

## **Diagrid Pavillon - Falten mit Holz**

*Interdisziplinäres Design-Build-Projekt auf der Landesgartenschau Kirchheim 2024 einer faltbaren Holzkonstruktion der TH Nürnberg.*

Der *Diagrid Pavillon* auf der Landesgartenschau Kirchheim 2024 zeigt erstmals die Anwendung eines experimentellen, flexiblen Verbindungselements für plattenförmige Bauteile, das Architekten und Bauingenieure an der Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm) gemeinsam im entwickelt haben: den *FlexiNode*.

Der Diagrid Pavillon ist das Ergebnis eines Lehrforschungsprojekt der Fakultäten Architektur und Bauingenieurwesen in Kooperation mit der Landesgartenschau Kirchheim 2024.

Nach einer zweijährigen Planungs-, Forschungs-, Entwicklungs- und Testphase mit Belastungsversuchen wurde er Pavillon Anfang Mai mit Studierenden innerhalb von zwei Tagen als Design-Build-Projekt in Kirchheim aufgebaut.

Nun kann er bis zum 6. Oktober 2024 in Kirchheim besichtigt werden. Auf der Gartenschau wird der Diagrid Pavillon als *Flowerpoint* genutzt, als eine überdachte, offene Ausstellungsfläche für Floristik.

### **Faltbarkeit und Flexibilität**

Die modulare Konstruktion des Diagrid Pavillons besteht aus brettförmigen Sperrholzplatten, die mit flexiblen Verbindungselementen, den *FlexiNodes*, zu einem Rost verbunden sind.

Die *FlexiNodes* sind aus Nylon und 3D-gedruckt. Obwohl sie beweglich sind, übertragen die *FlexiNodes* Kräfte zwischen den Sperrholzplatten. Der Rost, der das Dach bildet, überspannt

dabei etwa fünf mal fünf Meter, bei einer Filmscharnierbreite von unter zwei Millimetern.

Durch die Flexibilität der Filmscharniere können unterschiedliche Winkel zwischen den Brettern eingestellt werden. Rechtwinklige Konfigurationen sind ebenso möglich wie Rauten. Die Flexibilität erlaubt auch eine vollständige Flachfaltung des Rostes, bei dem alle Bretter flach und parallel aneinanderliegen.

Die Faltbarkeit der *FlexiNodes* ermöglicht so viel unterschiedlichere Konfigurationsmöglichkeiten als Knoten mit starren Winkeln. Die Flexibilität erleichtert auch die Montage und ermöglicht einen flachgefalteten, sehr platzsparenden Transport vorgefertigter Elemente. Da die Filmscharniere bei Drehung wie Federn wirken, federn flachgefaltete Roste in aufgefaltete Ausgangszustände zurück, was den Aufbau vor Ort erleichtert.

### **Kraftübertragung und Faltung**

Ein *FlexiNode* bildet einen Ring aus kurzen, sehr dünnen Filmscharnieren und massiveren, starren Querschnitten, die einen kraftschlüssigen Anschluss der Bretter ermöglichen. Da jedes Brett an seinen Aussenkanten mit zwei Filmscharnieren verbunden ist, kann es in zwei Richtungen gedreht werden. *FlexiNodes* aus Nylon schaffen daher eine ganz neue und vielseitige, leicht lösbare und sortenrein recyclebare Fügung plattenartiger Bauteile.

### **3D-Druck im Belastungstest**

Sämtliche 3D-gedruckten *FlexiNodes* des *Diagrid Pavillons* wurden in Laboren der Ohm auf herkömmlichen FDM-Druckern aus herkömmlichem Nylonfilament gedruckt. Recycling-Filament aus Nylon war zum Zeitpunkt der Produktion leider noch nicht in der nötigen Qualität und Menge verfügbar.

Die genaue Geometrie der 3D-Drucke wurde durch eine Serie von Belastungstest im Labor der Fakultät Bauingenieurwesen über ein Jahr lang optimiert. Neben statischen Aspekten wie der Verformung, der Kraftübertragung in die Bretter oder den Lochlaibungsspannungen, wurden durch Versuche auch Aspekte der additiven Fertigung schrittweise verbessert.

Durch experimentelles Justieren von 3D-Druckparametern wie Infill, Drucktemperaturen, Druckgeschwindigkeiten und Flowparametern und Orientierung der Druckobjekte konnten am Ende brauchbare Bauteile in vernünftiger Geschwindigkeit auf den im Labor der Fakultät Architektur vorhandenen einfachen FDM-Druckern hergestellt werden.

Eine besondere Herausforderung stellte dabei das relativ starke Schrumpfen des Nylons bei Abkühlung dar, sowohl in Bezug auf die Druckbarkeit der Bauteile als auch in Bezug auf die Fertigungstoleranzen. Die relativ hohen Streubreite bei der Festigkeit der 3D-Drucke mußte in den Sicherheitsbeiwerten der statischen Nachweise berücksichtigt werden.

Die Herausforderungen der additiven Fertigung der Prototypen der *FlexiNodes* könnten bei höherer Stückzahl in einem industriellen Extrusionsprozess jedoch vermieden werden.

Auch wenn die FlexiNodes des Diagrid Pavillons als Prototypen zu verstanden werden müssen und noch kein als marktreifes Produkt sind, erscheint das Konzept eines flexiblen Verbindungsknotens für Plattenmaterial viel Potential für kommerzielle Anwendungen zu haben. Daher wurde die *FlexiNodes* vor der Realisierung des Pavillons zum Patent angemeldet.

## **Raster und Ränder**

Bei dem nun in Kirchheim realisierten Pavillon sind jedoch nicht alle Verbindungselemente *FlexiNodes*. Die dreieckigen Konfigurationen an den Ecken, an der Traufe und an Sohlbrettern Boden sind als starre ebenfalls 3D-gedruckte Sonderelemente ausgeführt worden. Die Rand- und Eckfelder des Pavillons steifen zusammen mit dem diagonalen Raster den Pavillon als Ganzen aus. Durch sie wird aus einer faltbaren Konstruktion mit einem Freiheitsgrad der Bewegung eine starre Baukonstruktion, die nicht umfällt.

Das diagonale Raster, also das ‚Diagrid‘ des Pavillons verhält sich in Bezug auf die Beweglichkeit und Aussteifung der Konstruktion günstig: einzelne Wandelemente oder Dachscheiben aus Vierecksmaschen sind für sich genommen beweglich und faltbar. Verbindet man jedoch drei bewegliche Scheiben zu zwei Wänden und einem Dach, bilden sich in der Raumdiagonale Scharen aussteifende Dreiecke, die dazu führen, dass drei verbundenen Scheiben starr und nicht mehr faltbar sind.

## **Kooperationen**

Der Diagrid Pavillon ist durch Kooperation der beiden Fakultäten Architektur und Bauingenieurwesen und der Landesgartenschau entstanden. Notwendige Kosten für das Herrichten des Geländes, die Gründung mit Schraubfundamenten und die nötigen statische Nachweise wurden durch die Landesgartenschau Kirchheim 2024 übernommen.

Die Sperrholzplatten und weiteres Material wurden über Sponsoring eingeworben. Das 3D-Druck Filament, Werkzeug, Transportkosten, Schrauben und die Dacheindeckung aus Polycarbonatplatten konnten wegen überschaubarer Kosten aus laufenden Mitteln finanziert werden.

Die passgenaue Fertigung der Holzplatten wurde in der Werkstatt der Fakultät Architektur der TH Nürnberg und im Nürnberger Berufsbildungswerk ausgeführt. Durch eine Kombination von digitaler Fertigung mit CNC-Fräse und handwerkliches Können wurden außerordentlich geringe Toleranzen bei der Vorfertigung erreicht, die einen präzisen und sehr einfachen modularen Aufbauprozess ohne Hebezeuge ermöglicht hat.

### **Gestaltidee**

Durch die Schlankheit und Tiefe des faltbaren Rosts wirkt der Diagrid Pavillon frontal betrachtet, sehr offen, leicht und durchlässig, von der Seite jedoch plastisch und geschlossen. Das diagonale Raster endet nicht an den Ecken, sondern setzt sich kontinuierlich um Ecken und Traufe fort und bildet eine dreidimensionale Hülle.

Durch das Umlaufen der Diagonalen entstehen wellenförmige Ränder des kubischen Volumens. In drei Dimensionen erscheint das simple Raster weniger als starre Ordnungsprinzip einer Fläche und mehr als eine Frequenz im Raum. Dieser Wellencharakter verleiht dem Pavillon eine federnde Gestalt.

Auch als starres Bauwerk hinterlässt der Diagrid Pavillon einen Eindruck von Faltung und Entfaltung.

### **Team**

Prof. Gunnar Tausch  
Prof. Dr. Ing. Thorsten Wanzek  
Dipl. Ing. (FH) Thomas Rothenberger  
B. Sc. Paul Hermann  
M.A. (FH) Hannes Gsaenger  
Lisa Hofmann  
Tobias Günther  
Christoph Mayer  
Wolfgang Dempert  
Sebastian Breiter,  
Jasmin Raab

Julia Groß  
Markus Kuchlbaur  
Nadine Brandner  
Markus Schilcher  
Michael Dalby  
Florian Kraus  
Lucas Meyerhöfer  
Lukas Seitz  
Cristina Wörle

**Unterstützer**

Landesgartenschau Kirchheim 2024  
Fakultät Architektur TH Nürnberg  
Fakultät Bauingenieurwesen TH Nürnberg  
Firma Klebl  
Krinner Schraubfundamente  
Fiberlogy  
LAP – Beratende Ingenieure  
Bessey Tool GmbH & Co. KG