



BetonWerk International
Deutschsprachige Ausgabe

 6 | 2019

www.cpi-worldwide.com

SONDERDRUCK | BETONFERTIGTEILE

Tübbings für Regenwassertunnel
in Dubai



**Sonderdruck
BWi 1906**



Dauerhafte Lösungen mit Faserbeton

Tübbings für Regenwassertunnel in Dubai

Autoren:

Dipl.-Ing. Olaf Kliem, Factory Manager, PORR-Six Construct JV, Dubai, VAE; Dipl.-Ing. Wilhelm Nell, Product & Business Development Manager bei KrampeHarex GmbH & Co. KG; Marcel Paulitsch, Technischer Leiter Projektgeschäft bei Ha-Be Betonchemie GmbH

Co-Autoren:

Dipl.-Ing. Christoph Duempelmann, Projektleiter, PORR-Six Construct JV, Dubai, VAE; Eng. Fahad Al Awadhi, Director of Drainage Projects Department, Dubai Municipality, Dubai, VAE; Dr. Jayapregasham Tharamapalan, Projektleiter, Dubai Municipality, Dubai, VAE; Hafiz Al Shaban, General Manager Middle East, MC-Bauchemie Middle East L.L.C

Das Dubai Municipality's Drainage Projects Department hat den Bau eines Regenwassertunnelsystems zum Auffangen, Speichern und Ableiten von Grund- und Niederschlagswasser für knapp 490 km² (etwa 40 %) des Stadtgebiets von Dubai in die Wege geleitet. Dieses Gebiet umfasst den Süden Dubais, den Al Maktoum International Airport, das Ausstellungsgelände der EXPO 2020 Dubai sowie weitere benachbarte Regionen. Das tiefliegende Regenwassertunnelsystem ist Teil des in Dubai verfolgten städtebaulichen Konzepts einer „smarten und nachhaltigen Stadt“. Die Errichtung dieser im Zuge der Expansion im Wohn- und Gewerbebau benötigten Infrastruktureinrichtung erfolgt unter Berücksichtigung der zunehmenden Urbanisierung und des damit einhergehenden Anstiegs des Grundwasserspiegels sowie der in Dubai eher seltenen Regenfälle. Die wirtschaftlichen Auswirkungen dieser – wenn auch seltenen – Regenvorkommnisse sind für Dubai von großer Bedeutung und daher wird eine robuste Infrastrukturmaßnahme in Form eines tiefliegenden Tunnelsystems ausgeführt.

Für dieses Projekt hat PORR-Six Construct Joint Venture ein Betonfertigteilwerk für die Produktion der hierzu benötigten etwa 43.000 Tunnelsegmente errichtet.

Konstruktion der Segmente

Die Tunnelsegmente weisen eine Stärke von 350 mm und, je nach Krümmungsradius des Tunnels, eine Segmentbreite von 1,6 m bzw. 2,0 m auf. Die Segmentringe bestehen aus acht gleichlangen Segmenten. Anders als bei Klebelösungen werden die Dichtungen bei diesem Projekt im Hinblick auf die Passgenauigkeit direkt in die Segmente einbetoniert. Zur zügigen und präzisen Montage der Segmente im Tunnelinneren werden Schubdübel verwendet.

Die Segmente werden entsprechend den extrem hohen Dauerhaftigkeitsanforderungen und einer rechnerischen Nutzungsdauer von 100 Jahren mit einer Stahlfaserbewehrung anstelle einer herkömmlichen Bewehrung ausgeführt. Im Hinblick auf eine sehr hohe Festigkeit der Segmente wurde das



Dosier- und Mischanlage, rechte Seite



Faserdosiereinheit mit Pufferförderer

ideale Volumenverhältnis und die Schlankheit der Stahlbewehrung für einen Beton der besonders dauerhaften Festigkeitsklasse C 55/67 festgelegt.

Betonfertigteilwerk für die Segmentproduktion

Bei der Erstellung der technischen Spezifikationen für die Werkanordnung und das benötigte Equipment waren verschiedene Aspekte zu berücksichtigen. So hatten neben den harten Witterungs- und Umgebungsbedingungen im Nahen Osten auch knapp kalkulierte Zeitpläne, niedrige Betriebs- und Instandhaltungskosten, die Zuverlässigkeit des Equipments sowie Sicherheitsaspekte den größten Einfluss auf die endgültigen Entscheidungen.

Auf der Basis der Projekterfahrung des Betonfertigteilteams von PORR und der o. g. Faktoren entschied man sich für ein statisches Produktionssystem in einer Werkshalle mit einer Fläche von 60 m x 132 m, eine Dosier- und Mischanlage mit zwei Mixern sowie den Einbau einer Keckeis-Kaltwasserkühlanlage für die Gesteinskörnungen anstelle einer ansonsten in Nahost üblichen Eiskühlanlage. Dank dieser speziellen Kombination von Dosier- und Mischanlage und Kühlsystem nimmt das Werk eine Sonderstellung unter den Produktionsstätten in Nahost und wahrscheinlich sogar weltweit ein.

Dosier- und Mischanlage

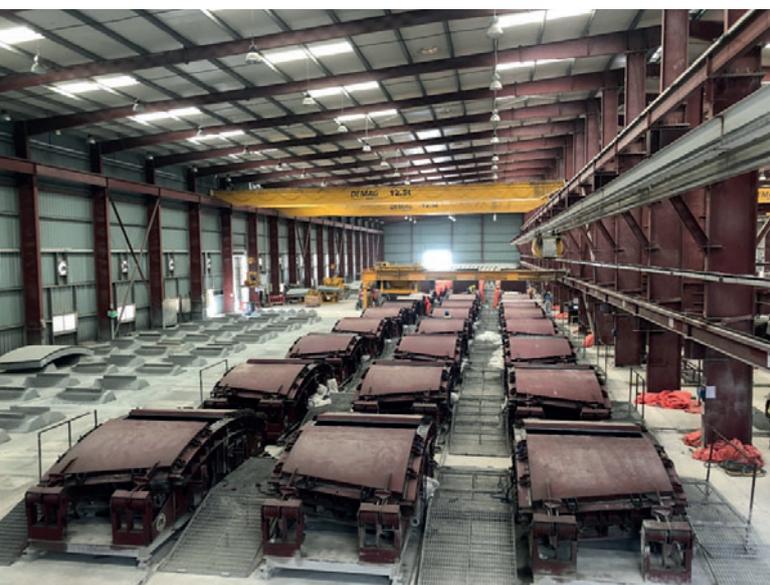
Die Dosier- und Mischanlage als Herz des Werkes besteht aus zwei Hauptgebäuden mit drei horizontalen Ebenen, den beiden Kühlanlagen und einem separaten Steuerungsraum. Die Dosier- und Mischanlage, das Kübelbahnsystem für den Betontransport und die Kühlanlagen für die Gesteinskörnungen werden über eine kombinierte Simma-Steuerung bedient. Die beiden Hauptgebäude sind mit gedämmten Wandplatten ausgekleidet. Das Hauptgebäude 1 beherbergt im Erdgeschoss die Stahlfaserdosiereinheit einschließlich Pufferförderer und Querför-

derer zum Beschicken der beiden Becherwerke mit Gesteinskörnungen für die linke und rechte Seite des Werkes. Die Aufgabe der Stahlfasern erfolgt per Pufferband in den von der anderen Seite zugeleiteten Rohstoffstrom. Durch diese Anordnung wird jegliche Form der Igelbildung verhindert.

Im ersten Obergeschoss befinden sich zwei 2,25-m³-Doppelwellenmischer von BHS Sonthofen einschließlich der gesamten Anlagensteuerung des Werkes, während im zweiten Obergeschoss sämtliche Verwiegevorrichtungen für Wasser, Gesteinskörnungen, Zusatzmittel und Silikasuspension installiert sind.

Das Hauptgebäude 2 beherbergt im Erdgeschoss den Hauptverwiegeförderer, im ersten Obergeschoss vier Gesteinskörnungssilos mit einem Fassungsvermögen von 84m³ Material einschließlich Kühlwasser, ein Doppelsilo für 5-mm- und Dünensand ohne Kühlung sowie im zweiten Obergeschoss die Verteileranlage zur Befüllung der Silos.

Entsprechend der Mischungsentwürfe werden vier Fraktionen verwendet: gebrochener Kalkstein in den Korngrößen 20 mm, 10 mm und 5 mm sowie Dünensand. Zudem umfasst die Dosier- und Mischanlage zwei weitere Kühlgeräte für die Kühlung des Anmachwassers auf 2° C und des für die Kühlung der Gesteinskörnungen benötigten Wassers auf 6° C. Die Keckeis-Kaltwasserkühlanlage dient zur Kühlung der 20-mm- und der 10-mm-Fraktionen in jeweils zwei Silos pro Fraktion. Dabei steht immer eines der Silos pro Fraktion für die Betonproduktion zur Verfügung, während im anderen der Kühlprozess abläuft. Hierbei wird das im Silo befindliche Material komplett mit dem von den Kühlgeräten abgekühlten Kaltwasser geflutet. Das Herunterkühlen des Materials im Silo von etwa 50-60° C auf 10° C benötigt etwa eine Stunde. Das Wasser zirkuliert zwischen Silo und Kühlgerät, ohne dabei Feinstoffe auszuwaschen. Durch spezielle Ventile am Boden der Silos kann das Wasser vor dem Wechsel in den Produktionsmodus vollständig abgelassen werden. Das Ergebnis ist ein gesättigter Rohstoff ohne Restwasser in den ersten Chargen.



Betonfertigteilwerk für die Tübbingproduktion



1. OG in Gebäude 2 mit Materialsilos



Eines der Kühlgeräte

Durch den gesättigten Zustand der wichtigsten Gesteinskörnungen weist der produzierte Beton stets eine gleichbleibende Konsistenz und Verarbeitbarkeit auf. Zudem liegt der Energieverbrauch dieser Anlage um über 40 % unter dem eines vergleichbaren Eiskühlsystems. Dies entspricht den hohen Anforderungen des Kunden, der Abteilung Entwässerungsprojekte der Stadtverwaltung von Dubai, an einen besonders sparsamen Energie- und Ressourcenverbrauch sowie ein hohes Maß an Nachhaltigkeit der Projekte.

Zusatzmittel für den Fertigteilbeton

Für die Tübbings liefert die in Schardscha ansässige Ha-Be Middle East FZE, eine Tochtergesellschaft der deutschen Ha-Be Betonchemie GmbH, eine technische Lösung für die in den Spezifikationen der Stadt Dubai genannten Punkte:

- Betonfestigkeitsklasse C55/67
- Maximaler Wasser-Zement-Wert 0,34
- Maximale Chloridpenetration (gemäß RCPT) 1.200 Coulomb

- Maximale Chloridmigration (CM) 2,50 x 10⁻¹²
- Maximale Wasserpermeabilität (WP) 10 mm
- Maximale Wasserabsorption (WA) 1,50 %
- Frühfestigkeit nach 6 h mind. 12 N/mm²
- Fließmaß 160 +/- 40 mm

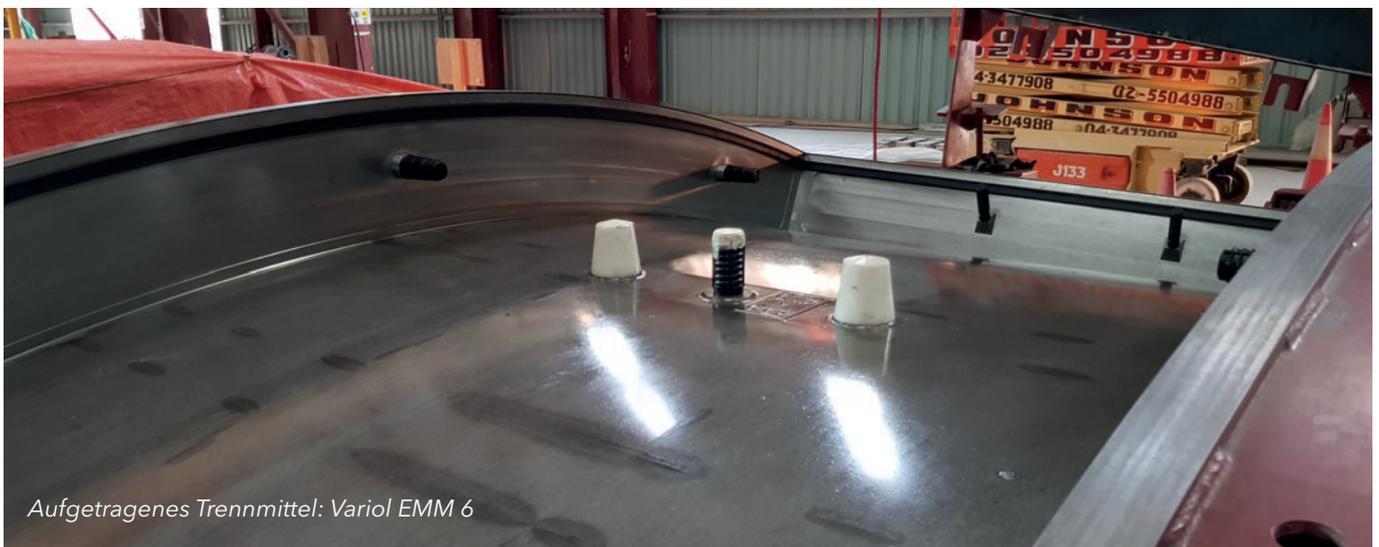
Dementsprechend empfahl Ha-Be Middle East die folgenden Materialien:

- Pantarhit® PRC 444 - Hochleistungsfähiges Fließmittel für Fertigteilbeton
- Ha-Be Silica Fluid - Silikasuspension für dauerhaften Beton
- Variol EMM 6 - Trennmittel für Schalungen

Pantarhit PRC 444 wird zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit, Viskosität und Frühfestigkeitsentwicklung eingesetzt. Das hochleistungsfähige Fließmittel auf Polycarboxylat-Basis weist eine thixotrope Wirkung auf. Es verleiht dem Beton während des Rüttel-/Verdichtungsvorgangs eine sehr hohe Fließfähigkeit und ermöglicht so eine einfache Verteilung in der Form und zugleich die erforderliche Dichte zur Gewährleistung der garantierten Dauerhaftigkeit. Nach dem Einfüllen muss der Beton schnellstmöglich eine für die Nachbehandlung der Oberfläche ausreichende Konsistenz erlangen. Darüber hinaus ist das Produkt sowohl mit sehr niedrigen w/z-Werten als auch mit verschiedenen Bindemittelkombinationen einsetzbar.

Als Alternative zu herkömmlichem Silikastaub wurde die Suspension Ha-Be Silica Fluid vorgeschlagen. Der flüssige Zustand des Produkts bietet wertvolle Vorteile:

- **Handling**
Das Material eignet sich für die Lieferung in Tankwagen und die Lagerung in Vertikalsilos, was eine Optimierung der Lieferzeiten ermöglicht.
- **Arbeitssicherheit und Umweltschutz**
Das Material ist gebrauchsfertig und erfordert kundenseitig kein direktes Handling. Es treten keine gefährlichen Dämpfe aus, was sowohl der Arbeitssicherheit des Personals als auch dem Umweltschutz zugute kommt.



Aufgetragenes Trennmittel: Variol EMM 6



Trennmittelauftrag mit Ortolan Extra 791

• Frisch- und Festbetoneigenschaften

Die Silikasuspension weist eine wesentlich bessere Dispersionswirkung auf als pulveriger Silikastaub, was zu kürzeren Mischzeiten und einer niedrigeren Viskosität des Frischbetons und somit zu einer Verbesserung der Fließfähigkeit und Verarbeitbarkeit führt.

Die Dauerhaftigkeit wird durch die gleichmäßige Verteilung der Silikapartikel im Beton erhöht, und ein Verklumpen der Feinstoffe bei Kontakt mit dem Anmischwasser wird ausgeschlossen.

Ha-Be Silica Fluid hat sich in der Region Nahost und Nordafrika in zahlreichen Projekten mit hohen Dauerhaftigkeitsanforderungen an den Beton in den VAE, in Oman und Ägypten nachweislich bewährt.

Variol EMM 6, ein emulgiertes Mineralöl, wurde als Trennmittel/Ölschicht eingesetzt, das auch bei sparsamster Dosierung ein einfaches, beschädigungsfreies Entschalen der Segmente aus der Form ermöglicht.

Bei Ortolan Extra 791 handelt es sich um ein lösungsmittelfreies pastöses Schalwachs, das sich besonders für komplexe und detailreiche Formgebungen in glatten, nicht absorbierenden Schalungen in der Betonfertigteilproduktion eignet. Bei der Produktion der Tübbings wurde dieses Produkt dort eingesetzt, wo viele Trennmittel eine zu niedrige Viskosität aufwiesen, um an der Oberfläche anzuhaften.

Stahlfasern für die Betonfertigteilsegmente

Für dieses herausragende Projekt benötigte Porr-Six Construct JV Stahlfasern entsprechend den nachfolgend genannten Spezifikationen:

Leistungsklasse 4c gemäß fib Model Code 2010

1. Material: kohlenstoffarmer, kaltgezogener Draht (EN 14889-1: Gruppe 1)

2. Form: kreisförmiger Querschnitt mit Endhaken
3. Mindestzugfestigkeit des Drahtes: 1.800 N/mm²
4. Nennlänge der Stahlfasern: 40 mm bis 60 mm
5. Die Stahlfasern sollten ein Schlankheit (L/D) von 50 bis 100 aufweisen.

Die Vorteile von Stahlfasern sind allgemein bekannt, und weltweit wurden bereits zahlreiche Projekte mit sehr guten Resultaten insbesondere in Bezug auf Dauerhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit realisiert. KrampeHarex wählte aus seinem leistungsfähigen Portfolio eine Faser des Typs DE 60/0.9 H, eine kaltgezogene Drahtfaser mit einer Länge von 60 mm, einem Durchmesser von 0,9 mm, einer Schlankheit von 67 und einer Zugfestigkeit von 1.900 N/mm².

Aufgrund von Erfahrungen bei früheren Projekten und der Forschungstätigkeit im hauseigenen Betonlabor von KrampeHarex erwies sich diese Faser als beste Wahl für die geplante Betonklasse C55/67 mit einer erwarteten realen 28-Tage-Druckfestigkeit von >80 N/mm². Die hohe Leistungsfähigkeit, Qualität und Zugfestigkeit der Fasern führten in Verbindung mit einem sehr guten Länge-Durchmesser-Verhältnis zu einem sehr hochwertigen Faserbeton mit kontinuierlich guten Versuchsergebnissen während der gesamten Produktionsphase. Ein weiterer bedeutender Aspekt ist die sehr gute Verarbeitbarkeit. Die Fasern verklumpen nicht, und es wird kein Klebstoff benötigt, der die Betonmischung durch Reaktionen mit deren Bestandteilen beeinträchtigen könnte.

Im Vergleich mit herkömmlichen Bewehrungen bietet die Verwendung von Stahlfasern in Tübbings zahlreiche Vorteile: erhöhte Dauerhaftigkeit, schnellerer und einfacherer Produktionsprozess, weniger Rissbildungen und Beschädigungen, längere Nutzungsdauer aufgrund des geringeren Instandhaltungsbedarfs sowie Einsparungen von Zeit und Kosten.

KrampeHarex war von Beginn an dem Projekt beteiligt und brachte bei der Unterstützung des Produktionsleiters des



Qualitätskontrolle bei KrampeHarex, Balkenversuch mit Faserbeton

Betonfertigteilwerkes bei der Planung und Optimierung des Betonmischungsentwurfs sowie des Technischen Leiters des Zusatzstofflieferanten sein Know-how und seine Erfahrung ein. Nach ersten Versuchen und einer anschließenden Feinjustierung war das Unternehmen in der Lage, kontinuierlich gute Ergebnisse mit zuverlässiger Leistungsfähigkeit gemäß den in den technischen Spezifikationen genannten Anforderungen zu erreichen.

Eine Dosierung von 40 kg/m³ von KrampeHarex DE 60/0.9 H erwies sich als zur Erreichung der geforderten Leistungsklasse 4c gemäß fib Model Code ausreichend. Die Leistungsfähigkeit von Faserbeton wird anhand der Nachrisszugfestigkeit und der beiden Parameter f_{R1k} „4“ (Festigkeitsintervall) und einem Buchstaben „c“ (Verhältnis f_{R3k} / f_{R1k}) mit $0,9 \leq f_{R3k} / f_{R1k} \leq 1,1$ klassifiziert.

Im vorliegenden Fall mussten also eine charakteristische Residualfestigkeit von mindestens $f_{R1k} \geq 4,0$ und ein Verhältnis f_{R3k} / f_{R1k} von 90-110 % von f_{R1k} erzielt werden. Es ist von großer Bedeutung, dass diese Ergebnisse regelmäßig und kontinuierlich erzielt werden und nicht nur bei den ersten anfänglichen Versuchen. Durch die Wahl des am besten geeigneten Fasertyps mit einer ausreichenden Länge von 60 mm, ein gutes Verhältnis für bestmögliche Verarbeitbarkeit sowie ein einfaches Dosier- und Mischverfahren mit homogener Faser-Verteilung zeigen die laufenden Versuche allesamt sehr gute Ergebnisse und dienen als Nachweis der Leistungsfähigkeit und der Einhaltung der Spezifikationen.

Die Lieferung der geplanten Menge von 4.750 t Fasern dauert noch an. Sie begann im August 2018, und die letzten



Big Bag mit 500 kg Stahlfasern für ein einfaches Befüllen der Dosieranlage

Chargen sollen im Januar 2020 im Werk ankommen. In diesem Zeitraum liefert KrampeHarex 216 40-Fuß-Container mit je 22 t Stahlfasern in Big Bags. Während des Transports und der Lagerung werden Maßnahmen zum Schutz vor Korrosion ergriffen. ■

WEITERE INFORMATIONEN



KrampeHarex GmbH & Co. KG
Pferdekamp 6-8, 59075 Hamm, Deutschland
T +49 2381 977977, F +49 2381 977955
info@krampeharex.com, www.krampeharex.com



Ha-Be Middle East FZE
SAIF Zone | P.O. Box: 9583
Sharjah, VAE
www.ha-be.ae, office.uae@ha-be.com



MC-Bauchemie Middle East LLC
PO Box 215484, Dubai, VAE
info.uae@mc-bauchemie.com