



WHITEPAPER

## Mit 3D-Druck effizienter zur komplexen Betonschalung

### EFFIZIENTER SCHALEN MIT 3D-DRUCK

voxeljet hat in jahrlanger Forschungs- und Entwicklungsarbeit den 3D-Druck für komplexe Schalungen perfektioniert. Von diesem Fortschritt wird die Baubranche in Zukunft stark profitieren.

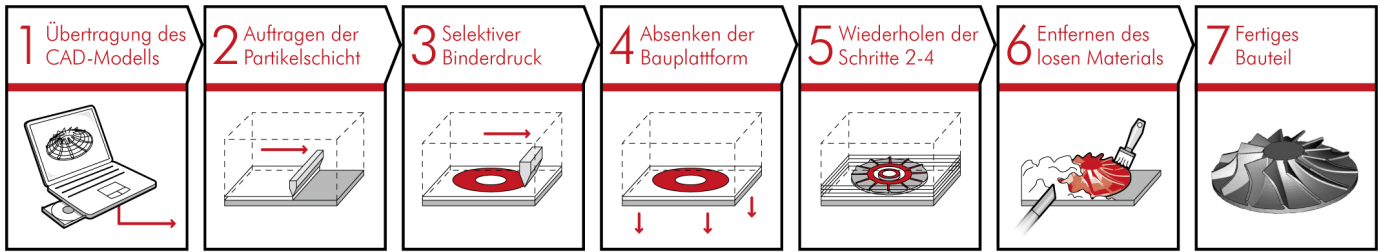
Vor allem beim komplexen Schalungsbau zeigt sich, wie hilfreich das 3D-Druckverfahren von voxeljet ist. Herkömmliche Schalungssysteme sind darauf ausgerichtet gerade Wände zu fertigen, die möglichst im 90-Grad-Winkel zueinanderstehen. Doch bereits ein Vorsprung, eine Krümmung oder ein Versatz macht schnell eine Sonderschalung erforderlich. Diese wird vom Schalungsbauer in der Regel in zeitraubender Handarbeit erstellt. Noch schwieriger sind dreidimensional gebogene Bauelemente. Die Schalungen hierfür müssen erst aus Holz oder Kunststoff gefräst und anschließend mehrfach lackiert

werden. Weil solche Schalungen in der Regel aus einzelnen Segmenten zusammengesetzt sind, verklebt der Schalungsbauer diese miteinander. Um eine einheitliche Betonoberfläche zu erhalten, ist es anschließend erforderlich, die Fugen zu verspachteln und zu schleifen. Viel einfacher, schneller und genauer sind Schalungen, die im 3D-Druckverfahren erstellt werden. Hierfür wendet voxeljet die Powder-Binder-Jetting-Technologie an. Der große Vorteil ist, dass sich damit äußerst komplexe Schalungen aus CAD-Daten gestalten lassen.

### DAS VERFAHREN: POWER-BINDER-JETTING

Powder-Binder-Jetting ist ein additives Fertigungsverfahren. Hier werden pulverförmige Materialien, wie zum Beispiel Sand oder Kunststoff, von voxeljet-Drucksystemen in hauchdünnen Schichten auf eine Bauplattform aufgebracht. Anschließend trägt ein Druckkopf den Binder nur dort auf, wo später das gewünschte Bauteil entstehen soll. Dadurch werden die Pulverpartikel miteinander verklebt. Dann wird die Bauplattform um eine Schichtstärke (150-300 Mikrometer) abgesenkt und wiederum Pulver und Binder aufge-

bracht. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis das gewünschte Bauteil fertiggestellt ist. Je nach Material und Binder wird hier zwischen einem chemischen und einem physikalischen Prozess unterschieden. Das Druckverfahren lässt sich mit allen verfügbaren voxeljet-Drucksystemen durchführen. Einzige Voraussetzung: Es müssen die 3D-Daten vorhanden sein. Hinterher lassen sich 3D-gedruckte Schalungen genau wie konventionelle Schalungen nutzen.



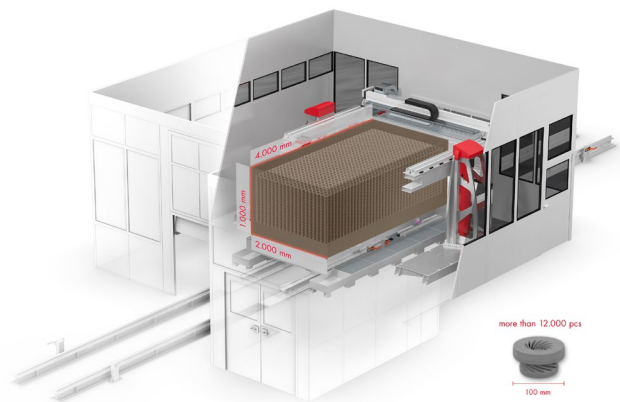
Der Binder-Jetting-Prozess Als Grundlage sind lediglich die CAD-Daten des Baukörpers erforderlich

## DIE ENTSCHEIDENDEN VORTEILE:

Um die Vorteile des Systems für die einzelnen Bauaufgaben richtig einschätzen zu können, müssen einige Details bekannt sein:

- Dank der voxeljet-Schalungselemente lässt sich vor allem bei dreidimensional gebogenen Betonelementen viel Zeit sparen, da diese wesentlich genauer sind und so aufwändige Korrekturen – die unter Umständen den ganzen Bauablauf verzögern – nicht anfallen.
- Die mit der Powder-Binder-Jetting-Technologie hergestellten Schalungen sind je nach Schalungsgeometrie bis zu 40-mal einsetzbar. So reduzieren sich die Kosten pro Betonfläche bei jedem weiteren Einsatz.
- voxeljet-Schalungselemente halten einem Betongießdruck von 100 kN/m<sup>2</sup> stand.
- Bezüglich des Trennmittels und des Betons gibt es keine Einschränkungen.
- Wiederholt sich eine dreidimensionale Form – jedoch in einer anderen Größe –, ist dies für das voxeljet-Verfahren überhaupt kein Problem. Die 3D-Daten lassen sich problemlos skalieren und zum Fertigen einer weiteren Form verwenden.
- Bei der Herstellung von Polyurethan- oder Silikonshaltungs-matrizen kann das voxeljet-Element als Masterform wertvolle Dienste leisten.
- Mit dem voxeljet-Drucksystem VX4000 – dem weltweit größten 3D-Drucksystem für Sandformen – können Bauvolumina von 4,00 x 2,00 x 1,00 m realisiert werden.

Mithilfe der VX4000 von voxeljet lassen sich Schalungen mit einem Bauvolumen von 4,00 x 2,00 x 1,00 m herstellen.



## VOXELJET-VERFAHREN IM VERGLEICH ZUM CONTOUR CRAFTING

Die voxeljet-Technologie darf nicht mit dem Contour Crafting verwechselt werden. Im Gegensatz zum voxeljet Powder-Binder-Jetting, strebt man beim Contour Crafting an, das ganze Haus/Bauelement mithilfe von schnell härtendem Beton und einem Druckroboter zu errichten. Doch das Verfahren stößt zuweilen an seine Grenzen, z. B. wenn es darum geht, Bewehrungen zu integrieren, dreidimensional gebogene Betonwände zu erstellen oder Bauteile mit Hinterschnitten anzufertigen. Dies ist aktuell nur bis zu ei-

nem bestimmten Neigungswinkel möglich. Feine Strukturen und Details sind aktuell nicht abbildbar. Ziel des Contour Craftings ist es, den langjährig erprobten Betonbau durch ein neues Verfahren zu ersetzen. Ganz im Gegensatz zur voxeljet-Technologie. Sie hat die Aufgabe, die seit vielen Jahren bewährte und etablierte Bauweise zu ergänzen und zu optimieren. Dies soll vor allem das Herstellen von dreidimensionalen Bauelementen erheblich erleichtern. voxeljet fängt da an, wo Contour Crafting an seine Grenzen stößt.



## VOXELJET IST WELTWEIT VOR ORT



Als zuverlässiger Partner für digitale Produktion bietet voxeljet weltweit die Fertigung von Schalungen an. Die voxeljet Dienstleistungszentren in Deutschland, England, den USA, China und Indien fertigen schnell und kostengünstig perfekte 3D-Schalungen. Auch Formen mit komplexer Geometrie lassen sich nahezu ohne Einschränkungen umsetzen. Und: Da jede Schalung individuell gefertigt wird, ist es möglich jede Schalung so herzustellen, dass sie mit fast jedem Standardschalungssystem als Hybrid kombiniert werden kann. Selbstverständlich werden die Anwender auch bei Detailfragen zu den erforderlichen Daten und zur Handhabung der Schalung unterstützt. Mit den 3D-gedruckten Schalungen können auf der Baustelle und im Fertigteilwerk mehrfach dreidimensional geschwungene Baukörper effizient und sicher realisiert werden.

## EINE ERSTKLASSIGE REFERENZ: DOKA NUTZT VOXELJET FÜR DEN BAU KOMPLEXER SCHALUNGEN

Beim Bau des Hauptsitzes der Sächsischen Aufbaubank in Leipzig sollte eine halbgewendelte Treppe mit Zwischenpodest errichtet werden, die auf einer Tragwand aufgesattelt ist. Um ihr einen sanften und gleichmäßigen Schwung zu verleihen, war eine höchstpräzise Betonschalung erforderlich. Die Verantwortlichen vertrauten hierbei auf den weltweit bekannten Schalungslieferanten Doka. Nach umfangreicher Analyse und Definition der Schalungsform für die Treppe wurden die Oberflächen gemäß ihrer Komplexität kategorisiert. Einachsige gekrümmte Flächen mit zylindrischer oder kegelförmiger Form wurden konventionell geschalt. Die Besonderheit dieser Treppe bestand jedoch in der dreiaxsig gekrümmten Fläche, die die Ausrundung der Treppenuntersicht zur Innenseite der Tragwand abbildet. Die Herstellung solcher Formen in konventionell handwerklicher Machart ist extrem aufwän-

dig. Es müssen Holzleisten geschnitten werden, die in Form gebogen, befestigt und verleimt werden. Folgend muss die Oberfläche mehrfach gespachtelt und geschliffen werden bevor sie zweifach lackiert wird. Das Ergebnis ist ein Formkörper, dessen tragenden Komponenten unter Spannung eingebaut wurden und aus organischem Material bestehen. Unter Einwirkung der am Bau vorhandenen Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen sowie der allgemeinen Witterung, kann es leicht zu Rissbildungen kommen, welche die Qualität sichtbar beeinträchtigen. Hier bietet der 3D-Druck von voxeljet erhebliche Vorteile. Bauteile sind schneller und mit weniger Planungsaufwand direkt aus 3D-Daten herstellbar. Die 3D-gedruckten Bauteile sind präzise und spannungsfrei gefertigt und aufgrund dessen sehr formstabil. Die Beschaffenheit aus einem homogenen Material bietet



Um den voxeljet-Elementen eine erhöhte Stabilität zu verleihen, wurden sie auf einer Trägerkonstruktion befestigt.

eine zusätzliche Qualitätssicherheit angesichts der oben angesprochenen Witterungseinflüsse. voxeljet erstellte mithilfe des Powder-Binder-Jetting-Verfahrens sieben Schalhautteile aus Sand, mit einer Wandstärke von nur 21 mm. Anschließend infiltrierte der Hersteller die Elemente mit Epoxidharz, um die nötige Festigkeit zu erreichen. Nach dem Lackieren und Schleifen konnte die voxeljet-Schalung eingesetzt werden. Ein wichtiger Aspekt: Die dreidimensional gekrümmten voxeljet-Elemente wurden derart gestaltet, dass sie sich hervorragend mit Doka-Standard-Schalungen kombinieren ließen. Beispielsweise platzierten die Doka-Mitarbeiter bereits im Datensatz Funktionsintegrationen wie Bohrungen und Steckverbindungen. Dadurch war eine schnelle und effiziente Montage im Doka-Schalungsbau möglich. Der Aufbau der Schalung auf der Baustelle gestaltete sich aufgrund der hohen Präzision sehr schnell und effizient. Ein weiterer Pluspunkt des nachbehandelten Epoxid-Sand-Gemisches bietet die Witterungsbeständigkeit und Kratzfestigkeit. Der Einsatz der voxeljet-Schalung hat sich in mehrfacher Weise als ideal erwiesen: Erstens

war nur ca. ein Zehntel der sonst üblichen Montagezeit erforderlich. Zweitens passten die 3D-gedruckten Schalen bei der Montage der Formelemente hundertprozentig mit den CNC zugeschnittenen Xlife-Platten von Doka zusammen. Dieser Hybride Ansatz gewährleistet die Wirtschaftlichkeit der Schalungslösung mit 3D-gedruckten Bauteilen. Drittens bestach die hohe Präzision der Fertigung, begründet in der durchgängigen, digitalen Datenverarbeitung der 3D gedruckten Geometrien von Konstruktion bis Montage. Nach erfolgreicher Betonage und Entformung ließen sich die Gussergebnisse des Treppenaufganges vergleichen. Das Ergebnis erstaunte: Der Teil des Treppenaufgangs, der mit voxeljet-Schalungen abgebildet wurde, wies ein entsprechend der Qualität der 3D-gedruckten Elemente sehr gutes Gussergebnis aus. Weder Ausblutungen oder Betonester ließen sich finden. Im Nachhinein sagen die Doka-Mitarbeiter, dass es gegebenenfalls sogar sinnvoll gewesen wäre, für das Projekt mehr Fläche über den 3D-Druck zu realisieren. Sie trauen der voxeljet-Schalung auch den Einsatz auf Sichtbetonbaustellen zu.

## STÄRKEN, SCHWÄCHEN, RISIKEN UND CHANCEN

Wie jede Bautechnik bringt auch die Nutzung von voxeljet-Schalungen unterschiedliche Vorteile, Nachteile, Risiken aber vor allem Chancen mit sich. Nachfolgend erklären wir die wichtigsten Punkte:

### STÄRKEN

- Mit voxeljet-Schalungen können dreidimensional gebogene Betonelemente wesentlich einfacher, schneller und kostengünstiger hergestellt werden. Dabei ist ein geringerer Planungs- und Herstellungsaufwand erforderlich, was zu einer signifikanten Zeiteinsparung führt. Damit wird das Verfahren den Betonbau auf lange Sicht revolutionieren.
- Der komplette Prozess basiert auf einer geschlossenen Datenkette – von der CAD-Planung bis hin zur Fertigung der Schalungselemente durch 3D-Druck und CNC Fräsen. Da Bauteile so eins zu eins dem digitalen Modell entsprechen, sind ihre Elemente äußerst passgenau, was die Montage erleichtert.
- Durch höhere Genauigkeit entfällt manuelle Nacharbeit auf der Baustelle
- voxeljet-Schalungen können je nach Schalungsgeometrie und Einsatzbedingungen bis zu 40-mal verwendet werden. So reduziert sich der Preis für die Schalung bei jedem weiteren Einsatz und die Investitionen werden schneller amortisiert.
- Da die Oberfläche der voxeljet-Schalungen nicht harzt (wie bei Holzschalungen oft der Fall) und sich auch sonst nicht verändert, können mit ihr Betonelemente in gleichbleibender Qualität gefertigt werden.
- voxeljet-Schalungen sind äußerst Witterungsbeständigkeit. Hitze, Nässe, Kälte haben keinen Einfluss auf die nachbearbeiteten Schalungselemente. Sie saugen sich nicht, wie etwa Holz, mit Wasser voll oder geben nicht nach (im Vergleich zu Kunststoff-Schalungen).
- voxeljet ermöglicht Schalungen mit einem Bauvolumen von 4,00 x 2,00 x 1,00 m bei Baufortschritten von 139 l/h.
- Bauteile können digital in den Baubereich übereinander verschachtelt werden, was eine optimale Auslastung der Maschinen gewährleistet.
- Skalierungen sind problemlos möglich.
- Erprobte Bauabläufe werden nicht verändert. Jahrzehntelang bewährte Bautechniken und Materialeigenschaften bleiben erhalten.
- Die voxeljet-Schalung kann so hergestellt werden, dass sie sich hervorragend mit jeder beliebigen Standardschalung kombinieren lässt.

- voxeljet-Schalungen eignen sich für den Einsatz auf der Baustelle und im Fertigteilwerk.
- voxeljet-Elemente halten einem Schalungsdruck von  $< 100 \text{ kN/m}^2$  aus.

## SCHWÄCHEN

- Da die Elemente aus einem Pulver und einem chemischen Bindemittel bestehen, müssen sie speziell entsorgt werden.
- voxeljet-Schalungen sind, je nach Geometrie, in der reinen Herstellung meist kostenintensiver als übliche Schalungen.

## RISIKEN

- Eines der größten Risiken ist, dass die Betonbranche, die noch sehr traditionell denkt, dieses System als zu visionär betrachtet und dieser Technologie den Start unnötig erschwert.
- Die Entsorgung der Elemente als Sondermüll könnte dem aktuellen Trend nach ökologischem Bauen entgegenwirken.

## CHANCEN

- Schalungsbauer können die voxeljet-Technologie in Kombination mit ihren eigenen Schalungen anbieten und verschaffen sich so den entscheidenden Vorteil am Markt.
- Dank der Entwicklung der CAD-Technik planen Architekten heute viel häufiger dreidimensional geschwungene Baukörper. Allerdings war die Realisierung bislang immer schwierig. Mit dem voxeljet-System können diese jetzt wesentlich einfacher gebaut werden.
- Mit der Einführung der voxeljet-Technologie in der Baubranche werden sich Anwendungsbereiche und Gebäude entwickeln, die derzeit noch undenkbar sind.
- Eine große Herausforderung besteht noch darin, die 3D-Druck Technologie derart weiter zu entwickeln, dass sich Schalungen umweltfreundlich entsorgen lassen.



## UNGEAHNTE MÖGLICHKEITEN FÜR DIE BAUBRANCHE

Neben dem Herstellen komplexer Betonschalungen kann die voxeljet-3D-Drucktechnologie weitere Bereiche der Architektur vereinfachen:

### FÜR DEN MODELLBAU



Damit Architekten ihr Bauvorhaben allen Baubeteiligten verständlich präsentieren können, erstellen sie noch immer reale Modelle. Dies ist eine diffizile, zeit- und kosten-intensive Aufgabe. Digitale Pläne mit CAD-Systemen sind in Architekturbüros jedoch längst Standard. Somit sind alle relevanten Daten bereits dreidimensional in einer Datenwolke vorhanden und können einfach für den 3D-Druck importiert werden. Es ist daher viel schneller und günstiger die Modelle direkt im 3D-Druck zu erstellen. Vor allem sind voxeljet-Drucksysteme in der Lage, die Bauten detailgetreuer nachzustellen, als dies mit dem manuellen Modellbau möglich wäre.

## FÜR DEN DENKMALSCHUTZ

Die Aufgabe des Denkmalschutzes ist, Kulturdenkmäler und kulturhistorisch relevante Gesamtanlagen zu schützen. Oft müssen einzelne Bauteile und komplette Skulpturen nachgebaut werden, um Originale zu ersetzen. Diese Nachbildung ist mit sehr viel Arbeit verbunden und kann durch den 3D-Druck in unterschiedlichster Weise vereinfacht werden. Grundlage ist, dass die dreidimensionalen Daten des Bauteils digital vorhanden sind. Ist das Original noch halbwegs intakt, lassen sich dessen Informationen durch einen 3D-Scanner erfassen. Diese Daten können entweder dazu genutzt werden, eine Gießform zu erstellen, die anschließend mit Beton, Bronze oder einem anderen Material, das der jeweiligen Verwendung entspricht, gefüllt wird. Oder sie dienen Steinmetzen bzw. Holzschnitzern als 1:1-Vorlage. So können diese in einer witterungsgeschützten Halle die historischen Elemente originalgetreu nachbauen.



## ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem Power-Binder-Jetting führt voxeljet ein Verfahren in der Baubranche ein, das ungeahnte Möglichkeiten eröffnet. Vor allem die Betonbranche profitiert extrem, weil Architekten nun dreidimensional gekrümmte Betonbaukörper entwerfen und bauen können, deren Realisierung bislang problematisch war. Nur einige wenige Spezialisten sind in der Lage, entsprechende Schalungen konventionell zu fertigen. Der Aufwand ist enorm. Mit der voxeljet-Technologie lassen sich solch gekrümmte Schalungen mit einem Bruchteil des bisher erforderlichen Arbeitsaufwandes erstellen. Diese können darüber hinaus so gestaltet werden, dass sie sich problemlos mit Standardschalungen kombinieren lassen. Konkret: Dort wo es erforderlich da komplex ist, kann nun die voxeljet-Scha-

lung verwendet werden. Bei einfacheren Bauteilen kommt nach wie vor die Standardschalung zum Einsatz. Insgesamt verfügt die Branche nun über ein System, das sich hervorragend ergänzt. Zudem liegt eine geschlossene Datenkette vor. Der Transfer von Software zur Hardware kostet kaum Zeit und lässt keine (Material)Verluste zu. Da mit Hilfe von CAD konstruiert wird, ist eine schnelle Anpassung möglich. Ein weiterer Vorteil der voxeljet-Schalungen ist, dass sie sich sowohl für den Einsatz im Fertigteilwerk als auch auf der Baustelle eignen. Damit kann den Wünschen der Planer perfekt entsprochen werden. Da die Schalung keine Feuchtigkeit aufsaugt und auch sonst ihre Eigenschaften nicht verändert, bietet sie somit auch optimale Voraussetzungen für Sichtbeton.

Fazit: Der Einsatz der voxeljet-Schalungen wird den Betonbau auf lange Sicht revolutionieren und Unternehmen, den entscheidenden Marktvorteil bringen.