- und Zulassungsaufwand erheblich reduziert.

Im Ergebnis hat Ventur für den Beton „VenturCrete C120/140“ eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erhalten, die neue Design-Maßstäbe setzt. Mindestdruckfestigkeiten von 120 MPa am Zylinder und 140 MPa am Würfel sowie ein E-Modul von 50 GPa ermöglichen eine signifikante Reduzierung der Bauteildicken um fast 50 % zur Herstellung von Windkrafttürmen aus Betonfertigteilen in Ventur-Systembauweise. Die Hochleistungsbetonelemente aus VenturCrete C120/140 werden in einer dem Ventur-Werk in Siegen angegliederten Betonmischanlage (Abb. 7) hergestellt [6].



Abb. 7: Ventur-Mischanlage, Siegen

Unser kostenloser eService:

BWi-Newsletter

ICCX-Newsletter

Interessiert?

Registrieren Sie sich hier:
www.cpi-worldwide.com/registration





Abb. 8: Ventur 4.0 Montage

Das schlanke Design des „Ventur 4.0“ verbessert die in Serie über Jahre hinweg bewährten Vorteile des Ventur-Systems nachhaltig. Besonders wettbewerbsfähig ist die Bauweise durch die nur 3 m breiten und 10 m langen und leichten Elemente, die auf normalen Tiefladern transportiert werden und bei der Montage im Baukastenprinzip mit innenliegender Vorspannung moderate Anforderungen an die Größe der Mobilkrane stellen (Abb. 8).

„Ventur 4.0“ zeigt differenziert, wie Hochleistungsbaustoffe und intelligentes Design synergetisch neue Leistungsspektren eröffnen. Die fertigungsfreundlichen, flach hergestellten Bauteile bieten die idealen Voraussetzungen für den ziel sichereren Einsatz eines Hochleistungsbaustoffs. Die glatte Oberfläche besticht durch Widerstandsfähigkeit und Ästhetik (Abb. 9).

Hochleistungsbeton reduziert in der Bauweise „Ventur 4.0“ die verwendeten Beton- und Betonstahlmengen deutlich und spart damit Ressourcen und CO₂-Emissionen. Innovative Baukonzepte unter Einsatz zielgerichtet entwickelter Hochleistungsbetone führen damit insgesamt zu einer ökonomischen und ökologischen Nutzung des Zukunftsbaustoffs Beton.

Noch einmal besonders hervorzuheben ist neben dem wirtschaftlichen Aspekt die durch die reduzierten Bauteilabmessungen große Einsparung von CO₂ bei der rund 100 m hohen Betonkonstruktion der Hybrid-Windtürme mit einer Nabenhöhe von aktuell 164 m.

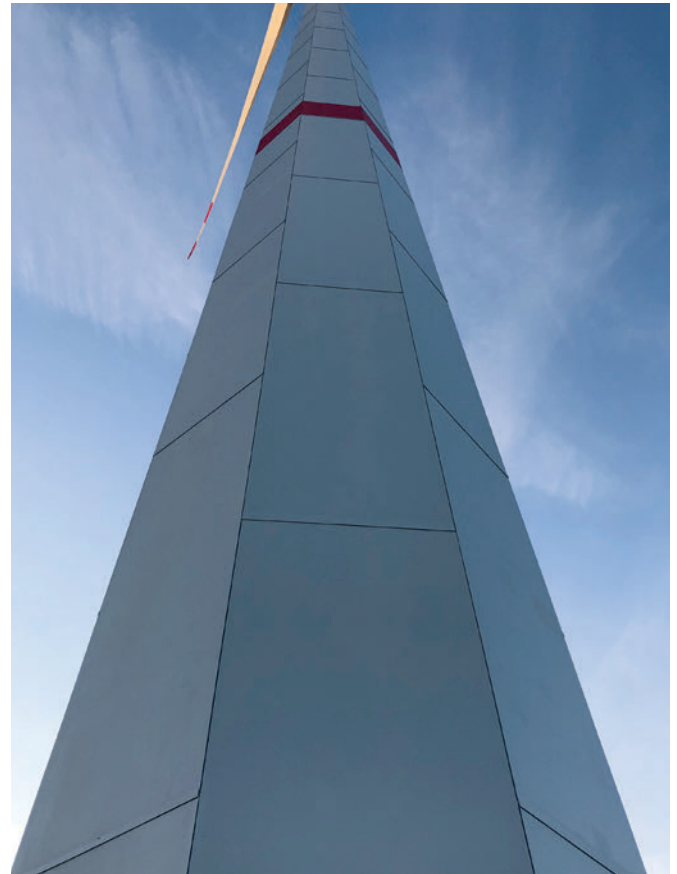


Abb. 9: Ventur-Fertigteile

In Verbindung mit dem geringeren Gewicht der Betonfertigteile bei Transport und Kranleistung sinken die CO₂-Emissionen pro Turm signifikant auf 65 % gegenüber der Standardbauweise (Tabelle 2).

Tabelle 2: Vergleich der CO₂-Emissionen der Ventur-Böntürme für Windkraftanlagen

| CO ₂ -Anteil | Hochfester Beton C 70/85 30 cm Elementdicke | Ultrahochfester Beton C120/140 18 cm Elementdicke |
|-------------------------|--|--|
| Beton | 217 t | 142 t |
| Stahlbewehrung | 80,5 t | 52,5 t |
| Transport | 17,5 t | 10,5 t |
| Kranleistung | 7,9 t | 4,7 t |
| Summe | 322,9 t | 209,7 t |

Ausblick

Bis zur Marktreife und Praxisbewährung komplett neuartiger CO₂-armer Zement- und Betonkonzepte wird noch einige Zeit vergehen. Die begonnene Erhöhung des Anteils an Klinkerersatzstoffen ergänzend zum bekannten Hüttensand, z. B. bei den neuen CEM II/C Zementen, ist dagegen real und sehr vielversprechend. Dyckerhoff hat hier 2020 als erster deut-

schers Zementhersteller die Zulassung vom Deutschen Institut für Bautechnik DIBt erhalten [7].

Ein weitaus größerer Hebel zur CO₂-Reduzierung eröffnet sich aber auch heute schon zusätzlich durch Massenreduzierung der Bauteile in Verbindung mit Ressourcenschonung durch den Einsatz von Hochleistungsbindemitteln und Betonen. Die schon in zahlreichen Forschungs- und Praxisprojekten nachgewiesene höhere Dauerhaftigkeit der Hochleistungsbetone ist ein weiterer wichtiger Grund, die Einsatzhemmnisse auf der Genehmigungsseite zu überprüfen und die Prozesse zu beschleunigen. Wie die vorgestellten Beispiele zeigen, gibt es viele Möglichkeiten, das oftmals negative ökologische Image der Betonbauweise in der Öffentlichkeit durch innovative Betontypen und intelligente Konstruktionen zu korrigieren – sie müssen nur in sehr viel größerem Umfang in der Baupraxis umgesetzt werden. ■

Literatur

- [1] BMBF Projekt OLAF - TIB Hannover_BMBF-FKZ-03X0066A.docx
- [2] Deuse, T.; Drössler, C.; Drössler, T.; Ritter, W. Hochleistungsbeton mit Klebeverbindung, BWI 6/2014
- [3] Drössler, Thomas; Architekturbeton mit UHPC, Vortrag Hipermat 2012, Kassel
- [4] Sagmeister, Bernhard; Maschinenteile aus zementgebundenen Beton, Beuth Verlag, Berlin, 2017, ISBN 978-3-410-27186-4
- [5] Deuse, T.; Hainer, S.; Parker, F.; Sievert, T.; HPC, UHPC, UHFB, UHLB, UHPFRC... A Babylonian confusion of languages and simple solutions in practice, CPI 2/2020
- [6] Innovative Technik: EUROMIX® 3300 SPACE von SBM produziert Ultrahochleistungsbeton für Windkrafttürme | LECTURA Press
- [7] Sievert, T.; CEM II/C – Zemente – Gute Performance bei niedrigem CO₂-Fußabdruck, Vortrag 65. BetonTage (digital), 2021

WEITERE INFORMATIONEN



Dyckerhoff GmbH
 Product Marketing
 Postbox 2247 , 65012 Wiesbaden, Deutschland
 T +49 611 676 1181
marketing@dyckerhoff.com
www.dyckerhoff.com



Ventur GmbH
 Marienhütte 6, 57080 Siegen, Deutschland
 T +49 271 3189 290
ventur@droessler.de
www.droessler-ventur.de



AUTOMACAD

Innovative Lösungen für
 Vorreiter und Vordenker

**KOSTEN SENKEN
 UND PRODUKTIVITÄT
 STEIGERN DURCH
 AUTOMATISIERUNG**



IHRE WETCAST-EXPERTEN <<<<