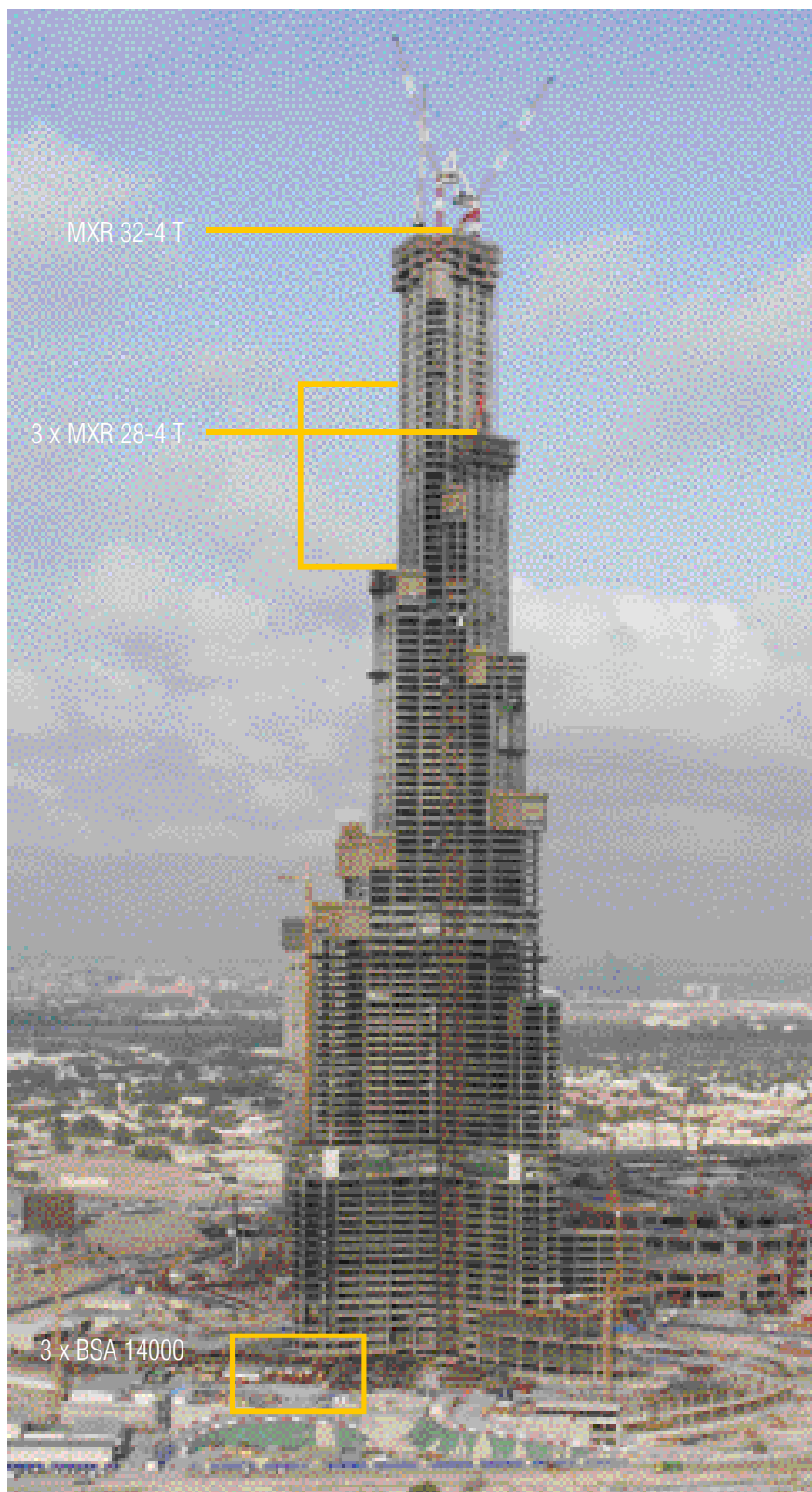


Betonhochförderung am Burj Dubai – Betonpumpen mit über 400 bar Förderdruck



Mit mehreren Putzmeister Hochleistungs-Betonpumpen, einem ausgeklügelten Förderleitungssystem, nicht ballastierten stationären Betonverteilmasten und anspruchsvollen Betonrezepturen wird zurzeit der Burj Dubai im Rohbau fertig gestellt. Mit den Bauarbeiten am prestigeträchtigen High Rise-Projekt hat der Bauherr Emaar Properties (VAE) eine von Samsung (Korea) geleitete Arbeitsgemeinschaft mit BeSix (Belgien) und Arabtec (VAE) beauftragt. Für das Projektmanagement zeichnet Turner Construction (USA) verantwortlich. Das später mit ca. 800 m höchste Gebäude der Welt fasziniert seit Baubeginn (Aushub August 2004) nicht nur die internationale Fachwelt, sondern auch eine breite Öffentlichkeit.

Es setzte schon ein gehöriges Maß an Vertrauen in das Know-how und die Zuverlässigkeit des Partners voraus, als sich das Unternehmen Unimix – zuständig für die Betonherstellung und die Betonförderung am Burj Dubai – entschloss, die Putzmeister AG mit der Lieferung und Installation der Pumpen und Verteilungssysteme zu beauftragen. Putzmeister hatte bereits durch Pumpversuche ermittelt, dass die Betonpumpen und Rohrleitungen für Förderhöhen bis ca. 570 m bei einer Pumpmenge von ca. 30 m³/h geeignet sind. Der darüber aufragende Gebäudeteil soll aus statischen Gründen aus einer Stahlkonstruktion bestehen.

In umfangreichen Vorversuchen die Hochförderung simuliert

Entsprechend gründlich und mit hohem Zeit- und Personalaufwand liefen Anfang 2005 bei PM die Vorbereitungen an, und zwar sowohl im Werk Aichtal, wie auch auf der Baustelle in Dubai. Vor Ort wurden in einer großen Testreihe umfangreiche Versuche mit horizontal verlegten Rohrleitungen gefahren, um das Druckverhalten und die zu erwartende Reibung des Betons auf Basis der späteren Rezeptur in der Leitung zu simulieren und auf die Hochförderung umzurechnen. Durchgeführt wurden die Tests übrigens mit einer serienmäßigen Hochdruckpumpe BSA 14000 HP D und ZX-Förderleitung (DN 125).

Inzwischen war die Bodenplatte für den Turm und die drei Turmflügel von Autobetonpumpen mit unterschiedlichen Mast-

reichweiten fertiggestellt worden. Das 7.000 m² große Fundament stützt sich auf 200 Betonpfähle (Durchmesser 1,5 m) für den eigentlichen Turm, die 50 m tief gründen und auf rund 650 Podestpfähle (Durchmesser 0,9 m) für die Flügel, die 36 m tief reichen. Insgesamt 45.000 m³ Beton wurden am Burj Dubai für die Gründung einschließlich Bodenplatte verbaut.

Superhochdruck-Pumpen den Extrembedingungen angepasst

Im Putzmeister-Werk Aichtal standen zu dieser Zeit die Details der neu zu entwickelnden Super-Hochdruckpumpen fest, die bis Sommer 2005 für die anstehende Hochförderung gebaut und ausgeliefert werden mussten. Bei den BSA 14000 SHP D – so die korrekte Bezeichnung für die Extrempumpen – wurden u.a. Rahmen und Trichter verstärkt, um die enormen

Kräfte aufnehmen zu können. Auch S-Rohr und Druckstützenlagerung wurden an die zu erwartenden Drücke angepasst. Um Verunreinigungen des Hydrauliköls durch Wasser oder Schmutzpartikel von vornherein auf ein Minimum zu reduzieren, verfügen die BSA 14000 SHP D außerdem über ein besonders effektives Filtersystem. Vor allem aber haben Putzmeister Techniker die Antriebshydraulik so modifiziert, dass das Übersetzungsverhältnis zwischen Hydraulik- und Betondruck bei bodenseitigem Betrieb unter $i = 1$ liegt. Aufgrund dieser hydraulischen Übersetzung sind mit den Hochleistungspumpen Betondrücke von über 400 bar (max./theor.) möglich. Wegen der zu erwartenden Anforderungen wurde für das Projekt Burj Dubai der Druck des Pumpensystems begrenzt. Angetrieben werden die Superhochdruck-Pumpen übrigens von einem serienmäßigen, 470 kW starken Caterpillar-Diesel.



Um die Betonhochförderung unter Extrembedingungen zu simulieren, wurden zuvor Hunderte Meter Förderleitung horizontal verlegt, Messwerte und Faktoren wie Reibbeiwerte ermittelt und auf die Hochförderung umgerechnet



Kontrolle des Setzmaßes (slump) im Versuch



Überblick über die Anordnung der Förderleitungen an der Pumpstation – links und rechts die beiden Superhochdruck-Pumpen BSA 14000 SHP D

Unimix hat zwei dieser Superhochdruckpumpen BSA 14000 SHP D und die „normale“ Hochdruck-Betonpumpe BSA 14000 HP D aus der Testphase zu einer Pumpstation zusammengefasst. Die Maschinen befinden sich ca. 70 m vom Zentrum des Gebäudeturms entfernt.

Hochfeste Betone verlangen Druckreserven

Um die Abmessungen der Decken und tragenden Wände möglichst gering zu halten und um die mit wachsender Höhe zunehmenden Lasten abtragen zu können, werden auf Dubais spektakulärster Baustelle ausschließlich Betone mit hoher Druckfestigkeit eingebaut. Den ursprünglichen Planungen zufolge sah die Verteilung der einzelnen Betonrezepturen wie folgt aus:

- Bodenplatte: C80A (Größtkorn 20 mm)
- Bis Stockwerk 26 (Höhe 95 m) für die Wände: C80A (Größtkorn 20 mm)
- Bis Stockwerk 126 (Höhe 452 m) für die Wände: C80 (Größtkorn 14 mm)
- Bis Stockwerk 154 (Höhe 570 m) für die Wände: C60

- Zum Erstellen der Decken aller Geschosse sind Betone der Druckfestigkeit C50 vorgeschrieben.

Obwohl die Betonklasse C80A mit 20 mm Größtkorn ursprünglich nur für den Einbau bis in 95 m Höhe (Stockwerk 26) vorgesehen war, wurde dieser Beton mit 50 cm Ausbreitmaß und einem W/Z-Wert von 0,3 mit geringfügig modifizierter Rezeptur bis auf eine Höhe von 352 m (Stockwerk 100) gepumpt. Für diese Höhe und mit diesem Material betrug der Förderdruck im stangenseitigen Betrieb nur ca. 150 bar bei 30 m³/h.

Ausschlaggebend für das Beibehalten der Rezeptur waren vor allem zwei Gründe: Zum einen waren alle Verantwortlichen angenehm überrascht, wie problemlos die Betonpumpen dieses Material sogar jenseits der 300 m Marke noch förderten. Zum anderen sah man eindeutige Kostenvorteile. Denn für Beton mit maximal 20 mm Größtkorn werden deutlich weniger Zement und Feinteile benötigt, als für eine Betonrezeptur mit maximal 14 mm großen Zuschlägen. Angepumpt wird jede Leitung übrigens mit 2 m³ Schlempe, die oben auf dem Gebäude in einem

Behälter aufgefangen und mit dem Kran zur Bodenmannschaft abgelassen wird.

Aufwändige Befestigung der Pumpleitungen

Leistungsfähige Betonpumpen für die spektakuläre Förderhöhe am Burj Dubai zu entwickeln, war aber nur eine der zahlreichen Aufgaben für die Putzmeister-Techniker. Eine besondere Herausforderung stellte das Förderleitungssystem dar, ihr Verschleißverhalten und ihre Druckfestigkeit sowie die Leitungsführung und Befestigung im Bauwerk. Mehrere Patente hat Putzmeister in diesem Zusammenhang beantragt.

Für den Betoneinbau in die Decken setzte Unimix von Beginn an seine stationäre PM Standard-Betonpumpe BSA 14000 HP D mit serienmäßiger ZX-Förderleitung (DN 125) ein. Die Maschine förderte überwiegend Beton der Festigkeit C50 und hat inzwischen (Stand März 2007) eine Förderhöhe von über 400 m erreicht. Es handelte es sich dabei um die gleiche BSA, die bereits beim Pumpen der Versuchsreihen verwendet wurde.

Auf Wunsch der Bauleitung wählte man für die Förderung der besonders hochfesten Betone Pumpleitungen mit 150 mm (6") Innendurchmesser, die fast über die gesamte Förderhöhe eingebaut werden. Diese Leitungen wurden für einen Betondruck von max. 250 bar ausgelegt. Lediglich in den obersten 10 Stockwerken installiert man wegen des einfacheren Handlings die normalen Putzmeister ZX-Förderleitungen (DN 125). Sie können in dieser Ausführung mit Drücken bis 130 bar betrieben werden.

Mit dem Absenken der Durchflussgeschwindigkeit erhöht sich auch die Verweildauer des Betons in der Leitung. Diese längere Fließzeit musste bei der Entwicklung der Betonierkonzepts bereits berücksichtigt werden. So beträgt bei einer angenommenen Bauwerkshöhe von 570 m die Verweildauer des Betons in der 150er Förderleitung rund 35 Minuten. Hinzu kommt die erheblich höhere Belastung der Absperrschieber aufgrund der deutlich schwereren Betonsäule in der Leitung.

Zusätzlich zu den 45.000 m³ Beton für Bohrpfähle und Bodenplatte rechnet man bei der Hochförderung für den Turm und die drei Flügel mit einem Betonbedarf von ca. 180.000 m³. Um bei diesen gewaltigen Betonmengen möglichst keine Förderrohre wechseln zu müssen, die durch den natürlichen Abrieb ja verschleiben, lieferte Putzmeister besonders langlebige Pumpleitungen mit 11 mm Wandstärke.

Von der zentralen Pumpstation führen am Burj Dubai zunächst zwei dieser massiven Betonförderleitungen zum Flügel „A“. Im Gebäude teilen sich die beiden Hauptleitungen in vier Stränge auf, die jeweils zu einem stationären PM Betonverteilmast führen. Eine weitere, fünfte Rohrleitung ist für den Stand-by-Betrieb vorgesehen.

Im zentralen Kern des Burj Dubai können die beiden Hauptleitungen mit wenigen Handgriffen auf vier Steigleitungen umgeschlagen werden, die zu den stationären Putzmeister Betonverteilmasten auf den Decken und oben im Turm führen

„Dicke“ Leitung hat Vor- und Nachteile

Die Vergrößerung des Leitungsquerschnitts hat direkten Einfluss auf die Fließgeschwindigkeit, das Verschleißverhalten, den Druckbedarf und die Verweildauer des Betons in der Rohrleitung – die gleiche Fördermenge pro Stunde vorausgesetzt. Im Vergleich zur 125 mm Förderleitung vergrößert sich der Querschnitt bei 150 mm Durchmesser um etwa 44 %. Daraus resultiert eine Druckminderung um ca. 25 %, und auch der Verschleiß verringert sich entsprechend.



6

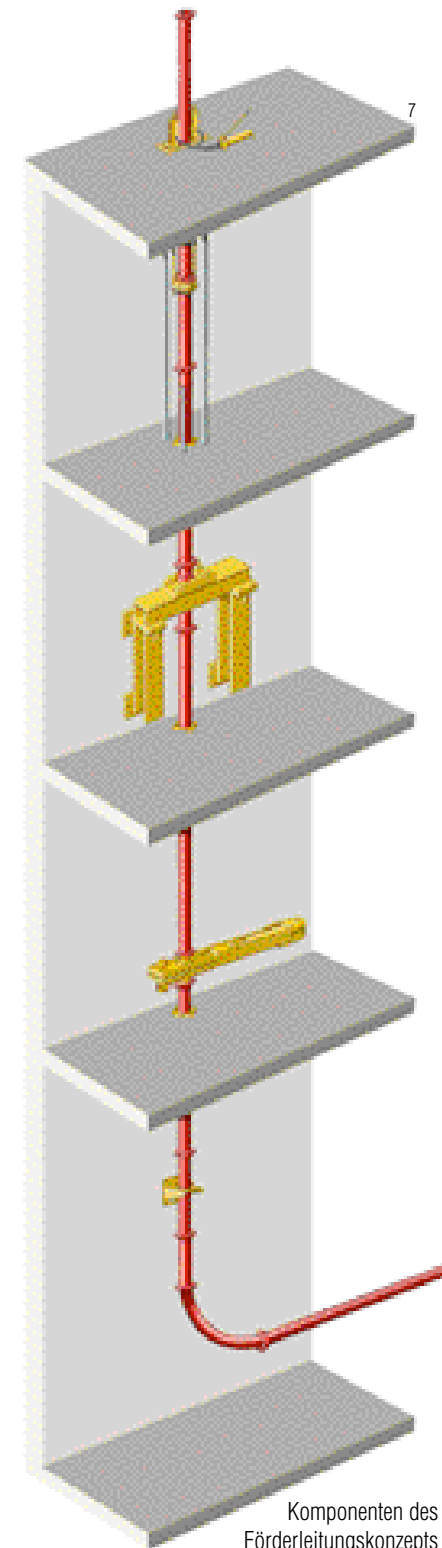
5



Wegen der hohen Temperaturen wird überwiegend nachts betoniert

Massive Wandlager halten die über 50 t schweren Betonleitungen

Um das Gewicht der Steigleitungen abzutragen (inklusive dem darin enthaltenen Beton), wird jede Förderleitung nach dem Übergang in die Vertikale durch ein massives Auflager abgestützt. Diese U-förmigen Träger wurden mit schweren, in



Komponenten des Förderleitungskonzepts



Falls einzelne Rohre ausgewechselt werden müssen, kann die gesamte Steigleitung von Hydraulikzylindern angehoben werden



Die Pumpleitungen werden zwischen den Decken so geführt, dass sie nicht seitlich wegnicken können – vertikal sind sie jedoch frei beweglich

die Wände einbetonierten Stahlplatten verschweißt und tragen das Gewicht der jeweiligen Steigleitung. Bei einer angenommenen Pumphöhe von ca. 570 m kommen beachtliche Massen zusammen. So addieren sich die Gewichte der Rohre und Kupplungen und das Betongewicht auf mehr als 50 t!

Die einzelnen 3-Meter-Rohre der Pumpleitungen werden zwischen zwei Etagen von Deckenhaltern fixiert, so dass sie zwar vertikal frei beweglich sind, horizontal jedoch – trotz des anstehenden Gewichts – nicht ausbrechen und wegnicken können. Erforderlich war diese aufwändige Führung und Befestigung der Pumpleitungen, da nach Putzmeister-Berechnungen die Beanspruchung der Rohre auf Grund der Gebäudesetzungen, Axialspannungen und Temperaturdehnungen andernfalls zu groß geworden wäre.

„Eisernes Schwert“ für den Notfall

Der Hochleistungsbeton beginnt bereits nach zwei Stunden auszuhärten. Um im Notfall nicht den kompletten Leitungsstrang durch den abbindenden Beton zu verlieren – z.B. aufgrund von Problemen in der Mischanlage, Ausfall einer Pumpe, Stopfer in der 70 m langen Horizontal-

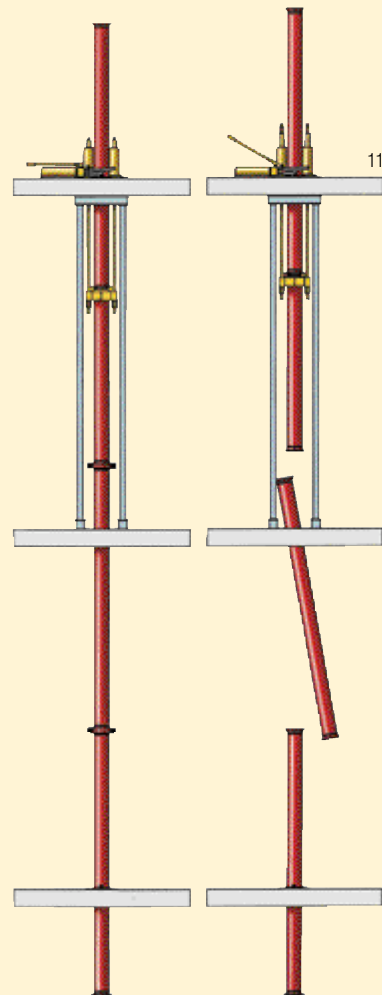
leitung, Verzögerungen bei der Betonanlieferung oder beim Betoneinbau – muss eine schnelle Entleerung der Förderleitung jederzeit möglich sein. Dazu haben PM Techniker das so genannte „Eiserne Schwert“ entwickelt, das ähnlich wie ein hydraulischer Sperrschieber funktioniert und sich dank seiner geringen Baubreite den Platzverhältnissen optimal anpasst. Sollten also die Betonchargen innerhalb von 90 Minuten nicht eingebaut sein, würde die Notfallentleerung angeordnet, d.h. mit dem „Eisernen Schwert“ die Steigleitung abgesperrt und der darunter liegende Rohrbogen geöffnet. Das Schwert würde zurückfahren, und der Beton könnte aus der Leitung frei austreten.



Für den Notfall: Mit dem „Eisernen Schwert“ ist jederzeit eine schnelle Entleerung der Steigleitung möglich

Hydraulische Hubvorrichtung erleichtert Rohrwechsel

Zum Auswechseln einzelner Förderrohre hat Putzmeister spezielle Hubvorrichtungen entwickelt. Sie bestehen aus einer Manschette, die an der Kupplung des darüber liegenden Rohrstücks befestigt wird. In einem weiteren Schritt werden zwei Ankerstäbe durch die darüber liegende Decke geführt, auf der sie sich abstützen. Das Anheben des kompletten Leitungsstrangs erfolgt über Hydraulikzylinder, die mittels Handpumpe betätigt werden.



Wechseln der Rohrleitung mit Hilfe der hydraulischen Hubvorrichtung



Die nicht ballastierten Putzmeister MX-Maste behindern weder rückwärtige Wände noch Kräne auf der Schalung

Stationärmast ohne Ballastierung

Die Betonförderleitungen sind an insgesamt vier stationäre Putzmeister Betonverteilmaste angeschlossen. Drei der Leitungen sind mit Masten des Typs MXR 28-4 T verbunden, die den Betoneinbau in den Flügeln übernehmen. Die MXR 28-4 T sind auf den Bühnen der selbstkletternden Wandschalungen (Doka) befestigt und stehen auf 16 m hohen Rohrsäulen. Den Betoneinbau in den zentralen Gebäudekern übernimmt ein vierter, mit 32 m Reichweite noch größerer MX-Stationärmast. Dieser MXR 32-4 T ist auf einer 20 m hohen Rohrsäule auf-

gesetzt und im Schacht auf einer Doka-Wandschalung installiert. Die Klettorgänge erfolgen hydraulisch in mehreren Schritten pro Stockwerk. Für die Fertigstellung einer Etage im zentralen Turmgebäude werden im Durchschnitt drei Tage benötigt. Alle vier MX-Maste hat Putzmeister übrigens ohne Ballastierung geliefert. Dadurch wollte die ARGE sicherstellen, dass eine Behinderung von Kränen und Schalungen durch die Ballastträger der Stationärmaste ausgeschlossen ist.



Aufbau der Reinigungsstation: Rechts eine der PM Superhochdruck-Betonpumpen, in der Mitte ein Sperrschieber mit 90° Rohrbogen, der entweder für den Pumpbetrieb an den Druckstutzen der Betonpumpe angeschlossen wird, oder bei der Reinigung die Verbindung zum Reinigungsturm herstellt

Einfache, jedoch gründliche Reinigung

Eingebaut werden in die Wände des zentralen Kerns pro Abschnitt ca. 100 m³ Beton (es sind jeweils drei Abschnitte pro Etage). Der Betonbedarf der Decken schwankt in den Flügeln von 150 m³ in den unteren Ebenen bis 50 m³ für die oberen Stockwerke.

Nach Ende der einzelnen Betonagen erfolgt die gründliche Reinigung der Rohrleitung und der Betonpumpe. Dazu hat Unimix auf Empfehlung der PM Techniker neben jeder BSA einen so genannten

Reinigungsturm fest installiert. Er besteht aus einer kurzen horizontalen Förderleitung und einem etwa 4 m langen Steigrohr, das am offenen Ende zweimal um 90° abgewinkelt ist. Unmittelbar vor der Reinigung wird die Betonleitung direkt hinter der BSA-Pumpe von einem hydraulischen Sperrschieber unterbrochen und durch Schwenken eines 90° Bogens die Verbindung zum Reinigungsturm hergestellt. Bereits jetzt kann der Betonpumpenmaschinist mit der Reinigung seiner BSA 14000 beginnen. Unter dem Turm wartet inzwischen ein leerer Fahrnischer darauf, dass der Sperrschieber geöffnet wird und durch die Schwerkraft

der Beton aus der Leitung in die Fahrnischer trommel fließt. Eine Wanne unter dem Trichter fängt dabei den Restbeton auf.
Da die Pumpleitung noch nicht vollständig leer ist – in der 70 m langen Horizontalleitung befinden sich noch Restmengen – wird jetzt vom oberen Ende der Pumpleitung mit Schwammkugel und Druckluft der letzte Betonrest aus der Förderleitung gedrückt. Dazu demontieren zwei Mann vom Betonierteam den Endschlauch von der Spitze des Stationärmastes, setzen eine nasse Schwammkugel in die Leitung, schließen einen Reinigungsstutzen an und geben Druckluft zu. Mit dieser Methode wird die feuchte Schwammkugel durch die Steigleitung nach unten gepresst und eventuelle Betonreste mitgenommen. Anschließend erfolgt in ähnlicher Weise die gründliche Endreinigung – allerdings wird dann ein Pfropfen aus Schwammkugel, Wasser und Schwammkugel durch die Betonleitung geblasen. Der ganze Vorgang dauert nicht länger als etwa 20 Minuten.

Reinigungsturm fest installiert. Er besteht aus einer kurzen horizontalen Förderleitung und einem etwa 4 m langen Steigrohr, das am offenen Ende zweimal um 90° abgewinkelt ist. Unmittelbar vor der Reinigung wird die Betonleitung direkt hinter der BSA-Pumpe von einem hydraulischen Sperrschieber unterbrochen und durch Schwenken eines 90° Bogens die Verbindung zum Reinigungsturm hergestellt. Bereits jetzt kann der Betonpumpenmaschinist mit der Reinigung seiner BSA 14000 beginnen. Unter dem Turm wartet inzwischen ein leerer Fahrnischer darauf, dass der Sperrschieber geöffnet wird und durch die Schwerkraft



Teleservice informiert zentralen Putzmeister Kundendienst – eigenes Personal ist vor Ort

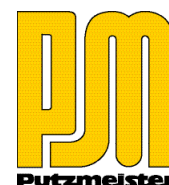
Gearbeitet wird am Burj Dubai in drei Schichten. Aufgrund der hohen Tagestemperaturen – bis zu 50 °C – erfolgen die Betonagen in der Regel während der etwas kühleren Nachtstunden. Um jeder-

zeit über den Zustand der Superhochdruck-Pumpen informiert zu sein, werden die beiden BSA 14000 SHP D per Teleservice vom zentralen PM Kundendienst in Aichtal überwacht. Übermittelt werden wichtige Parameter wie Hydraulikdrücke Steuerungssignale, Öltemperatur etc. Darüber hinaus betreuen erfahrene Putzmeister Serviceingenieure die Beton-

förderung vor Ort. Sie waren bereits an der Spezifikation der Superhochdruckpumpen und bei der Ausarbeitung des Betonierkonzepts beteiligt. Auch bei der späteren Installation der Rohrleitungen und Betonverteilmaste standen die Putzmeister Spezialisten dem Kunden Unimix und der Bauleitung zur Seite.

Putzmeister Geschäftsfelder:

Betonpumpen · Industrietechnik PIT · Telebelt · Mörtelmaschinen GmbH · Dynajet Hochdruckreiniger · Services · Concrete Project Division CPD · Consulting und Datentechnik · Akademie



Putzmeister AG
Max-Eyth-Str. 10 · D-72631 Aichtal
Postfach 2152 · D-72629 Aichtal
Tel. +49 (7127) 599-0
Fax +49 (7127) 599-520
www.putzmeister.com
E-mail: pmw@pmw.de