

Holzpavillon

Punktgenaues Schwinden

Forschende der Universität Stuttgart haben die Schwäche des Baustoffs Holz zu seiner Stärke gemacht: Sie entwickelten eine Schalenkonstruktion, die sich beim Trocknen von selbst in die gewünschte Position bringt. Punktgenau schwindet sich die hauchdünne Tragkonstruktion in fünf Tagen zusammen.

Von Ben Kron



Perspektivische Ansicht des hauchdünnen «HygroShell»-Pavillons, wie er noch kurze Zeit an der Biennale Chicago zu bewundern ist.

Die Baubranche braucht nachhaltige Materialien, um ihren massiven Ausstoß an klimaschädlichen Emissionen zu senken. Holz, als nachwachsender Rohstoff, steht dabei im Zentrum des Interesses. Doch das Naturprodukt hat auch Nachteile: seine anisotropen und hygroskopischen Eigenschaften. Oder auf Deutsch: Holz enthält beim Einbau stets noch Feuchtigkeit, und beim unvermeidlichen Trocknen schrumpft es,

was zu unerwünschten Rissen und Verformungen führen kann. Vor allem ein Einsatz für flächige, tragende Bauteile war deshalb bisher nicht möglich.

Diesem Problem widmet sich das Projekt «HygroShell» der Universität Stuttgart. Die beiden Institute für computerbasiertes Entwerfen und Baufertigung sowie für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen haben ein System entwickelt, dass diese Verformungen des

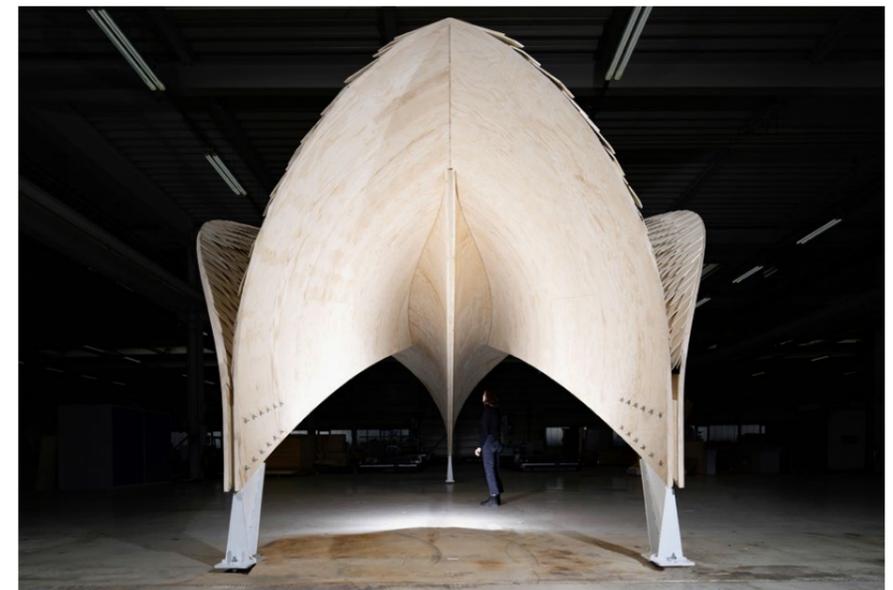
Holzes nicht nur exakt berechnet, sondern zur Herstellung der fertigen Konstruktion gezielt einsetzt. Ihr Holzbausystem besteht aus Schalen mit einem zweischichtigen Aufbau: Zwei unterschiedliche Lamine werden kreuzweise angeordnet und verleimt. Die dünnere, restriktiv genannte Schicht, weist einen tiefen Feuchtigkeitsgehalt auf und deshalb geringe hydromorphe Eigenschaften. Oder übersetzt auf Deutsch heißt das: Es

schrumpft bei der natürlichen Trocknungsphase nicht mehr.

Selbstformendes Holzbausystem

Darüber befindet sich eine dickere Schicht, deren Holz einen hohen Restgehalt an Feuchtigkeit aufweist: Dieses Holz durchläuft nach dem Einbau einen Trocknungs- und Verformungsprozess. Und was nicht zu verhindern ist, nutzen die Stuttgarter Forscherinnen und Forscher gezielt aus zur Erzeugung von Form und Struktur. So haben sie ein neuartiges, selbstformendes Holzbausystem entwickelt. Per Computer wurde dabei das feuchtigkeitsbasierte Schwinden des Holzes exakt berechnet und in die Konstruktion eingeplant. Das heißt: Die Holzelemente weisen bei Einbau noch nicht ihre endgültige Form auf, sondern erreichen diese nach einer Trocknungsphase von fünf Tagen. Erst dann erhält die Konstruktion auch ihre tragende Eigenschaft.

Die vorgefertigten Elemente erhalten in der Fabrik auch ihre 3D-Verbindungsdetails: langgestreckte, gebogene Fingerzinken und vorgebohrte Schraublöcher, alles von einer 5-achsigen CNC-Fräse präzise eingebaut. Dazu erhalten sie ebenfalls in der Vorfertigung eine Deckschicht aus rauteförmigen Holzschindeln, wie sie im süddeutschen Raum Tradition haben. Diese einzelnen Schindeln verhalten sich wie Schuppen: Sie passen sich der Krümmung der Oberfläche an, ohne ihre Funktion als Witterungsschutz einzubüßen.

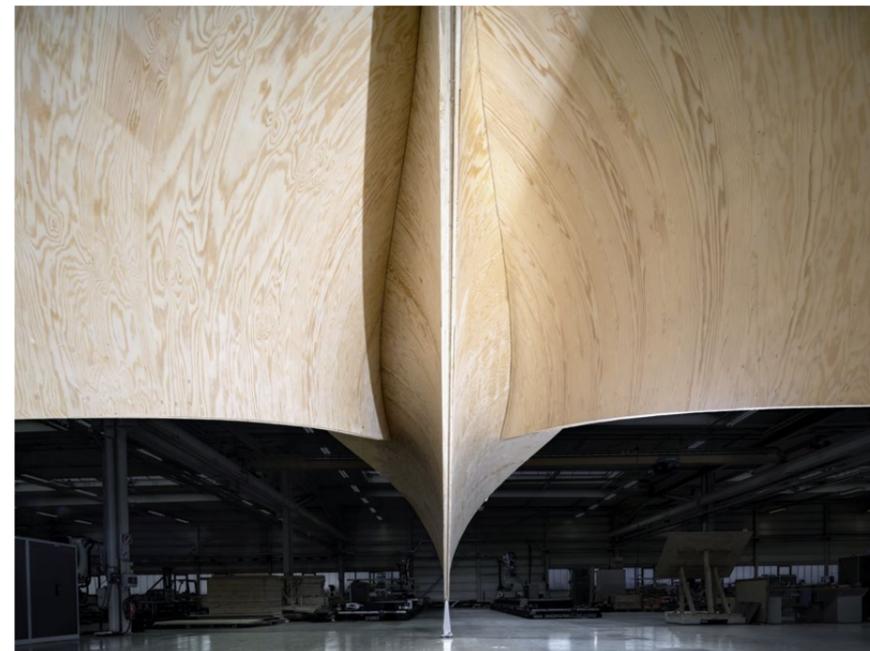


Von hinten ist gut erkennbar, wie die beiden Seiten des Pavillons sich zueinander neigten und so die endgültige Tragstruktur ausbilden.

Individuelle Betrachtung von Holz

Die Basis dieser Methode ist dabei eine neue, individuelle Betrachtung von Holz: Bei der üblichen Sortierung werden Bretter in ungefähre Gütekategorien eingeteilt, mit allgemein gehaltenen Merkmalen. Bei «HygroShell» erhob man brettsspezifische Daten, die für die Formung des Tragwerks verwendet und in den gesamten Herstellungsprozess eingebaut wurden. Nicht nur die Feuchtigkeit, sondern auch Parameter wie die Faserorientierung des Holzes und die Jahrringwinkel sind dabei entschei-

dend, um die spätere Krümmung zu berechnen. Mittels einer sogenannten Finiten Element Analyse, analytischer Berechnungsmethoden und durch physische Experimente lassen sich die Krümmungen laut den Stuttgarter Forscherinnen und Forschern recht gut annähern. Laura Kiesewetter vom Projektteam: «Obwohl natürlich Holz ein Naturprodukt ist, bei dem es natürliche Schwankungen im Quell- und Schwindverhalten gibt.» Es wird weiter geforscht, wie sich die Vorhersagen mithilfe von künstlicher Intelligenz und maschinellem Sehen auf Basis der Holzfaserstruktur der Bretter verbessern lassen.

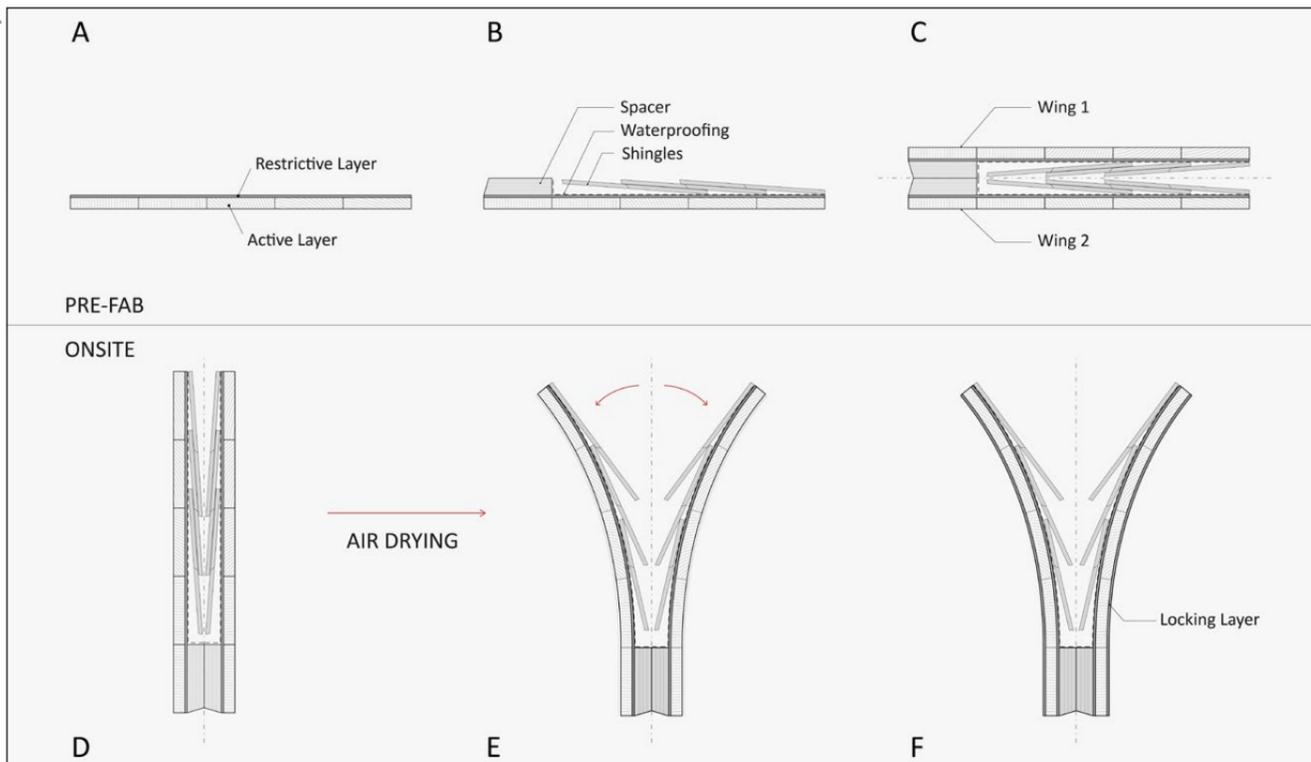


Der Innenraum des Pavillons, der in Stuttgart aus lokal angebaute Fichtenholz in Standardqualität gefertigt wurde.

Lokales Fichtenholz

Verwendet wird lokales Fichtenholz in Standardqualität und mit einer Feuchte von rund 20 Prozent. «Dieser Holzfeuchtegehalt kann auch über Lufttrocknung im Außenraum erreicht werden, somit kann die industrielle Trocknung ganz eliminiert werden», so die Forscherin. Um die Streuung der Holzfeuchtwerte in kürzerer Zeit zu reduzieren, wurde zudem bei einem Teil des Rohmaterials eine Trocknung auf lediglich 22 Prozent durchgeführt, was aber immer noch eine starke Reduzierung der Trocknungszeit und -energie bedeutet.

Demonstrationsobjekt der neuen Methode ist ein Pavillon, der letztes Jahr bei der Architekturbienale in Chicago für Aufsehen sorgte: Es handelt sich um eine filigrane, gebogene Dachkonstruktion von zehn Metern Spannweite und einer gerade mal 28 Millimeter dünnen Sperrholzschiene. Denn anstatt über Bauteildicke, erzeugt das Leichtbausystem seine Steifig-



Oben der Aufbau der Platten mit aktiver und restriktiver Schicht (Layer), dazu die Schindeln (Shingles). Unten schematisch der Prozess des kontrollierten Schwindens und Biegens, den die Schindeln mitmachen. Am Ende des Prozesses wird eine blockierende Schicht (Locking Layer) aufgebracht.

keit durch Oberflächenkrümmung und gekrümmte Schnittpunkte.

28 Millimeter Materialstärke

Angeliefert wurde die Konstruktion als flache Komponenten von zehn mal drei Meter, deren architektonische, strukturelle und kinetische Eigenschaften in diesem planen Zustand eingebettet waren. Vor Ort aufgebaut, entwickelten sich die Komponenten allmählich zu einer gekrümmten, ineinander greifenden und selbsttragenden Geometrie, ganz ohne menschliches Zutun. Durch die Materialstärke von 28 Millimeter erreicht die Konstruktion ein Schlankheitsverhältnis von 350:1, was einer Eierschale entspricht. Herausfordernd

bei der Methode ist die relative Luftfeuchte, die je nach Ort und Zeit unterschiedlich ist. Dazu wird die Formung mittels Laserscanning und eingebetteten sogenannten Inertialsensoren überwacht, die Werte wie Beschleunigung oder Drehraten messen. So wird die Formgebung über die fünf Tage überwacht. Erst wenn jedes Bauteil die Zielgeometrie erreicht hat, werden die Längsverbindungen verschraubt. Dazu wird die Form auf der Innenseite vor weiteren Verformungen blockiert, indem eine zusätzliche, elastisch gebogene Sperrholzschiicht von vier Millimetern Stärke auflaminiert wird. Gewisse Abweichungen von der gewünschten Krümmung sind bewusst einkalkuliert: «Die Bauteile waren schlank

und flexibel genug, um die letzten Zentimeter von Hand in Form gebogen werden zu können.»

Prozess beeinflussbar

Generell ist der Trocknungsprozess abhängig von den Umgebungsbedingungen. Bei der Biennale in Chicago fand dieser Prozess in einer nicht klimakontrollierten Werkshalle statt, deren durchschnittliche Temperatur und relative Luftfeuchte bekannt waren. «Sollten die Umgebungsbedingungen von den erwarteten Werten abweichen, kann der Prozess durch ein paar Massnahmen durchaus noch beeinflusst werden. So wird durch Abdecken der Bauteile die Luftzirkulation minimiert und der Prozess verlangsamt.» Ebenso kann durch Aufstellen von Ventilatoren oder Klimageräten der Formungsprozess beeinflusst werden.

Beim «HygroShell»-Pavillon werden die äusseren Lasten durch Kräfte in der gekrümmten Fläche übertragen. Dadurch ist das strukturelle System der Konstruktion skalierbar und stellt eine passive, aber präzise und energiesparende Methode dar, wie gekrümmte Geometrien mit Holz erzeugt werden können. So können seine natürlichen Eigenschaften genutzt werden, auch für Tragwerke und Gebäudehüllen. «Abweichend von typischen Strukturtypologien eröffnet die einfach



Im Zeitraffer: Beim Versuch in der Halle schwindet die Konstruktion innert 96 Stunden auf die gewünschte Restfeuchte von 11 Prozent und ihre errechnete Form.

gekrümmte Konstruktion des Daches neue Potenziale für ressourcenschonendes, dünnchaliges Bauen mit biobasierten Materialien.»

Flache Bauteile

Ressourcenschonend ist dabei auch der Umstand, dass die Fertigung und Montage der Bauteile im flachen Zustand den Herstellungsprozess erheblich vereinfachen. Die kompakten, flachen Pakete reduzieren auch das Transportvolumen deutlich, wodurch weniger Fahrten zur Baustelle nötig werden. Auf der Baustelle selbst ist die Positionierung der flachen, relativ leichten Elemente mit weniger Kraftaufwand verbunden als üblich. Dazu kann auf Gerüste oder Schalungen weitgehend verzichtet werden.

Der entscheidende Aspekt von «HygroShell» ist gemäss den Stuttgarter Forschern aber die Integration von geometrischer Form, Tragwerk, Verbindungsdetails und Gebäudehülle in ebenen, vorgefertigten Bauteilen: «Während herkömmliche Vorfertigungsmethoden im Holzbau auf standardisierte Paneele beschränkt sind, ermöglicht es die physikalische Programmierung, die Vorteile flacher Paneele in der Produktion mit den Vorteilen formaktiver Flächentragwerke zu verbinden.»

Die Forscher sehen deshalb Potential für die Anwendung im grösseren Massstab, da hier das reduzierte Transportvolumen und die reduzierte Arbeiten auf der Baustelle mehr ins Gewicht fallen würden. «Mit den gekrümmten, flächigen Bauteilen kann Material eingespart werden, da die Geometrie erheblich zur Steifigkeit der Struktur beiträgt und bei der Fertigung wenig Verschnitt anfällt. Die Technologie könnte so



Beim Forschungsprojekt noch Handarbeit: Die Herstellung der programmierten flachen Bauteile auf Basis des digitalen Modells. Anschliessend werden die Teile von der Fräse geschnitten und mit den nötigen Verbindungen versehen.

ihren Beitrag zu nachhaltigeren und leichteren Strukturen leisten.»

Das nächste Projekt mit einer ähnlichen Fertigungsmethode ist ein Aussichtsturm in Wangen im Allgäu (D), der im April im Rahmen der Landesgartenschau eröffnet wird. In diesem Projekt ist statisch eine höhere Materialstärke notwendig, deshalb werden mehrere selbstgeformte Bauteile in Schichten miteinander verklebt. Für den Pavillon an der Biennale sucht man einen Standort im Aussenraum, um die Konstruktion unter Langzeitwitterung zu testen. Laura Kiesewetter: «Er ist seit seiner ersten Installation mit Holzfeuchtesensoren ausgestattet, die die Schwankungen aufzeichnen.» Zuvor aber kann der spektakuläre Pavillon noch eine Weile in Chicago bewundert werden: Die Biennale dauert noch bis zum 24. Februar. ■



Ebenfalls noch im flachen Zustand erhalten sind Paneele und Hülle: ganz gewöhnliche rautenförmige Holzschindeln, wie sie seit Jahrhunderten in Gebrauch sind.

Beteiligte

- › Institut für Computerbasiertes Entwerfen und Baufertigung – ICD
- › Prof. Dr.-Ing. Dylan Wood, Laura Kiesewetter, Prof. Achim Menges
- › Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen – ITKE
- › Dr.-Ing. Axel Körner, Kenryo Takahashi, Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers
- › Exzellenz-Cluster Integratives Computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur, Universität Stuttgart (IntCDC)

Projektunterstützung

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Universität Stuttgart, School of Talents – Universität Stuttgart, Digitize Wood – Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (MLR), Zukunft Bau – Ministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, Kolb Sägewerk, Henkel AG, Scantronic, Brookhuis Technologies, CAB5



Gerade für grössere Konstruktionen von Interesse: Die Bauteile sind flach und können entsprechend platzsparend und ressourcenschonend transportiert werden.