

Akustisch wirksame Origami-Faltwerke mit bedarfsgerecht anpassbarer Raumgeometrie auf Basis von Holz/Textilverbunden

Acoustically effective origami folding structures of customisable room geometry based on wood/textile composites

Projektleiter

Project leader:

Heiko Kühne

Projektbearbeiter

Person in charge:

Stefan Feuersenger,
Simon Hanke

Fördermittelgeber

Co-funded by:

BMWK (IGF)

Projektpartner

Project partners:

Sächsisches Textil-
forschungsinstitut e.V.
(STFI),
Hochschule für nach-
haltige Entwicklung
Eberswalde, Fachbereich
Holzingenieurwesen
(HNEE)

AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

In einer stetig offener werdenden Welt sind Diskretion und Abgrenzung immer schwieriger, aber auch wichtiger – dies betrifft unsere Arbeitswelt, Bereiche des privaten genauso wie des öffentlichen Lebens. Gefragt sind deshalb häufig schnell anpassbare veränderliche raumbildende Konzepte, die eine optische Abgrenzung zu Nachbarbereichen ermöglichen und die die Raumakustik positiv beeinflussen. Am Markt gibt es temporäre Sicht- und Schallschutzsysteme in vorgefertigten Abmessungen. Diese sind i. d. R. nicht selbsttragend, so dass eine zusätzliche stützende oder haltende Konstruktion (Ständersysteme/Rahmen) erforderlich ist. Auch kann eine schnelle bedarfsgerechte und wiederholbare Geometrieänderung häufig nicht realisiert werden. Systeme, mit denen dies bewerkstelligt werden kann, sind nach dem Prinzip des Origami faltbare, selbsttragende Strukturen.

Die Möglichkeiten zum Einsatz von Origami-Faltstrukturen im Bauwesen und in der Architektur wurden bereits verschiedentlich untersucht. Auch Strukturen mit endlicher Dicke, deren Faltung Zwangsbedingungen unterliegt, fanden dabei Berücksichtigung. Offene Fragestellungen betrafen aber wiederholt Origami-basiert faltbare, leicht zu transportierende Strukturen aus Materialverbunden (insbesondere aus Holz/Textilverbunden) mit einer definierten einheitlichen oder auch variablen Dicke.

INITIAL SITUATION AND OBJECTIVE

In a world more and more opening up, discreteness and individualisation are becoming more and more difficult, but all the more important – this affects our world of work and our spheres both private and public. Therefore, there is a demand for quickly adjustable space-creating concepts allowing optical delimitation from adjacent areas and positively influencing room acoustics. There are temporary vision and noise partition systems of prefabricated dimensions on the market. They are not usually self-supporting, requiring an additional load-bearing or supportive design (upright stand systems/frames). Nor can customised and reproducible changes to geometries be provided swiftly in many cases. Systems that would be able to do so adopt the principle of origami-foldable, self-supporting structures.

Possibilities of using origami-like foldable structures in the building sector and in architecture have been investigated already in several ways. Also, structures of finite thickness whose foldability is subject to forced conditions have thereby been taken into account. Open issues repeatedly dealt with origami-based foldable, easily portable structures of composite materials (particularly wood/textile composites) of defined, uniform or also variable thickness.



Abb. 1: Demonstrators eines Holz/Textil-Faltwerks in Form eines Pavillons

Fig. 1: Demonstrative prototype of a wood/textile folding structure shaped as a pavilion

Ziel des Forschungsvorhabens war folglich die Entwicklung von Konzepten für sogenannte Holz/Textil-Faltwerke (HTF). Dies umfasste die Bereiche Materialentwicklung, Bauteilkonstruktion, Fertigungstechnologie und die Ermittlung von Eigenschaften bzw. Simulationen.

VORGEHENSWEISE

Zunächst wurden die Anforderungen an HTF bzgl. grundsätzlicher Systemeigenschaften im Prozess der Faltung/Entfaltung, Kompaktierung, Handhabung und in den Zielanwendungsgebieten definiert. Darauf aufbauend erfolgte die Auswahl und Untersuchung geeigneter Materialien für die Komponenten – biegesteife Flächenelemente und biegeschlaffes Trägermaterial – sowie die Entwicklung von Einzelkomponenten. Teilaufgaben waren dabei die Entwicklung einer Fertigungstechnologie für textile Gelenksysteme, einschließlich der Erprobung und Auswahl geeigneter Fügeverfahren (textiles Fügen, Kleben) und Verfahren zur genauen Positionierung der Flächenelemente auf den Trägermaterialien sowie die Entwicklung akustisch wirksamer Materialien bzw. Elemente.

Consequently, the objective of the research project was to develop concepts for so-called Wood/Textile Folding Structures (WTFS). They comprise the areas of material development, component design, manufacturing technology and identification of properties or simulations alike.

APPROACH

At first, the requirements of WTFS with regard to principal system characteristics in the process of folding/unfolding, compacting, handling and targeted applications were defined. Following that, suitable materials for components – flexurally resilient laminar elements and flexurally slack substrate material – were selected and investigated as well as individual elements developed. Partial tasks thereby were to develop a manufacturing technology for textile jointing systems, including the testing and selection of appropriate joining techniques (textile jointing, gluing) and methods for exactly positioning the laminar elements on the substrates as well as the development of acoustically effective materials or elements.

Die Konzeptentwicklung für den Aufbau des Gesamtsystems beinhaltete anschließend insbesondere die Abstimmung der Fertigungstechnologien aus dem Holz- und Textilbereich – die Verknüpfung von Prozessketten, Datenerfassung, Datenaufbereitung und Programmierung. Auf Basis des Origami-Prinzips wurden außerdem verschiedene Faltgeometrien und -kinematiken simuliert und eine Auswahl geeigneter Geometrien vorgenommen, die auch bei der Fertigung eines Demonstrators zur Anwendung kamen. Für den Funktionsnachweis wurden physikalisch-mechanische und akustische Prüfmethoden entwickelt und Standardverfahren adaptiert.

ERGEBNISSE

Auf Basis der im Projekt gewonnenen Erkenntnisse wurde ein Demonstrator in Form eines Pavillons aus 12 faltbaren Einzel-elementen konstruiert. Dieser wurde zunächst als Modell im Maßstab 1:10 gefertigt und aufgebaut. Anschließend erfolgten die finale Fertigung und Installation des Demonstrators im Maßstab 1:1. Anhand einer Leistungsanalyse konnte ein entsprechender Funktionsnachweis erbracht werden.

Die aufgestellten Arbeitshypothesen bestätigten sich: Durch geeignete Simulationsmodelle konnte die Faltung und Form der Origamistrukturen berechnet und eine Verbundkonstruktion mit einer Materialdicke von mindestens 7 Millimetern gefertigt werden. Es ist gelungen, durch den Einsatz holzbasierter Elemente eine mechanisch stabile selbsttragende Origamistruktur mit 4 Meter Spannweite zu errichten. Die wirtschaftliche und reproduzierbare Fertigung der Elemente konnte durch die numerische Bearbeitung und automatische Generierung der Bearbeitungsprogramme erreicht werden. Die Fertigungsunterlagen für die Holz- und Textilverarbeitung wurden dabei aus einem gemeinsamen übergeordneten Tool generiert und die Fertigung im digitalen Zwilling

Subsequently, the concept design for structuring the entire system especially included the coordination of manufacturing technologies in the wood and textile areas – the interlinking of process chains, the capture and preparation of data and programming. Besides, various folding geometries and kinematics were simulated on the basis of the origami principle and suitable geometries selected that were also applied in making a demonstrative prototype. Physical-mechanical and acoustic test methods were developed for proving their functionality and standard procedures were adapted.

RESULTS

Resting on the knowledge gained in the project, a demonstrative prototype in a pavilion-like shape consisting of twelve individually foldable elements was designed. It was at first built as a model on a 1:10 scale and set up. This was followed by the final manufacture and installation of the demonstrative prototype on a 1:1 scale. Corresponding proof of functionality could be provided by a performance analysis.

The initially set up working hypotheses were confirmed: the folding and shaping of the origami structures could be calculated with the help of suitable simulation models and the composite design of at least 7 mm in material thickness could be manufactured. The use of wood-based elements helped to succeed in setting up a mechanically stable, self-supporting origami structure of four-metre span. Economic and reproducible manufacture of the elements could be achieved using processing programs machining them numerically and creating them automatically. The production documentation for the wood and textile processing were thereby generated from a joint superordinate tool and the manufacturing was mapped in a digital twin. With the help of selected materials, joining technologies and detailed design solutions, it was possible to manufacture permanently

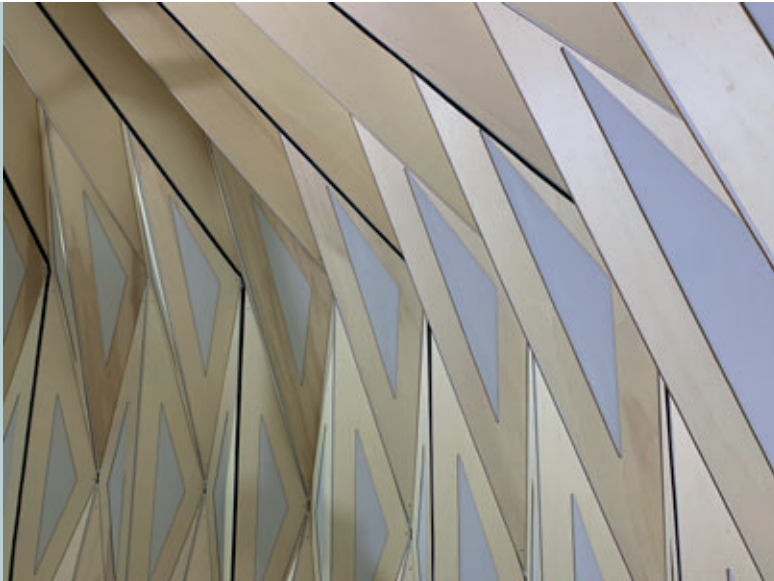


Abb. 2: Raumeindruck im Pavillon – maßgeblich geprägt durch die 3D-Oberfläche des Faltwerks

Fig. 2: Spatial impression of the pavilion – decisively shaped by the 3D surface of the folding design

abgebildet. Mit Hilfe ausgewählter Materialien, Verbindungstechnologien und konstruktiver Detaillösungen war die Herstellung dauerhaft haltbarer Holz-/Textil-Faltwerke möglich. Das Einbringen geeigneter schallabsorbierende Materialien in einzelne Elemente verbesserte die akustischen Eigenschaften der Gesamtkonstruktion wesentlich. Als wesentliches Projektziel konnte die Nachhallzeit innerhalb des Pavillons auf etwa 1 bis 2 Sekunden eingestellt werden, was damit eine für die sprachliche Kommunikation gut geeignete Umgebung schafft.

durable wood/textile folding structures. The incorporation of suitable sound-absorbing materials in individual elements significantly improved the acoustic properties of the overall structure. As a key project objective, the reverberation time within the pavilion could be adjusted to about one to two seconds, thus creating an environment well suited for face-to-face communication.