



Dreissig frei geformte Holzsäulen tragen das Flechtwerk der Cambridge-Moschee. Realisiert wurde das Projekt 2018 von der Blumer-Lehmann AG aus Gossau (SG).

## KOMPLEXE FREIFORMEN

*Ornamentale Stützen tragen das Dach der neuen Moschee in Cambridge. So leicht die baumartige Holzkonstruktion wirkt, so komplex sind ihre Verbindungen. Während eines Semesters entwickelten Studierende der Berner Fachhochschule (BFH) den kompliziertesten Knoten des Tragwerks. Mitentscheidend für die präzise Fertigung der Freiformen waren Werkzeuge mit konstantem Durchmesser und hoher Schnittqualität.* TEXT HELEN OERTLI | FOTOS BLUMER-LEHMANN AG, BERNER FACHHOCHSCHULE

Wie die Bäume eines Paradiesgartens streben dreissig frei geformte Holzsäulen in die Höhe. An der Decke verbinden sich die gekrümmten Brettschichtholzträger zu einem riesigen Flechtwerk – die achteckigen Muster verweisen dabei auf die Ornamentik der islamischen Tradition. Das eindrucksvolle Tragwerk der Moschee in Cambridge besteht aus 2746 Bauteilen in 145 unterschiedlichen Typen und aus 23 verschiedenen Rohlingen. «Architekten meinen nicht selten, dass solche Verbindung automatisch per Knopfdruck produziert werden,» weiss Kai Strehlke, Dozent an der Berner Fachhochschule (BFH), Architekt und Leiter für digitale Prozesse bei Blumer-Lehmann. «Doch die Leichtigkeit des Tragwerks täuscht darüber hinweg, welche Komplexität sowohl in der Konstruktion der Holzverbindungen als auch in der Bearbeitung des Holzes steckt.»

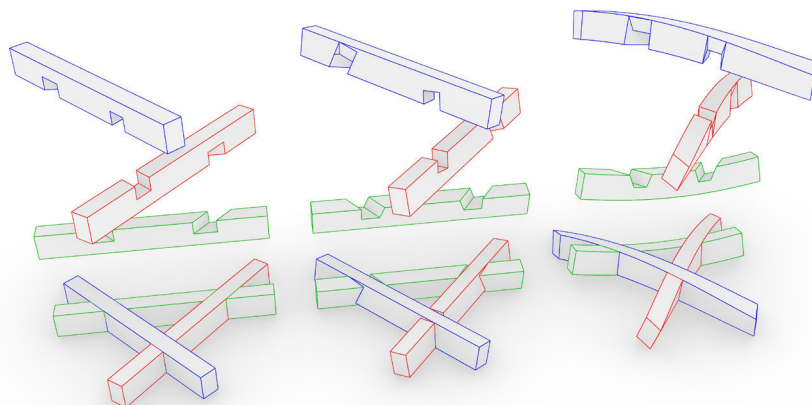
### Studierende entwickeln komplexen Tragwerksknoten

Im BFH-Masterstudiengang «Science in Wood Technology» vermittelte Strehlke gemeinsam mit den Co-Dozenten Fabian Scheurer und Franz Tschümperlin den Studierenden die digitale Fertigungskette – so wie die Prozesse effektiv in der Industrie ablaufen. «Dazu gehört auch, die unterschiedlichen Kräfte von Holz wie die Faserrichtung oder die Rückstellkräfte von gebogenen Balken zu berücksichtigen», so Strehlke. Er leitete die Studierenden an, den komplexesten Knoten im Tragwerk der Moschee zu entwickeln und davon ein Muster auf der CNC-Anlage anzufertigen. Die erste Aufgabe war, die Verbindung in einer geraden Struktur mit rechtwinkligen Achsen zu konstruieren. Schrittweise sollten sich die Studierenden an die Entwicklung herantasten. «Ein einfacher Befehl per Mausclick, zwei

Stunden Fräsarbeiten – und fertig war die Verbindung», erzählt Strehlke. Im nächsten Schritt verdrehten die Studierenden einen der Balken leicht. Mit der Software Rhino wurden nun die Produktionsgeometrien generiert. Den Musterknoten auf der Anlage zu produzieren, dauerte einen ganzen Tag, dabei war die Komplexität der finalen Verbindungsstelle noch gar nicht erreicht. Die finale Geometrie des Knotens – drei beidseitig gekrümmte Balken mit hinterschnittenen Flächen – herzustellen, verlangte von den Studierenden nochmals einen wesentlich grösseren Aufwand.

### Musterstück aus Brettschichtholz gefräst

Unter der Anleitung von Denis Maillard, dem Lehrbeauftragten für Fertigungstechnik an der BFH, wurde das Musterstück aus einem Block Brettschichtholz gefräst. Für die Längsbearbeitung setzte Maillard



Die Geometrien des finalen Knotens zu entwickeln – beidseitig gekrümmt und mit hinterschnittenen Flächen –, verlangte von den Studierenden an der BFH einigen Aufwand.

den Bohrfräser Castor Finish der Oertli Werkzeuge AG ein. Diesen eingespannt in ein schlankes Schrumpffutter, reichte der Freiraum aus, um die geschwungenen Formen zu fräsen. Wenn man Freiformen bearbeitet, dann sollte laut Maillard auch beachtet werden, wie der Fräser stirnseitig arbeitet. «Oft zeichnen die stirnseitigen Schneiden oder verursachen Brandspuren im Holz – nicht so der Castor-Bohrfräser.» Für die Querbearbeitung wählte Maillard den Vollhartmetallfräser Turbex Sprint – ebenfalls in einem Schrumpffutter, wodurch die volle Schnittlänge von 70 Millimetern voll genutzt und die grossen Querschnitte bewältigt werden konnten. Obwohl die CNC Anlage – ausgelegt für den Treppenbau – für Abbundarbeiten eigentlich untermotorisiert ist, liessen sich die Musterknoten einwandfrei produzieren. Denn aufgrund der hohen Schnittleistung der Werkzeuge braucht die Maschine nur wenig Kraft. Sowieso, meint Maillard, «wer Geld in eine neue Maschine investiert und darauf die alten Werkzeuge arbeiten lässt, macht etwas falsch.» Entscheidend für Qualität und Leistung seien immer auch die passenden Werkzeuge.

#### Gleich- oder Gegenlauf: den Unterschied hören

Für das Musterstück, das in der Werkstatt der BFH gefräst wurde, konnten die Anforderungen der Längsbearbeitung ausgeklammert werden. Anders war das bei der Fertigung der gekrümmten Brett-

schichtholz-Träger im Werk von Blumer-Lehmann. Aus Einzelteilen verleimt, eingespannt, gebogen und dann auf Mass zugeschnitten, wurden die Rohlinge angeliefert. Aufgrund der starken Krümmung standen die Träger unter einer hohen Spannung. Die Bearbeitung im Gegenlauf, was bei anderen Projekten passte, funktionierte hier nicht. Die Träger standen so stark unter Spannung, dass die Lamellen beim Fräsen im Gegenlauf absplitterten. «Die Spannung, der Leim, die Äste – bei der Bearbeitung von Holz müssen unterschiedlichste Parameter miteinbezogen werden», so Strehlke. «Ich höre, ob eine Maschine im Gleichlauf arbeitet, ob Äste drin sind. Das kann eine Maschine nicht wahrnehmen. Deshalb bleibt der Mensch ein wichtiger Faktor. Trotz aller Automatisierung.»

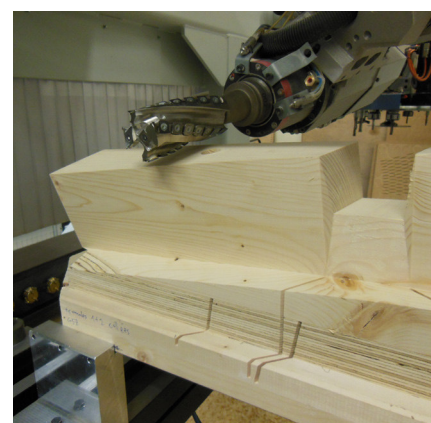
#### Werkzeuge vereinfachen Fertigung von Freiformen

Die gekrümmten Flächen wurden zuerst mit einem Kreisblatt zugeschnitten und dann mit einem Falzmesserkopf gefräst. Für eine saubere Oberfläche wurden die Balken zuletzt mit dem Hobelkopf Castor Finish feingehobelt. Mit der Komplexität von Freiformen sind auch die Anforderungen an die Werkzeuge gestiegen. Ein entscheidender Faktor ist dabei der konstante Durchmesser. Mit jedem Nachschärfen der Schneiden verändert sich der Durchmesser des Werkzeugs. Bei Drei-Achs-Maschinen ist das weniger relevant, weil sich die Maschine selbst

auf die neuen Parameter justiert. Anders sei das bei einer Fünf-Achs-Maschine, erklärt Strehlke: «In der Freiform greifen die normalen Abläufe nicht mehr.» Es gelte, die freien Geometrien im Raum in den Griff zu bekommen. Wo beim konventionellen Abund das Holz einfach am Anschlag ausgerichtet werden kann, muss nun die Bearbeitung über Koordinaten angegeben werden. Und dabei sei auch der Durchmesser des Werkzeugs zu berücksichtigen. Sind die Werkzeuge mit Wendeschneiden ausgestattet, die – stumpf geworden – einfach ausgetauscht werden können, bleibt der Durchmesser unverändert und es braucht keinen Eingriff in die Programmierung.

Für Strehlke, der zuvor im Architekturbüro von Herzog & de Meuron das Department für digitale Technologie aufgebaut hatte und in dieser Funktion bei Projekten wie der Elbphilharmonie in Hamburg mitwirkte, ist es eine Befriedung, nun direkt in die Produktion involviert zu sein. Dort, wo das Holz bearbeitet wird, wo die Späne fallen. Von seinem Vater, einem Förster, hat er die Vorliebe für das Material übernommen. «Man muss Holz kennen, damit man es bearbeiten kann.» Miterleben zu können, wie aus einfachen Rohlingen ein Paradiesgarten entsteht, sei etwas Einmaliges.

[ahb.bfh.ch](http://ahb.bfh.ch), [oertli.com](http://oertli.com)



In der Werkstatt der BFH wurde das Musterstück mit einem Castor-Bohrfräser gefräst. Diesen eingespannt in ein schlankes Schrumpffutter, wurde zusätzlicher Freiraum gewonnen, um die gekrümmten Geometrien zu fräsen.