



Balken biegen konnten die Zimmerleute bereits vor 300 Jahren. Mit digitalen Methoden wurde die Technik jetzt für komplexe, verdrehte Formen weiterentwickelt.

# FREIFORMEN MIT ALTER ZAHNTRÄGERTECHNIK

*Der Architekt und Zimmermann Miro Bannwart hat für seine Masterarbeit eine alte Technik neu interpretiert und weiterentwickelt. So können mit digitalen Methoden gebogene und ineinander verzahnte Vollholzbalken frei geformt werden – ohne Leim und einfach transportierbar.*

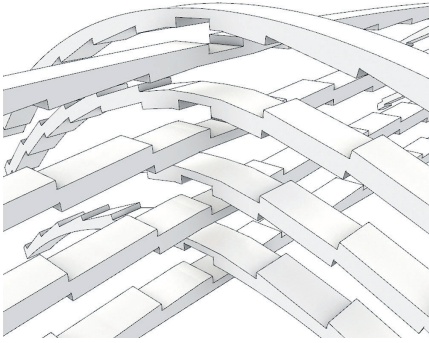
TEXT ZVG | BILDER MIRO BANNWART

Mit einer alten Technik, der Zahnträgerbauweise von Hans Ulrich Grubenmann, ist es möglich, gebogene Massivholzträger mit einer definierten Krümmung herzustellen. Dabei wird die Balkenkrümmung durch ein gesägtes Zahnungsmuster auf der Längsseite der gerade produzierten Holzbalkenelemente definiert. Miro Bannwart hat im

Rahmen seiner Architekturmaterarbeit an der Universität Stuttgart die alte Technik für den Computer programmiert, um damit die traditionelle Konstruktion in die heutige Zeit zu holen und sie weiterzuentwickeln.

Heute werden automatisierte Produktionsprozesse im Holzbau breit angewendet: Ehemals zeitaufwendige Handarbeit wird

mehr und mehr durch vielfach schnellere, automatisierte CNC-Produktionsprozesse ersetzt. Diese Prozesse sind nicht nur schneller, sondern erlauben es auch, ganz individuelle, vom Computer generierte Teile «en Masse» zu produzieren. Dies sei, sagt Miro Bannwart, der sein Studium mittlerweile abgeschlossen hat, insbesondere interessant,



*Dreidimensionale Strukturen sind möglich: Je komplexer, desto mehr Sinn ergibt die Digitalisierung.*

wenn durch Programmierungen Bauteile automatisiert und Produktionsgeometrien direkt in nur einem zusammenhängenden Datensatz aus dem architektonisch formalen Design generiert werden können.

### EIN ALGORITHMUS FÜR JEDE FORM

Im Kontext moderner Design- und Produktionsmöglichkeiten hat sich Miro Bannwart entschieden, der beinahe vergessenen traditionellen Zahnträgertechnik eine neue Chance zu geben und sie im Rahmen seiner Masterarbeit weiterzuentwickeln. Das Resultat ist ein komplexer Zahnträger-Pavillon, doppelt gekrümmt und mit sich überkreuzenden Balken. Er spannt sich vor dem Grubenmannmuseum im appenzellischen Teufen auf, gebaut aus regionalem Holz, produziert und aufgebaut mit Hilfe der Innoholz AG und der Treppenbau.ch AG.

«Einfach einzelne und regelmässig gekrümmte Zahnträger mit neuen Methoden zu bauen, wäre eine Kopie ohne Entwicklung», erklärt Miro Bannwart. Das habe in der Architektur noch nie funktioniert. Deswegen sei das Kernstück seiner Thesis, die Zahnträgertechnik so weiterzuentwickeln, dass damit beliebige, geformte Freiformstrukturen aus hundertprozentig natürlichem Vollholz gebaut werden können. Dazu hat er im Rahmen seiner Thesis eine Software programmiert, die aufgrund einer Freiform alle nötigen Produktionsgeometrien berechnet. Dabei lag die Herausforderung nicht nur in der Berechnung der gebogenen Zielgeometrie mit sich überkreuzenden Zahnbalken, sondern speziell in der Rückberechnung der

gestreckten, ungebogenen Produktionsgeometrie aller einzelnen Zahnbalkenlamellen.

### HOLZBALKEN OHNE LEIM FREI FORMEN

Freiformen aus Holz zu bauen ist nichts Neues. Dabei wird jedoch oft auf verleimtes Holz zurückgegriffen. Holz zu verleimen, so Miro Bannwart, sei heute zwar eine weit entwickelte und breit angewandte Technik, bleibe aber ein komplett eigener Industriezweig. Er kann mit dem rein geometrischen Zahnträgeransatz übersprungen werden. Für den subtraktiven Zuschnitt von Zahnträgerlamellen genügt eine simple Fünf-Achs-CNC-Maschine, wie sie heute in vielen Holzbetrieben zu finden ist. Damit ermöglicht das entwickelte Zahnträgersystem jedem Holzbaubetrieb mit einer Fünf-Achs-CNC-Maschine, gekrümmte Träger selbst herzustellen, anstatt ein verleimtes Produkt zu bestellen.

Gegensätzlich zur Zahnträgerbauweise wird heute für komplex gekrümmte Holzbalken für Freiformprojekte der Baum zu einzelnen Lamellen klein geschnitten, um diese dann gekrümmt wieder zu Rohlingen zusammenzuleimen. In einem weiteren Schritt wird dann der Rohling in einem komplexen Prozess auf der CNC-Maschine weiterbearbeitet. Dadurch, dass die Rohlinge oft nicht in derselben Firma verleimt und weiterverarbeitet werden, generiert dieser Prozess mehrere aufwendige Transporte der gekrümmten und sperrigen Balken.

### EINFACHER TRANSPORT

Gezahnte Lamellen hingegen werden direkt ungebogen im geraden Zustand auf der CNC-Maschine zugeschnitten. Dies vereinfache, so Bannwart, den Aufspannprozess auf dem CNC-Maschinentisch im Vergleich zur Bearbeitung gekrümmter Balken massgeblich. Da die Zahnträgerlamellen erst auf der Baustelle gebogen und zusammengefügt werden, vereinfache sich auch der Transport der geraden und einfach stapelbaren Zahnträgerlamellen erheblich. Miro Bannwart ist begeistert: Die Zahnträgerbauweise habe eine unvergleichbare ästhetische und haptische Qualität. An den unverleimt ineinander verzahnten Vollholzzahnbalken ist das statische Prinzip der Träger quasi 1:1 erlebbar. Gerade im Innenbereich würden heute, wenn möglich, Lösungen mit natürlichen Materialien gegen-

über verleimten Holzprodukten bevorzugt. Weitere Vorteile der leimfreien Vollholzbauweise seien die Rückbaubarkeit, das Wiederverwenden und die natürliche Entsorgung des Vollholzes. Verleimte Holzprodukte hingegen müsse man, so Bannwart, heute speziell entsorgen. Sie werden kaum wiederverwendet und landen leider nur allzu oft in der Mulde.

### DER PROTOTYP IN TEUFEN

Vor dem Zeughaus in Teufen, in dem das Grubenmann-Museum eingerichtet ist, hat Miro Bannwart einen Prototyp aus seinen Freiformen erstellt. Bewusst sei die Konstruktion nah am möglichen Biegelimit gebaut worden, um auszutesten, wie stark sich die Freiform einem gegebenen architektonischen Kontext anpassen kann. «Je dünner die einzelne Lamelle, je stärker darf sich die gesamte Konstruktion biegen», sagt der Zimmermann und Architekt. Zu dünn könne man die Lamellen jedoch auch nicht ma-



### MIRO BANNWART

Miro Bannwart (32) hat 2009 bei Ryf Holzbau in Rümligen (BE) die Zimmermannslehre abgeschlossen, als Zimmermann gearbeitet und die Berufsmatura absolviert. Später studierte er an der BFH AHB in Burgdorf Architektur, schloss mit dem Bachelor of Arts in Architecture ab und erarbeitete sich von 2017 bis 2019 den ITECH M.Sc. Architektur Master an der Universität Stuttgart. Heute lebt er wieder in Bern und arbeitet seit Februar 2020 als Assistent an der BFH AHB in Biel am Institut für digitale Bau- und Holzwirtschaft in der digitalen Fabrikation, mit dem Ziel, Holz, Raum und Struktur als eine Einheit zu denken und zu bauen.

chen, mindestens sieben Millimeter dick müssen sie sein, damit sie noch auf dem CNC-Maschinentisch befestigt werden können. Bei der originalen Brückenkonstruktion wurden die einzelnen Zahnbalkelemente, die die Scherkräfte mit der Zahnung aufnehmen, zusätzlich mit einer eisernen Gewindestange zusammengeschnraubt, damit sie nicht aus der Zahnung springen können.

Im Rahmen des Master-Projektes wurde beabsichtigt, auch diese eiserne Schraube mit einer Holzverbindung zu ersetzen. Die Idee war, anstelle der Schraube einen geeigneten Buchenholzdübel zu verwenden. Dazu berechnete der entwickelte Algorithmus in jeder Zahnträgerlamelle das nötige Bohrloch, das ebenfalls mit der CNC-Maschine ausgeführt werden konnte. Ganz ohne Schrauben ging es am Schluss jedoch nicht. In einzelnen Bereichen extrem hoher Krümmung war die Spannung beim Biegen der Lamellen zu hoch für die Dübelverbindung. In Bereichen tieferer Krümmung habe die reine Holzverbindung jedoch bestens geklappt, freut sich Miro Bannwart.

### WIE ES WEITER GEHEN KÖNNTE

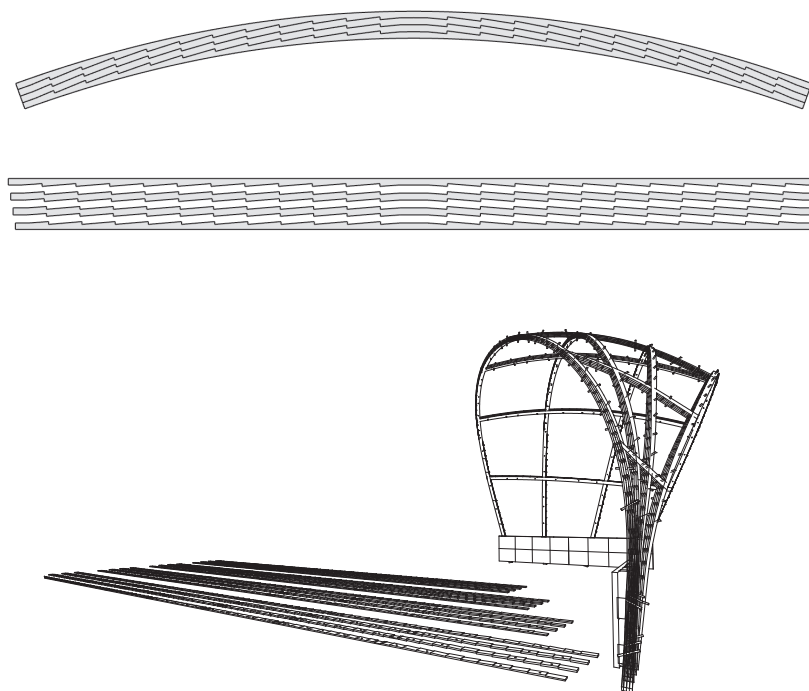
Seine Masterthesis und den gebauten Zahnträgerpavillon vor dem Zeughaus in Teufen sieht Miro Bannwart als Konzeptbeweis, dass heute dank digitalen Produktions- und Designmethoden Zahnträger weit aus effizienter gebaut werden können, als zu Grubenmanns Zeit.

Die Thesis sei eine gute Basis für eine Weiterentwicklung des Systems für die Anwendung in realer Holzarchitektur. Beispielsweise für einfach und nur leicht gekrümmte Balken eines Hallendaches. Damit grössere moderne Zahnträger in der Architektur eingesetzt werden könnten, seien weitere mechanische Belastungstests notwendig. Dies sei durchaus realistisch und sinnvoll, sagt Miro Bannwart, denn Holz und insbesondere regionales Vollholz als überaus ökologischer Baustoff liege im Trend. Dieser Trend zum Holzbau sei eine Möglichkeit, das historisch wertvolle Schweizer Traditionshandwerk, die Grubenmann-Zahnträgerbauweise, mit digitalen Methoden zu neuem Leben zu erwecken und wieder breiter anzuwenden.

**miro.vision, innoholz.ch, treppenbau.ch, uni.stuttgart.de**

### HANS ULRICH GRUBENMANN'S ZAHNTRÄGERTECHNIK

Die Zahnträgerbauweise von Zimmerermeister Hans Ulrich Grubenmann (1709–1783) wurde bis ins 19. Jahrhundert im Brückenbau angewandt. Ein erhaltenes Beispiel in der Zahnträgerbauweise ist die Wintersey-Brücke von 1839 zwischen den Gemeinden Hasle und Rüegsau im Kanton Bern. Die Zahnträgertechnik war durch die Längsbearbeitungen der Balken jedoch sehr aufwendig und konnte mit dem im 19. Jahrhundert aufkommenden Stahlbau und später mit verleimten Brett-schichtholzträgern nicht Schritt halten. [zeughausteufen.ch](http://zeughausteufen.ch)



*Das verzahnte Vollholz ist biege- und drehbar und das auch erst vor Ort. So können die Lamellen einfach transportiert werden.*



*Am Prototyp in Teufen (AR) wird deutlich, wie beweglich die Holzlamellen sind.*