

# Als Trio zum gemeinsamen Ziel: ROBUSTA GAUKEL und ZÜBLIN Timber entwickeln Sonderschalungen für Stuttgart 21

**So geht Partnerschaft: Beim Bahnprojekt Stuttgart Ulm erarbeiten ZÜBLIN Timber und ROBUSTA GAUKEL gemeinsam alle Sonderschalungen für die 28 Freiformtragwerke der Bahnhofshalle. Zusammen mit ZÜBLIN stellen sie sicher, dass jede der Kelchstützen ein perfektes Unikat wird – und das kollektive Projekt ein Erfolg.**

Mit dem Bahnprojekt Stuttgart 21 entsteht eines der derzeit größten Infrastrukturprojekte in Europa. Im Rahmen der Umwandlung des bestehenden Kopfbahnhofes in einen unterirdischen Durchgangsbahnhof wird die Bahnhofshalle nach den Plänen des Architekten Christoph Ingenhoven neu errichtet. Das architektonische Highlight dieses Gebäudes stellen seine Kelchstützen dar. Derartige Schalenträgerwerke aus Stahlbeton wurden in dieser komplexen Form noch nie zuvor errichtet.

## Teamarbeit gefordert

Um sie zu realisieren, mussten vier Komponenten in Einklang gebracht werden: maßgefertigte Schalungssysteme, individuell daran angepasste Unterstützungskonstruktionen, die Betonqualität und nicht zuletzt auch die Bau- und Baustellenlogistik. Möglich machte dies die intensive Zusammenarbeit von drei Partnern: der ZÜBLIN Timber GmbH als Experte für Ingenieurholzbau und 3D-Brettsperrholzformen, der ROBUSTA GAUKEL GmbH & Co. KG als Spezialist für Montage-, Anker-, Sicherheitstechnik und Schalungen sowie anspruchsvolle Sonderlösungen und ZÜBLIN als bauausführendem Unternehmen. Gemeinsam verantworten sie die Realisierung der als Sonderlösungen gefertigten Schalungssysteme für die Schalenträgerwerke von Stuttgart 21.

Da für derartige Freiformen bis dato kein erprobtes Schalungssystem auf dem Markt ist, entwickelt ZÜBLIN Timber die tragenden Formkörper aus massivem, mit faserverstärktem Kunststoff beschichtetem Brettsperrholz. ROBUSTA GAUKEL verantwortet die Planung, statische Berechnung und Herstellung der statisch räumlichen Unterstützungskonstruktion für die Schalkörper. Besonders die statische Berechnung in dieser Größenordnung ist absolutes Neuland und damit eine riesige Herausforderung.



**Bild 1.** Highlight der Bahnhofshalle von Stuttgart 21 sind die sogenannten Kelchstützen. (plan b, Stuttgart)

Und ZÜBLIN bringt fundierte Kenntnisse zur Baustellenlogistik, Expertise in der Betonbauweise und detailliertes Wissen zu Ein- und Ausschalprozessen in das Team ein. Dieses besteht seit rund fünf Jahren und wird voraussichtlich noch ein oder zwei Jahre in enger Kooperation zusammenarbeiten – solange, bis auch die letzte Kelchstütze fertiggestellt ist.

## Von der gemeinsamen Baustellenbesprechung ...

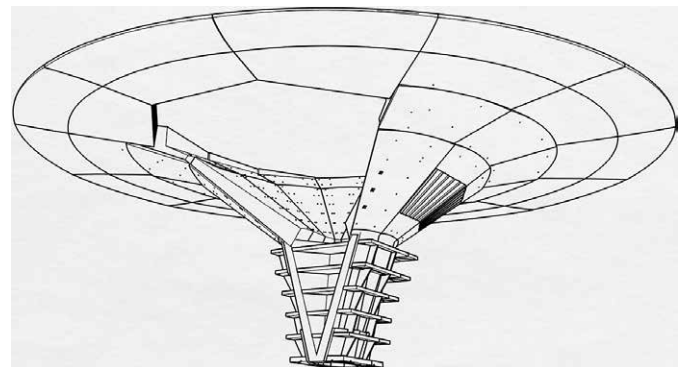
Schnittstellenbesprechungen auf der Baustelle finden in der Regel wöchentlich statt, je nach Intensität der Planungsprozesse auch häufiger. Doch auch außerhalb der Baustellenbesprechungen stehen die Partner in engem Kontakt. Bei jeder neuen Erkenntnis werden alle informiert. Und jeder kennt die Betriebe respektive Herstellungsprozesse der jeweils anderen.

Während der Besprechungen werden an Geometrie-Modellen alle technischen Parameter erarbeitet, die für die jeweilige Lösung notwendig sind, von technischen Details über Ein- und Ausschalprozesse und logistische Themen wie Lieferterminen bis hin zur Konfektionierung. Themen wie Kollisionsprüfungen im Rahmen von Ein- und Ausschalsequenzen stehen dabei ebenso im Raum wie die Kranlasten, Schwerpunkte und Krananhängepositionen der einzelnen Bauteile, die Modellierung von Verbindungsmitteln sowie das Qualitätssicherungsverfahren, das alle Bauteile durchlaufen müssen.

Auf dieser Basis arbeiten ZÜBLIN Timber und ROBUSTA GAUKEL ihre jeweiligen Lösungen aus. Diese werden im Anschluss in Planpaketen dargestellt, bevor sie den Freigabeprozess mit den Architekten, der Prüfstatik und der Deutschen Bahn durchlaufen und schließlich in Produktion gehen.

## ... für die gemeinsame Aufgabe

3 Regelschalsätze wurden bis dato auf diese Weise bereits erstellt, 7 Kelche betoniert. Am Ende des gemeinschaftlichen Prozesses werden 28 Kelchstützen entstanden sein. Dazu kommen 14 Restkelche und 4 Brillenwandkelche.



**Bild 2.** Jede Unterschale einer Kelchstütze besteht aus 42 Teilen. Der Schalsatz wird in radialer Richtung aus vier Bauteilen und in Kreisumfangsrichtung aus zwölf Bauteilen gebildet. (ZÜBLIN Timber)



**Bild 3.** Regelkelch, teilweise ausgeschalt. Die ausgeschalteten Bereiche werden mit den sog. Notunterstützungen unterstützt, bis das gesamte Deckenfeld zwischen den Kelchen fertig gestellt ist. (ROBUSTA GAUKEL)

Sie alle sind nicht nur wegen ihrer grundsätzlich komplexen Geometrie eine bautechnische Herausforderung. Jeder Regelkelch ist zudem ein Einzelstück mit individueller Neigung, Form und zwischen 8,5 und 13 m variierender Höhe. Um alle Kelche zu betonieren, müssen daher unterschiedliche Ergänzungsbaugruppen gefertigt und zwischen ein- und 24-mal eingesetzt werden.

#### **Von der individuellen Fertigung der Formteile bei ZÜBLIN Timber ...**

Zur Entwicklung eines Schalkkörpers, „leiten wir aus dem 3D-Geometriemodell von Christoph Ingenhoven zunächst die Negativformen für das Schalungsmodell ab. Unter Berücksichtigung verschiedener Eingangsgrößen wie Betondruck- und Geometrie erfolgt die statische Bemessung und Dimensionierung der Formteile, bevor konstruiert und schließlich produziert wird“, erklärt Andreas Amorth, Prokurist bei ZÜBLIN Timber. Eine parametrische Schnittstelle macht es zudem möglich, die Werkzeugpfade für die Fertigung direkt aus dem Modell zu erzeugen.

In deren Verlauf werden aus Brettsperrholzrohlingen zunächst in mehreren Schichten verschnittoptimierte Rohkörper zusammengesetzt. Ein Industrieroboter arbeitet die endgültige Form heraus. Im Anschluss werden die gefrästen Schalungsteile mit einer speziell entwickelten Mischung aus Harzen beschichtet und ihre jeweilige Form mithilfe eines 3D-Laserscanners verifiziert.

#### **... zur Produktion der Sonderlehrgerüste bei ROBUSTA GAUKEL**

Parallel entwickelt ROBUSTA GAUKEL die Sonderlehrgerüste zur Unterstützung der Holzschalung sowie der Betondrücke gegen die obere Schalung. „Im Vorfeld müssen die auftretenden hydrostatischen Betonlasten auf die Freiformflächen durch sehr aufwändige und anspruchsvolle 3D-Finite-Elemente-Berechnung ermittelt werden“, erläutert Johannes Lißner, Leiter Technik bei ROBUSTA GAUKEL. Auf dieser Basis erfolgt die Planung, der statische Nachweis und schließlich die Produktion der komplexen Unterstützungsstrukturen.

So ist die Unterrüstung für einen kompletten kreisförmigen Regelkelch in zwölf Abschnitte à 30 Grad unterteilt. Jeder Abschnitt wird von zwei Turmeinheiten unterstützt. Daraus ergibt sich eine Anzahl von 24 Unterstützungstürmen pro Regelkelch – und ein Gewicht von fast 300 Tonnen.

Die Höhe der Kelchfüße variiert zwischen 3,50 m und 7,25 m. Um diese Höhenunterschiede abdecken zu können, werden, abgestuft in der Höhe, 3 Typen Unterstützungstürme eingesetzt. Jeder Turmtyp bietet mit Teleskoprohren einen Verstellbereich in der Höhe von bis zu 1,50 m, wobei die Türme nicht senkrecht stehen, sondern der Schiefstellung der Kelche folgen.

#### **... und der notwendigen Kooperation aller Beteiligten**

Im Zuge der gewünschten Qualität der Betonkelche dürfen die Schalung und das Traggerüst zusammen vom 3D-Modell maximal 5 mm abweichen. Gemeinsam müssen sie nicht nur das Eigengewicht des Betons aufnehmen, der sich allein bei dem von einem Turm unterstützten äußeren Bereich – er umfasst lediglich ein Zwölftel der Schalung – auf 100 Tonnen beläuft. Auf Formkörper und Türme lasten durch den hydrostatischen Druck während der Betonage zusätzlich Druckspannungen von bis zu 100 kN/m<sup>2</sup>.

Die Unterstützungsstruktur muss jedoch nicht nur so stabil ausgebildet sein, dass sie nicht nur die Kräfte aufnehmen und abtragen kann. Sie darf sich dabei auch nur so weit verformen, dass die Kelchfugen sich nicht über die erlaubten Toleranzmaße von ±5 mm hinaus öffnen. Das Nennmaß einer Fuge wurde auf 8 mm festgelegt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass jede Unterschale einer Kelchstütze aus 42 Teilen mit ca. 32 m Durchmesser besteht, wobei der Schalsatz in radialer Richtung aus vier Bauteilen und in Kreisumfangsrichtung aus zwölf Bauteilen gebildet wird. Daraus ergibt sich ein Kelchumfang von 100 m, auf dem sich zwölf Fugen befinden, die alle im räumlichen Zustand die engen Toleranzgrenzen einhalten müssen.

#### **... am Beispiel werkseitige Montage der Gurtungen an die Formkörper**

Um diese millimetergenaue Passform zu erreichen, müssen die Rüsttürme mit größtmöglicher Exaktheit an die Schalung geschraubt werden. Dies kann im Regelfall nur bei einer werkseitigen Montage gewährleistet werden. Also wurde in intensiver Zusammenarbeit von ZÜBLIN Timber und ROBUSTA GAUKEL ein Unterstützungsrost entwickelt, mit dessen Hilfe, die an den Schalungen zu montierenden Gurtungen unabhängig von einer Schrägstellung oder Krümmung auf 1 mm genau positioniert werden können.

Dazu werden auf der Unterseite der Holzrohlinge vormontierte Stahlträger mit speziell angefertigten Bolzen zunächst auf dem Frästisch zentriert. So ist sichergestellt, dass jede auf die Baustelle gelieferte Einheit aus Schalung und Gurtung so gestaltet ist, dass sämtliche Anschlusspunkte sauber ineinanderpassen.

#### **... bei grundsätzlichen Details**

Auch grundsätzliche Details wie die Anschlusspunkte der Gurtungen an die Formkörper wurden in Absprache mit



**Bild 4.** Nach dem Ausschalen unterstützen sogenannte Notstützen den Kelchrand so lange, bis die offenen Deckfelder zwischen den Kelchen ebenfalls betoniert und geschlossen sind. Im Hintergrund befindet sich der Rüstturm. (Achim Birnbaum)



**Bild 5.** Gefräst wird mit einem CNC-Roboter. Ein Unterstützungsrost ermöglicht die millimetergenaue Abstimmung von Schalungselementen und Gurtungen. (ZÜBLIN Timber)

dem Partner entwickelt. So hatten die Ingenieurholzbauexperten zunächst gekrümmte Außenseiten ihrer Holzschalungen favorisiert, um Gewicht und Kosten zu sparen. ROBUSTA GAUKEL hingegen benötigt für die sichere Montage der Gurtungen gerade und ebene Anschlusspunkte. Also wurden die Schalungsformen entsprechend verändert und die Gurtungen anhand der von ZÜBLIN Timber übermittelten notwendigen Abstandsmaße so konzipiert, dass ein Verformen der Holzschalungen verhindert wird.

#### ... bei Sonderdetails wie der Deckschalung der Kelche

Die Schalkonstruktion für die nach innen gewölbten Betonkelche wurde ebenfalls in enger Zusammenarbeit gestaltet. Diese erfordert aufgrund ihrer Wölbung neben einer Unter- auch eine Deckschalung, für die Anker und Gurtungen sowie Formkörper sicher positioniert werden müssen. Damit sich die auf der Unterschalung aufliegende Bewehrung während des Betoniervorgangs nicht verschiebt,



**Bild 6.** Ausgeschalter Kelchfuß mit den zugehörigen Schalungsbauteilen. (Achim Birnbaum)

konzipierte ZÜBLIN Timber einen Holzring, den eine von ROBUSTA GAUKEL entwickelte, höhenverstellbare Unterstützungsstruktur im Zentrum des Betonkelchs fixiert. Die in zwölf Einzelemente unterteilte Deckschalung ist so dimensioniert, dass sie dem inneren Betondruck von 8,0 Tonnen/m<sup>2</sup> standhält. Zur Unterstützung dienen Schalungsanker, die die Oberschalung gegen die Unterschaltung verspannen bzw. mit dem Unterstützungsturm verbinden.

### ... oder die Schalung der Hutzen

Bei der Entwicklung der Schalkörper für die Hutzen genannten aussteifende Kragen um das Kelchauge herum war ebenfalls eine Abstimmung zwischen den Baupartnern gefordert. Schrägstützen von ROBUSTA GAUKEL verbinden die innenliegenden schrägen Schalkörper mit den inneren Unterstützungstürmen und gewährleisten die notwendige Stabilität. An die obere Deckschalung montierte Stahlplatten ermöglichen eine kraftschlüssige Verbindung zwischen der Hutzenschalung und jener Oberschalung. Und alles zusammen erforderte im Vorfeld nicht nur die genaue Berechnung der auf die Konstruktion wirkenden statischen Kräfte. Auch die zur Montage der Stahlplatten notwendigen Holzschrauben mussten hinsichtlich ihrer Zahl, der Abstände und der Dimensionierung festgelegt werden und darüber hinaus die Stahlplatten dimensioniert und produziert.

### ... und nicht zuletzt die Logistik

Zwar werden die Schalungen und die Gerüsttürme mit einem Baukran platziert, doch nach dem Aushärten des Betons kann nicht mehr per Kran ausgeschalt werden. Dafür setzt ROBUSTA GAUKEL stattdessen einen speziell entwickelten Schwerlast-Plattformwagen ein. Er ermöglicht das kranlose Umsetzen der Einheiten und ist ausgerüstet mit vier schwenkbar am Wagen angebrachten Sonder-Hubzylindern. Die Turmeinheiten können damit pro-

blemlos und in kürzester Zeit abgesenkt und zur Seite gefahren werden.

Damit dieser Prozess sicher verläuft, müssen vor jedem Ausschalungsprozess viele Fragen geklärt werden: Wie hoch darf die Traglast in Summe sein, damit der Schwerlast-Plattformwagen sie sicher bewältigen kann? An welchen Punkten wird die Last eingeleitet? Müssen die Türme ertüchtigt werden und mit Stahlträgern ergänzt, um den Wagen daran anzuschließen? Wie können der Wagen und die Schalung angesichts der weit oben liegenden Schwerpunkte der Türme, des schrägen Untergrunds und nach rechts bzw. links geneigter Kelchformen gegen Kippen gesichert werden? Nicht zuletzt musste gemeinsam geklärt werden, welche Reihenfolge beim Bau der Kelche eingehalten werden muss, damit der Schwerlast-Plattformwagen nicht mit einem Rüstungsturm kollidiert.

Dies alles erforderte und erfordert eng abgestimmte Planungsprozesse zwischen allen beteiligten Partnern – vom ersten Tag der Zusammenarbeit an bis zum letzten. „Und wir sind alle stolz darauf, dass wir solch ein Projekt gemeinsam so gut schultern und zum Erfolg bringen“, freut sich Lißner. „Natürlich gibt es dabei Hürden, aber bis dato gab es keine, die wir nicht zusammen geschafft hätten“, lobt auch Amorth die Zusammenarbeit. Und Alexander Behrend, Projektoberbauleiter Stuttgart 21, ZÜBLIN, zieht Bilanz: „Ich habe selten eine so gute Zusammenarbeit auf der Baustelle erlebt – und das ist für einen Bauleiter das höchste Lob.“

#### Weitere Informationen:

ZÜBLIN Timber GmbH  
Industriestraße 2, 86551 Aichach  
Tel. +49 (0) 8251/908-0, Fax +49 (0) 8251/908-999  
timber@zueblin.de, www.zueblin-timber.com

ROBUSTA-GAUKEL GMBH & CO. KG  
Brunnenstr. 36, 71263 Weil der Stadt  
Tel. +49 (0) 7033/5371-0, Fax. +49 (0) 7033/5371-31  
info@robusta-gaukel.com, www.robusta-gaukel.com