

Bauwerk der Rekorde

Testturm von thyssenkrupp in Rottweil

Holcim (Süddeutschland) GmbH



Innovationen vorantreiben

Weltweit nimmt die Verstädterung zu und immer mehr Menschen drängen sich in den Ballungszentren zusammen. Baut man in die Höhe, bringt man auf derselben Parzelle mehr Nutzfläche unter. Doch Wolkenkratzer sind teuer in der Erstellung und lassen sich nur von unten erschließen. Die Wege werden damit immer länger, je höher die Gebäude sind. Soll die Transportkapazität beibehalten werden, werden mehr Fahrstühle benötigt und damit mehr Schächte, womit aber die nutzbare Fläche abnimmt. thyssenkrupp hat deshalb das neue, seillose Aufzugssystem MULTI entwickelt, bei dem mehrere Kabinen in einem Schacht fahren und so die Transportkapazität erheblich erhöht wird. Doch auch bestehende Systeme haben noch Optimierungspotenzial, das ebenfalls getestet und zertifiziert werden muss. Daher ließ das Unternehmen bei Rottweil einen 246 Meter hohen Testturm mit 12 Schächten errichten, in dem es seine Innovationen unter realen Bedingungen zur Marktreife bringen kann.

Das ganze Bauwerk wird am Schluss mit einer PTFE-Membran spiralförmig verkleidet, die ihm ein unverwechselbares Äußeres geben wird. Die Membran hat aber nicht nur eine gestalterische Funktion, sie schützt die Betonkonstruktion auch vor Überhitzung oder Auskühlung durch Sonne und Wind. Nach seiner Fertigstellung wird der Turm zudem über die höchste, öffentlich zugängliche Aussichtsplattform Deutschlands verfügen. Auf 232 Metern über dem Boden wird sich eine großartige Aussicht in alle Richtungen eröffnen.

Bauherr: Krupp Hoesch Stahl GmbH, Essen
Bauherrenvertreter: thyssenkrupp Real Estate GmbH, Essen
Nutzer: thyssenkrupp Elevator
Generalübernehmer: Ed. Züblin AG, Stuttgart
Architekten: Werner Sobek mit Helmut Jahn
Objektplanung: Werner Sobek Design GmbH, Stuttgart / JAHN Architects, Chicago
Tragwerks- und Fassadenplanung: Werner Sobek Stuttgart GmbH, Stuttgart
Subunternehmer: Bitschnau Gleit- & Schalungstechnik, A-Nenzing
Bewehrung: Eberhard Bewehrungsbau GmbH, Hohentengen
Beton: tbu Transport-Beton-Union GmbH & Co. KG, Werk Horgen
Zement: Holcim (Süddeutschland) GmbH, Dotternhausen

Visualisierung des vollendeten Testturms mit seiner spiralförmigen Verkleidung.
© thyssenkrupp

Titelbild:
Blick hoch aus dem Turm in seinem obersten Teil; die Aufnahme entstand vor dem Einbau der letzten Geschossdecken.

Herausforderung an den Betonbau

Das Fundament des 246 Meter hohen Turms geht rund 30 Meter in die Tiefe. Der gesamte Betonbau umfasst damit eine Höhe von über 275 Metern. Die Anforderungen an den Baustoff Beton waren unterschiedlich, aber durchgängig sehr hoch.

Bodenplatte

Die rund zwei Meter mächtige Bodenplatte besteht aus 700 Kubikmetern Beton, die in einer Etappe eingebracht und verdichtet wurden. Beim Beton handelt es sich um einen C50/60, dessen Wärmeentwicklung dennoch moderat ausfallen musste.

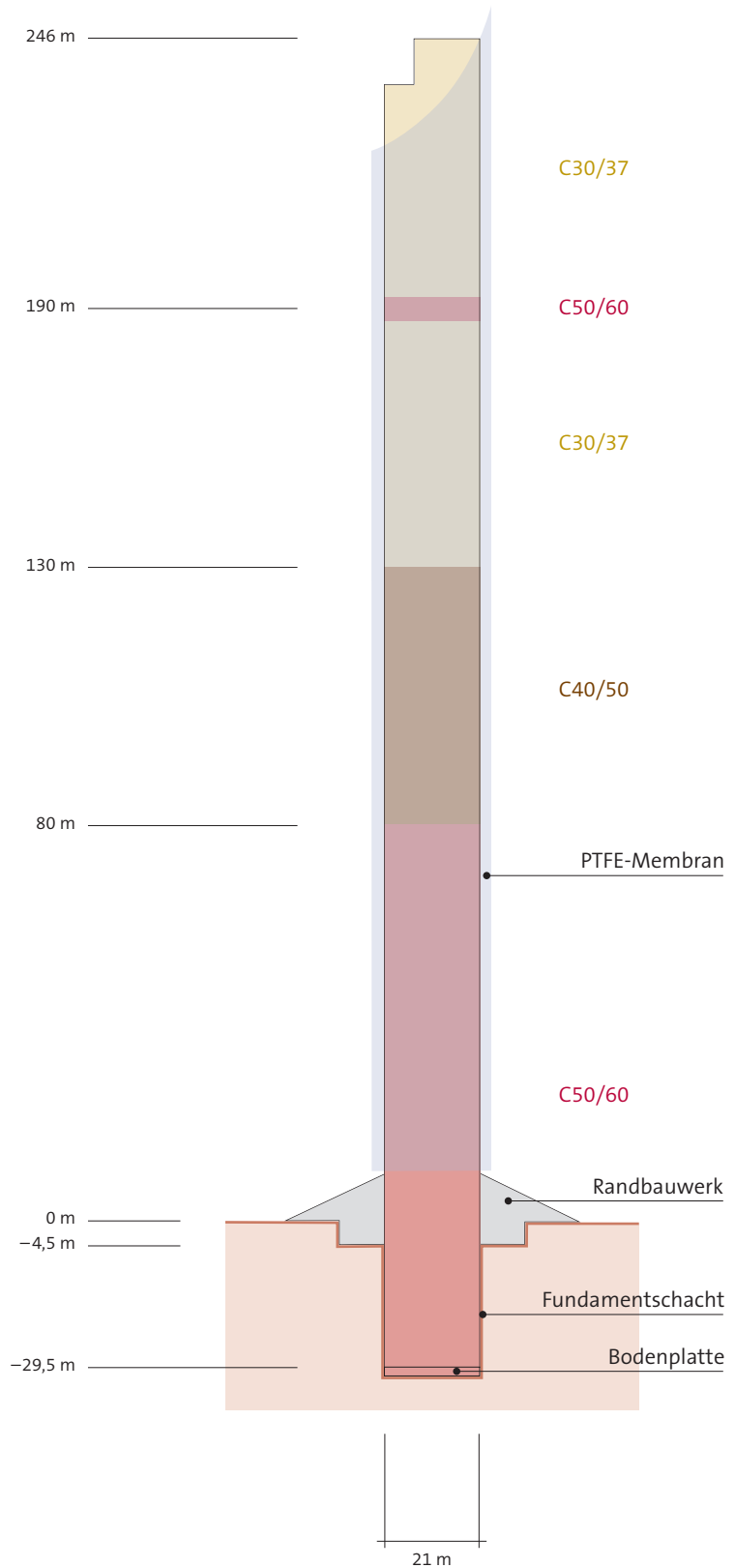
Turmschaft

Bis zu einer Höhe von 80 Metern über dem Boden wurde ein C50/60 eingesetzt, auf den weiteren 50 Metern ein C40/50 und danach bis zur Spitze ein C30/37. Auf einer Höhe von rund 190 Metern findet sich noch ein 5 Meter hohes Stück, wo die Festigkeit ebenfalls einem C50/60 entspricht. Dort wird eine Pendelmass eingebaut, die die Auslenkungen des Turms auf ein erträgliches Maß dämpft. Der Beton muss nicht nur den statischen Erfordernissen genügen, er musste auch ungeachtet des schnellen Baufortschritts und der außergewöhnlichen Temperaturen im Sommer 2015 die schwierigen Anforderungen an die Gleitschalbauweise ermöglichen.

Weitere Betonarbeiten

Nach der Fertigstellung des Turmschafts wurden die Geschossdecken eingebaut. Der Beton musste dazu in einer stets länger werdenden Leitung mit immer größerem Druck von unten hochgepumpt werden. Und letztlich entstand rund um den Turmfuss ein Randbauwerk, dessen Dach ein steil von der Turmwand abfallender Betonkegel bildet, der im Endzustand begrünt werden wird.

Die Herausforderungen an den Baustoff Beton waren bei diesem Bauwerk sehr groß und teilweise einmalig. Dazu zählen vor allem die große Bauwerkshöhe, die hohen Betonfestigkeiten, die hochsommerlichen Temperaturen beim Bau, die kurze Bauzeit und ein rund um die Uhr laufender Bauvorgang. Meistern ließen sich diese Schwierigkeiten nur dank unzähliger Vorversuche und des perfekten Zusammenspiels aller am Bau Beteiligten.



Schemaskizze mit den wichtigsten Bauteilen und Maßen und der Zuordnung der Betonfestigkeiten.



Betonage der Bodenplatte



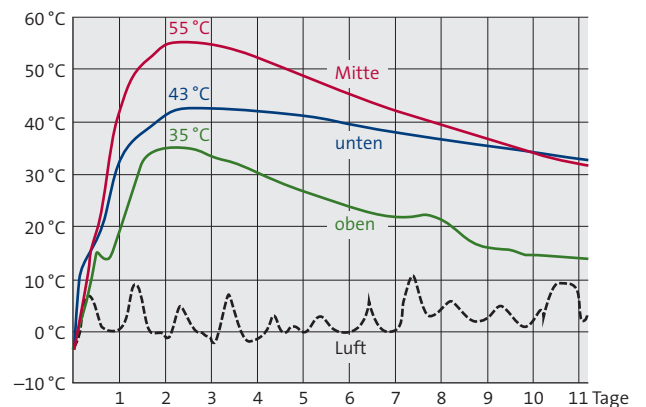
Grabarbeiten am Fundamentschacht.

Der rund 30 Meter tiefe Schacht für das Fundament des Turms wurde mit einem Bagger erstellt, der sich mit der Schaufel und dem Abbauhammer nach unten grub. Die Schachtwand wurde laufend mit Bewehrungsnetzen und Spritzbeton gesichert. Nach dem Aushub hob ein schwerer Autokran den Bagger aus der Grube.



Die Bodenplatte weist nicht nur einen hohen Bewehrungsgrad auf, sie wurde auch mit Sensoren zur Temperaturmessung bestückt.

Als erstes Bauteil des Turms wurde die zwei Meter mächtige Bodenplatte erstellt. Der Beton durfte dabei trotz seiner hohen Festigkeit – ein C50/60 – keine allzu große Wärme beim Abbinden entwickeln, um Schwindrisse zu vermeiden. In umfangreichen Vorversuchen wurde eine Rezeptur erprobt, die diesen Anforderungen genügte und trotz des hohen Bewehrungsgrades eine sichere Verdichtung erlaubte. Das mächtige Bauteil mit einem Volumen von 700 Kubikmetern wurde danach in einer fast elf Stunden dauernden Betonage in einem Zug gegossen. Eingebaute Sensoren registrierten die Temperatur an der Unter- und Oberseite sowie im Inneren der Bodenplatte und ermöglichten so eine laufende Übersicht über die tatsächliche Wärmeentwicklung. Der gemessene Höchstwert im Kern betrug 55 °C und die maximale Differenz zwischen Oberseite und dem Inneren der Bodenplatte lag bei rund 20 °C. Eine umfassende und sorgfältige Nachbehandlung schloss die Arbeiten am Fundament des hohen Bauwerks ab.



Die Temperaturentwicklung wurde vom Beginn der Betonierarbeiten an laufend gemessen (geglättete Kurven).



Der Turmbau beginnt

Das Bauprogramm verlangte, dass der Turm täglich um bis zu 3,6 Meter in die Höhe wachsen sollte. Diese Vorgabe legte auch gleich die Bauweise fest, denn nur die Gleitschaltechnik kann diese Leistung erbringen.

Tag und Nacht im Dreischichtbetrieb

Bei der Gleitschalbauweise wird eine dem Objekt angepasste Schalung rund um die Uhr langsam, aber stetig nach oben gezogen, wobei alle vertikalen Bauteile laufend erstellt werden. Die Gleitgeschwindigkeit hängt von verschiedenen Faktoren ab, hauptsächlich aber von der Einbauleistung und vom Abbindebeginn und -verhalten des Betons. Dieser muss sich beim Ziehen der Schalung noch abreiben lassen, jedoch bereits standfest sein, damit er nicht zusammensackt.

Der Start erfolgte tief unten

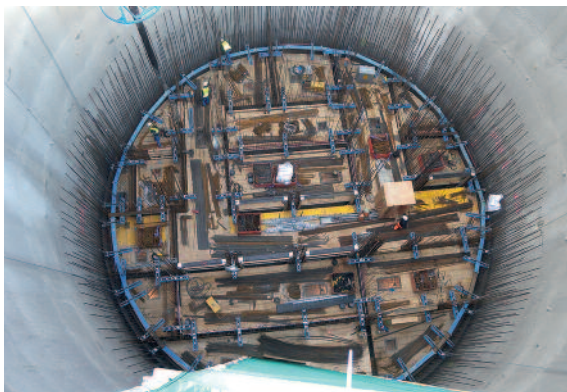
Der Turm wurde auch in seinem unterirdischen Teil bereits in dieser Bauweise erstellt, wobei in diesem

ersten Gleitabschnitt direkt an die Schachtwand betoniert wurde. Es musste damit nur die Innenhaut mit der Scheibe geglättet und nachbearbeitet werden (Foto auf Seite 7), die hauptsächlich Schwierigkeiten der hohen Betonfestigkeit und des steten Gleitvorgangs bestanden aber – mit Ausnahme der sommerlichen Temperaturen und der später höheren Geschwindigkeit – auch schon beim Fundamentschaft.

»Holcim unterstützte uns im Vorfeld der Arbeiten wie auch in der Bauphase hervorragend – sogar wenn es sich um einen Sonn- oder Feiertag handelte, war ein Produktmanager abrufbereit.«

Christoph Ramsperger, Geschäftsführer tbu Transport-Beton-Union GmbH & Co. KG

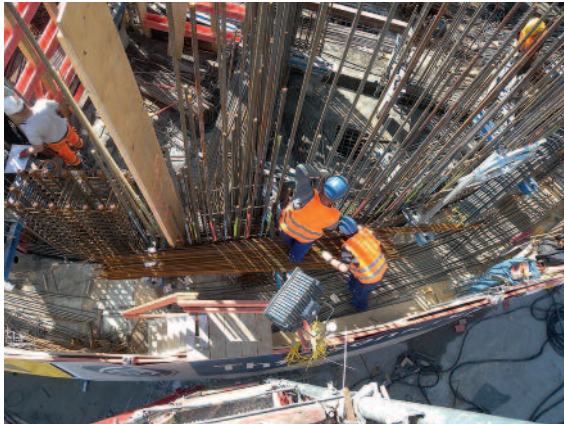
Dieser erste Gleitabschnitt begann am 10. März 2015 und erreichte nach neun Tagen die Terrainhöhe. Hier mussten alle Schalungen neu montiert und für den zweiten Gleitabschnitt umgestellt werden.



Blick in den Fundamentschacht, aus dem der Turm stetig nach oben wächst.



Der erste Gleitabschnitt nähert sich seinem Ende, die ersten 30 Meter des Turms sind gebaut.



Die Bewehrung wird laufend verlegt, um bereit zu sein für die nächste Betonlieferung.



Der Betomat, ein Krankübel des Gleitschalbauers, lässt sich über eine Steuerung am Schlauchende bedienen.

Besonderes Know-how erforderlich

Nur Spezialisten beherrschen die Gleitschalbauweise, denn sie erfordert eine eingespielte Mannschaft, viel Erfahrung und ein besonderes Gespür für den Beton.

»Der Aufwand, den das Zementwerk betrieb, war enorm. Dass die Betontemperatur trotz hochsommerlicher Wärme konstant blieb, war absolut entscheidend. Hätten wir mahlheißen Zement bekommen, hätten wir die Arbeiten einstellen müssen – mit allen Konsequenzen. Holcim hat hier gezeigt, was Partnerschaft heißt.«

Harald Schmid, Geschäftsführer Rottweiler Transportbeton GmbH & Co. KG

Aus diesem Grund wurde die österreichische Firma Bitschnau beauftragt, die sich ausschließlich der Gleit- und Schalungstechnik widmet.

Schwierige Betonrezeptur

Der Beton hat sehr viele Kriterien zu erfüllen, damit das Gleiten auch klappt. Dazu muss er über den gesamten Querschnitt, der betoniert wird, gerade so schnell abbinden, dass er beim Ziehen der Schalung standfest ist, aber noch abgerieben und mit einem Curingmittel nachbehandelt werden kann. Die untersten 110 Meter des



Turms, einschließlich Untergeschoss, waren vom Beton her die schwierigsten. Verlangt war hier nämlich ein C50/60 mit einer konstanten Festigkeitsentwicklung ab Erreichen der Grünstandfestigkeit sowie eine Offenzeit während sieben Stunden, um das Ziehen der Schalung zu ermöglichen. Bevor es ans Bauen gehen konnte, mussten daher Gleitversuche unternommen werden (vgl. Seite 10).

Neuland in mehrfacher Hinsicht

Grundsätzlich wurde bei diesem Turmbau in mehrfacher Hinsicht Neuland betreten, denn noch nie wurde ein derart fester Beton beim Gleitschalen eines so hohen Bauwerks verwendet. Schon gar nicht bei einer so hohen Gleitgeschwindigkeit und bei so vielen Einbauteilen. Dies war umso bedeutender, als die Gleitschalbauweise an sich schon sehr anspruchsvoll ist. Denn das Verfahren bedingt einen laufenden Bau rund um die Uhr, ohne jede Pause. Alles Material muss rechtzeitig am richtigen Ort sein, jeder Handgriff muss sitzen, und alle müssen mit-



Der Beton kann damit punktgenau und in der richtigen Menge eingebracht werden.



Mit einer rotierenden Schwammscheibe werden unterhalb der hochgeglittenen Schalung die Luftporen des Betons geschlossen.

ziehen, damit es klappt. Das ist auch auf der menschlichen Ebene äusserst anstrengend und belastend – aber auch erfüllend, wenn der gemeinsame Erfolg spürbar ist.

Extrem heiße Witterung

Im Juni 2015 war es so heiß, dass eine Sprinkleranlage eingerichtet werden musste, die die Bewehrungsseisen auf der Arbeitsplattform abkühlte, damit sie überhaupt angefasst und verlegt werden konnten. Es war der Jahrhundertssommer schlechthin. Andere Baustellen in Baden-Württemberg mussten sogar pausieren, weil die Betontemperaturen über 30 °C lagen und das Betonieren unmöglich machten. Das 20 Kilometer entfernt gelegene

Zementwerk Dotternhausen reservierte angesichts dieser Verhältnisse für diese anforderungsreiche Baustelle ein eigenes Silo, in dem der Zement genug Zeit hatte, um auf eine Temperatur von 50 °C abzukühlen. Mit dieser Maßnahme ließ sich die Betontemperatur bei konstanten 21 bis 24 °C halten. Diese gleichbleibend tiefe Betontemperatur war eine unabdingbare Voraussetzung dafür, dass sich der heikle Gleitschalvorgang überhaupt realisieren ließ.



Weitere Betonarbeiten

»Innenausbau« in Schritt zwei

Da die Gleitschalbauweise keine horizontalen Bauteile erlaubt, können die Zwischendecken erst nach der Fertigstellung der Außen- und Innenwände eingezogen werden. Alle 10 Meter wird eine Geschossdecke betoniert, und durch die Aussparungen in der Außenwand wird Tageslicht in die so entstandenen Flure des Testturms fallen. Ursprünglich war vorgesehen, den Beton dieser Zwischendecken mit dem Kran von oben einzubringen, doch die extrem langen Hubwege und das wegen der engen Verhältnisse mit den vielen Schachtwänden langsame Absenken im Turm hätten zu viel Zeit gekostet. Daher wurde der Beton der Geschossdecken schließlich von unten hochgepumpt. Es erwies sich als am effizientesten, Filigrandecken einzulegen und dann jeweils drei Decken auf einmal zu betonieren. Doch die Pumpleitung wurde immer länger, und der Druck nahm stetig zu. Die Leitung bestand daher im unteren Bereich aus einem verstärkten Rohr, das dem hohen Druck gewachsen war. Ein extra starkes Pumpaggregat machte den Einbau von unten her letztlich möglich. Bedenkt man, dass ein Pumpen über eine Distanz von 150 Metern bereits in der Horizontalen als anspruchsvoll gilt, kann man die hier erbrachte Leistung besser würdigen. Doch auch für den Beton selber galten hohe Anforderungen. So musste er bereits nach drei Tagen eine Festigkeit von 30 N/mm² aufweisen, damit die folgenden Arbeitsschritte auf die frisch betonierten Decken abstützen konnten.

Einbau in starkem Gefälle

Rund um den Turmfuss sind zwischen den vier Eingängen Räume angeordnet, die dem Empfang, aber auch dem Lager und der Technik dienen. Überdacht werden diese Räume von einem steilen Dach, das im Endzustand begrünt werden soll. Für dieses Kegeldach mit seinem starken Gefälle kam ein steifer Beton zum Einsatz. Zudem wurde das Dach etappenweise betoniert, um ein Abrutschen des Betons zu verhindern. Die einzelnen Etappen wurden dazu mit Streckmetalleinlagen voneinander getrennt.



Einbringen des Betons einer Geschossdecke; der Baustoff muss dazu bis zu 240 Meter vertikal hochgepumpt werden.



Ein extrastarkes Pumpaggregat war notwendig, um den Beton der Geschossdecken hochzupumpen.



Betonierarbeiten am steil abfallenden Kegeldach des Randbauwerks.

Lieferungen rund um die Uhr

© Silas Stein

Sämtliche Betonlieferungen hatten sich nach der benötigten Menge pro Zeiteinheit zu richten, die sich aufgrund des Gleittempos und der Bauwerksgeometrie ergab. Die Außenwand des Turms und die Wände der 12 Schächte führten im unteren Teil, wo die Wände dicker sind, zu einem Bedarf von bis zu 230 Kubikmetern Beton pro Tag, der sich bis zur Turmspitze auf rund 165 Kubikmeter verringerte.

Meist verkehrten Fahrmischer mit 6,6 Kubikmeter Fassungsvermögen, was zwei Füllungen des Betomats – des speziellen Krankübels des Gleitschalbauers – entspricht. Die beteiligten Betonwerke mussten sich aber über die ganze Bauzeit dem 24-Stundenbetrieb der Baustelle anpassen und jederzeit den exakt richtigen Beton zur richtigen Zeit auf die Baustelle schicken. Dabei gab es einige Erschwernisse, die den vorgesehenen Takt auch durcheinanderbringen konnten. So wurden die mit dem Wachstum des Turms zunehmenden Hubwege und -zeiten ein kritisches Element, denn neben dem Beton musste auch die Bewehrung rechtzeitig hochgeführt werden. Der Beton musste für die Gleitschalbauweise

aber eine definierte Offenzeit haben, weshalb er nicht einfach längere Zeit im Fahrmischer ruhen konnte. Um die Just-in-time-Lieferungen trotz solchen unvorhersehbaren Schwierigkeiten optimal zu gewährleisten, wurden die Fahrmischer in kritischen Situationen auch einzeln abgerufen. Hatte der eine Fahrer seine Fuhre geleert, informierte er das Betonwerk, das erst dann den nächsten Fahrmischer belud.

»Die Zusammenarbeit mit Holcim war sehr gut. Aber wir wussten auch, dass wir alle aufeinander angewiesen waren bei diesem anspruchsvollen Bauwerk. Die Kommunikation miteinander spielte eine Schlüsselrolle.«

Ralf Kalde, Laborleiter der Prüfstelle E+W, Rottweiler Transportbeton GmbH & Co. KG

Das Betonwerk musste einiges an Improvisationsfähigkeit aufbringen und seinen Mitarbeitern viel abverlangen. Der 24-Stundenbetrieb beim Turmbau hätte sich ohne besonderen Einsatzwillen oder zusätzliches Personal nicht mit den Betriebszeiten und Einsatzplänen des Betonwerks vertragen.



Im Durchschnitt kam Tag und Nacht alle 40 Minuten ein Fahrmischer mit dem Beton für zwei Füllungen des Betomaten auf die Baustelle.



Die mit dem Höhenwachstum immer länger werdenden Hubwege ließen die Krankapazität zu einem kritischen Faktor werden.

Ausführliche Vorversuche sowie laufende Begleitung und Beratung



Die Rezepturen wurden im Voraus aufwendig und im maßstäblichen Versuch erprobt.



Nicht nur das Gleiten musste möglich sein, auch die Nachbehandlung hatte das gewünschte Resultat zu zeitigen.

Bereits ab November 2014 fanden die ersten Vorversuche statt, um eine Rezeptur zu finden, die trotz der hohen verlangten Festigkeit eines C50/60 und eines Höhenwachstums von 3 bis 4 Metern pro Tag die Gleitschalbauweise möglich machen sollte. Die Grünstandsfestigkeit sollte dabei nach 8 oder 10 Stunden erreicht sein und das Ausbreitmaß in einem Bereich zwischen 520 und 600 mm liegen. Die verlangten Druckfestigkeiten betragen 25 N/mm² nach 2 Tagen und 64 N/mm² nach 28 Tagen.

Die Druckfestigkeiten ließen sich in den ersten Versuchsreihen mit einem Prüfalter von 56 Tagen zielsicher errei-

chen, aber der Beton war zu klebrig und band zu schnell ab. In weiteren Versuchsreihen wurde dann mit dem Optimo 4 statt des Optimo 5 ein weniger schnell abbindender Zement gewählt. Nach verschiedenen Dosieränderungen bei Zement und Flugasche ergab sich schließlich eine Rezeptur, die im ersten Gleitabschnitt (Fundamentschaft) nahezu unverändert zum Einsatz kam. Für das Gleiten des zweiten Abschnitts wurde diese Rezeptur dann jedoch nochmals angepasst. Die dichte Bewehrung und vor allem die vielen Einbauteile führten dazu, dass die Körnung auf den Bereich 0 bis 16 mm verringert wurde. Diese Rezeptur war sehr gut verarbeitbar



Aufgrund der vielen Einbauteile wurde die Körnung der Betonrezeptur des zweiten Gleitabschnitts reduziert.



Auf der Baustelle wurden laufend Probekörper aus dem gelieferten Beton hergestellt.

und ließ sich auch problemlos nachbearbeiten. Auch für die später folgenden Turmabschnitte, bei denen die Festigkeit des Betons erst auf einen C40/50 und dann auf einen C30/37 reduziert werden konnte, wurde die Rezeptur im Voraus getestet. Dabei konnte auf die Erfahrungen aus den Versuchen aufgebaut werden, vor allem aber erleichterten die geringeren Festigkeiten das Finden einer geeigneten Rezeptur für diese Abschnitte.

Partnerschaft als Schlüssel zum Erfolg

Der Erfolg des Gleitschalverfahrens trotz einer sehr hohen Betonfestigkeit, hochsommerlichen Temperaturen

»Ich habe vonseiten des Zementwerks einen ungewohnt und unüblich hohen Grad an Beratung erfahren. Das war bei diesem Bauwerk mehr als nur eine große Hilfe. Holcim hat hier neue Maßstäbe gesetzt.«

Steffen Kuder, Oberpolier, Ed. Züblin AG

und einem horrenden Tempo war nur möglich, weil die Zusammenarbeit zwischen den Beteiligten – Unternehmer, Gleitschalbauer, Betonlieferant und Zementwerk – hervorragend klappte. Statt der durch die Auftragsverhältnisse vorgegebenen Hierarchie zu folgen, setzten sich die Partner zusammen und lösten die anstehenden Probleme gemeinsam.

Optimo 4 – ein Zement für alles

Auch die Rezeptur der Bodenplatte wurde im Voraus getestet, wobei zu Beginn aufgrund seiner geringeren Hydratationswärme das Augenmerk auf einem Schieferhochofenzement lag. Letztlich wurde aber auch für die Bodenplatte der Portlandkompositzement Optimo 4 verwendet. Die gesamte Zementlieferung für das ganze Bauwerk bestand damit aus nur einer Sorte: rund 7 000 Tonnen Optimo 4, der zum Teil aus dem in Dotternhausen abgebauten Schiefer besteht.

Überraschende Erfahrung

Eine interessante und grundsätzlich überraschende Erfahrung, die sich bei diesem Bau mit seinen vielen Betonrezepturen machen ließ, galt der Erhärtung des Betons zwischen dem 28. und dem 91. Tag. Die Zunahme der Festigkeit betrug unabhängig von der Rezeptur in diesem Zeitbereich stets 15 bis 20 Prozent.



Noch nie entstand ein so hohes Bauwerk in so hohem Tempo mit einer so hohen Betonfestigkeit in der Gleitschalbauweise.



Holcim (Süddeutschland) GmbH
72359 Dotternhausen
Deutschland
info-sueddeutschland@holcim.com
www.holcim.de/sued
Telefon +49 (0) 7427 79-300
Telefax +49 (0) 7427 79-248