

Digital optimierte Produktionsketten

# «Unmögliches» wird plötzlich bezahlbar

Der Produktionsaufwand für Objekte mit zahlreichen freien Formen bleibt dank automatisierter Ausführungsplanung mit demjenigen einer Serienfertigung vergleichbar.

In der zeitgenössischen Architektur gibt es ein Bedürfnis, freie Formen zu realisieren. Viele der grösseren Projekte, die Wettbewerbe gewinnen und in die Medien gelangen, weisen solche Strukturen auf. Während den Planern bei der Entwurfsarbeit dank fortschrittlicher 3D-Software die Formfindung leicht fällt, stellen sich bei der Ausführungsplanung oft ungeahnte Probleme. Da freie Formen aus lauter verschiedenen Teilen bestehen, fällt der Realisierungsaufwand in der Regel extrem hoch aus.

## Die digitale Produktionskette

Eine «digitale Kette» ist ein unterbrechungsfreier digitaler Prozess vom Entwurf (Struktur und Formfindung) über die Konstruktion (Detaillierung) zur Produktion (CNC-Fertigung).

Die einzelnen Schritte sind programmierte Einheiten, die über digitale Schnittstellen miteinander verbunden sind. Der Computer wird hier nicht nur als passives digitales Zeichenbrett verwendet, sondern als aktiv den Entwurf optimierendes Werkzeug. Die Rolle des

Architekten verschiebt sich dabei vom Formdesigner zum Prozessdesigner. Das Ergebnis der digitalen Kette ist ein maschinenlesbarer Code.

Im Rahmen von Forschungen an der ETH Zürich wurden 2005 drei Projekte in verschiedenen Holzkonstruktionen ausgeführt, an denen das Potential von digitalen Ketten überprüft werden konnte. Während der Umsetzung untersuchte man die Fertigungsprozesse der drei Projekte gemeinsam mit dem Partnerbetrieb für die Produktion, der Schreinerei Bach Heiden AG. Dabei kristallisierten sich drei wesentliche Verbesserungen gegenüber einer konventionellen Ausführungsplanung mit manueller Maschinenprogrammierung heraus.

## Wirtschaftlichkeit

Üblicherweise muss ein Produktionsbetrieb jeden einzelnen Bauteil, den er als Datei erhält, für die Verarbeitung auf CNC-Maschinen vorbereiten. Diese sich wiederholenden, ähnlichen, aber nicht gleichen Vorgänge hat designto-

## designtoproduction

designtoproduction wurde 2005 von Fabian Scheurer (dipl. Informatiker) und Christoph Schindler (Dipl.-Ing. Architekt) an der Professur für CAAD der ETH Zürich gegründet.

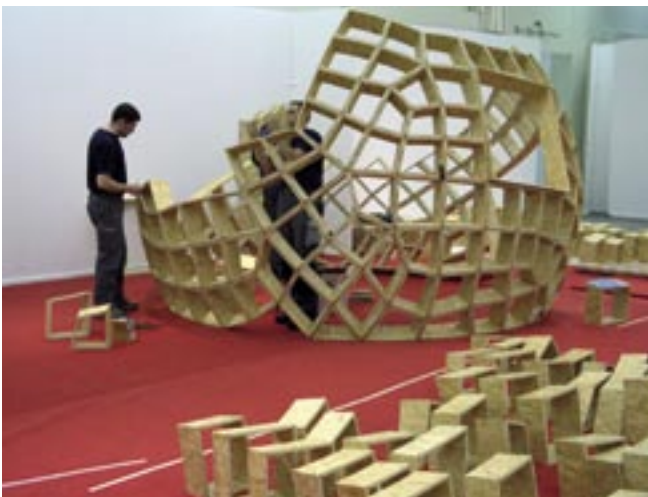
designtoproduction hat es sich zum Ziel gesetzt, komplexe Entwürfe mit Hilfe von automatisierter Ausführungsplanung wirtschaftlich realisierbar und geometrisch beherrschbar zu machen. Innovative Programmieretechniken, Erfahrung mit computergesteuerten Maschinen und enge Zusammenarbeit mit Industriepartnern kennzeichnet die Arbeit von designtoproduction.

production automatisiert. Parametrisierte Bauteile ermöglichen eine Variantenfertigung ohne zusätzlichen Zeit- und Kostenaufwand. Bisher nur mit grossem Kostenaufwand realisierbare individuelle Konstruktionen werden dadurch wirtschaftlich interessant.

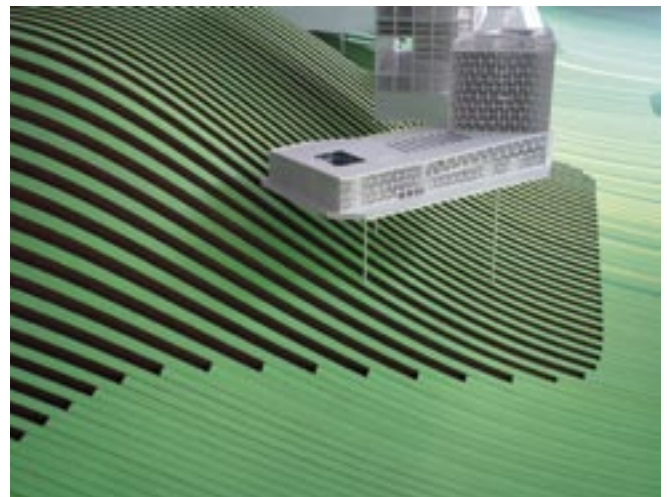
Die Kostenanalyse der ausgeführten Projekte zeigt grosses Einsparpotential. Bei den drei Projekten konnte man die Kosten der Schreinerei um 74% bis 83% senken. Für «Futuropolis» holte der Auftraggeber verschiedene Gegenofferten in der Schweiz und in China ein, die eine von der Bach Heiden AG erstellte Hochrechnung für eine konventionelle Produktion bestätigten.

## Flexibilität und Qualitätssicherung

Ist eine digitale Prozesskette einmal



Für den Swissbau-Pavillon optimierte die Software ein Netz aus viereckigen Maschen selbständig. Daraus lassen sich die Geometrien aller 1200 Einzelteile errechnen.



Das Projekt «Inventioneering Architecture» wäre mit konventioneller Technik praktisch nicht ausführbar: die Kantenwinkel ändern innerhalb der geschweiften Form.

programmiert, lassen sich die numerischen Parameter des Projekts jederzeit ändern. Da die Codes für die Maschinensteuerung automatisch geschrieben werden, dauert eine komplette Überarbeitung der Ausführungsplanung nur wenige Minuten bis Stunden. Bei dem Projekt «Futuropolis» musste man zum Beispiel die Abmessungen sämtlicher 2164 Einzelteile anpassen, nachdem das bestellte Material mit einer Stärke von 32 anstatt 30 mm geliefert wurde. Beim Projekt «Inventioneering Architecture» musste in der Schlussphase mehrfach ein Verbindungsdetail der 1100 Balken überarbeitet werden.

In einer digitalen Prozesskette passieren keine Flüchtigkeitsfehler bei einzelnen Teilen. Da alle Bauteile mit den gleichen Programmen bearbeitet werden, sind entweder alle Teile richtig oder keiner. Bei «Futuropolis» stellte man bei der Montage einen falschen Winkel fest. Binnen kürzester Zeit konnte man herausfinden, welche anderen Teile von diesem Fehler betroffen waren. Wenige Stunden später waren sämtliche Maschinencodes korrigiert.

### Swissbau-Pavillon

Für die Swissbau in Basel wurde von designtoproduction an der ETH Zürich ein Pavillon entwickelt, der die Möglichkeiten digitaler Entwurfs- und Fertigungstechniken in der Architektur demonstriert. Ausgangspunkt für das Design ist eine Kassettenkonstruktion. Im Unterschied zur traditionellen Bauweise müssen sich die Öffnungen hier jedoch nicht nach der konstruktiven Struktur richten, sondern die Konstruk-

tion reagiert auf die Störungen und passt sich ihnen an. Um diese komplexe Struktur zu erzeugen und zu optimieren, werden Wachstumsprozesse digital simuliert: eine eigens programmierte Software generiert ein Netz aus viereckigen Maschen, das sich an die vorgegebenen Öffnungen und die Bodenebene anpasst und dabei Grösse und Form der Maschen optimiert. Aus den Koordinaten dieses Netzes generiert ein Programm alle 1200 Einzelteile der Holzkonstruktion, einschliesslich Gehrungen und Bohrungen.

Die Dachhaut besteht aus rund 350 Kautschukpolygenen, die aus der gleichen Datengrundlage per computergesteuertem Wasserstrahlverfahren zugeschnitten und verschweisst wurden.

### «Inventioneering Architecture»

Für die Ausstellung «Inventioneering Architecture» über die Architekturausbildung in der Schweiz entwarfen Architekten eine Plattform, die an einen topographischen Schnitt durch die Schweiz erinnert. Die bergige Oberfläche wurde dazu in 1000 aneinandergeschobene Balken von 40 mm Breite zerlegt, die sich kammartig ineinander schieben. Die Plattform ist 40 m lang und 3,5 m breit.

Der Detaillierung und Ausführungsplanung liegen die Bewegungsabläufe eines 5-Achs-Bearbeitungszentrums zugrunde. Während der Fräskopf die einzelnen Balken aus Platten ausschneidet, dreht er sich langsam senkrecht zur Bewegungsrichtung und kann so die Schmalseite der Balken der Topographie der Ausstellungsoberfläche anpas-

sen. Mit dieser Technik lässt sich mit geringem Aufwand aus dem zweidimensionalen Plattenmaterial eine dreidimensionale Landschaft fertigen.

Während die anderen vorgestellten Projekte theoretisch auch von Hand umsetzbar wären, ist dieses Konstruktionsprinzip auf die Möglichkeiten der 5-Achs-Bearbeitung angewiesen und manuell praktisch nicht herstellbar.

### «Futuropolis» von Daniel Libeskind

Die Produktion der «Futuropolis»-Struktur des Stararchitekten Daniel Libeskind war innerhalb der gegebenen Zeit- und Budgetvorgaben nur mit Hilfe eines durchgehend digitalen Planungs- und Fertigungsprozesses möglich. Mit Hilfe des CAD-Systems Vectorworks wurde ein parametrisiertes Computermodell der gesamten Struktur programmiert, um die Standfestigkeit der einzelnen Türme zu verifizieren und die Geometrien für sämtliche Einzelteile automatisch generieren zu können. Die entstandenen 2164 Teile fasste man anschliessend zu 628 Bahnen zusammen, die bei der Firma Bach in drei Arbeitsgängen auf einer 5-Achs-CNC-Fräse aus Birkenstahlholzplatten gefertigt wurden.

Anschliessend wurden die 98 zwischen 0,2 und 3,8 m hohen Türme zusammengebaut, indem die Einzelteile mit Aluminium-Schwalbenschwänzen verbunden wurden. Die gesamte Struktur besteht aus 360 m<sup>2</sup> stabverleimten Birkenholzplatten mit 32 mm Materialstärke. Die Bauzeit der Struktur betrug durch die optimierte Vorplanung lediglich zwei Wochen. (pd)



«Futuropolis» besteht aus 360 m<sup>2</sup> stabverleimten Birkenplatten. Die einzelnen Elemente sind mit Aluminium-Schwalbenschwänzen miteinander verbunden.



Das Handling von 2164 Einzelteilen bildete für die Bach Heiden AG eine Herausforderung. Ohne genaue Nummerierung wäre der Zusammenbau nicht möglich.