

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 135 (2009)
Heft: 8: Holztragwerke

Artikel: Gefaltet
Autor: Buri, Hani / Weinand, Yves
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-108221>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



01

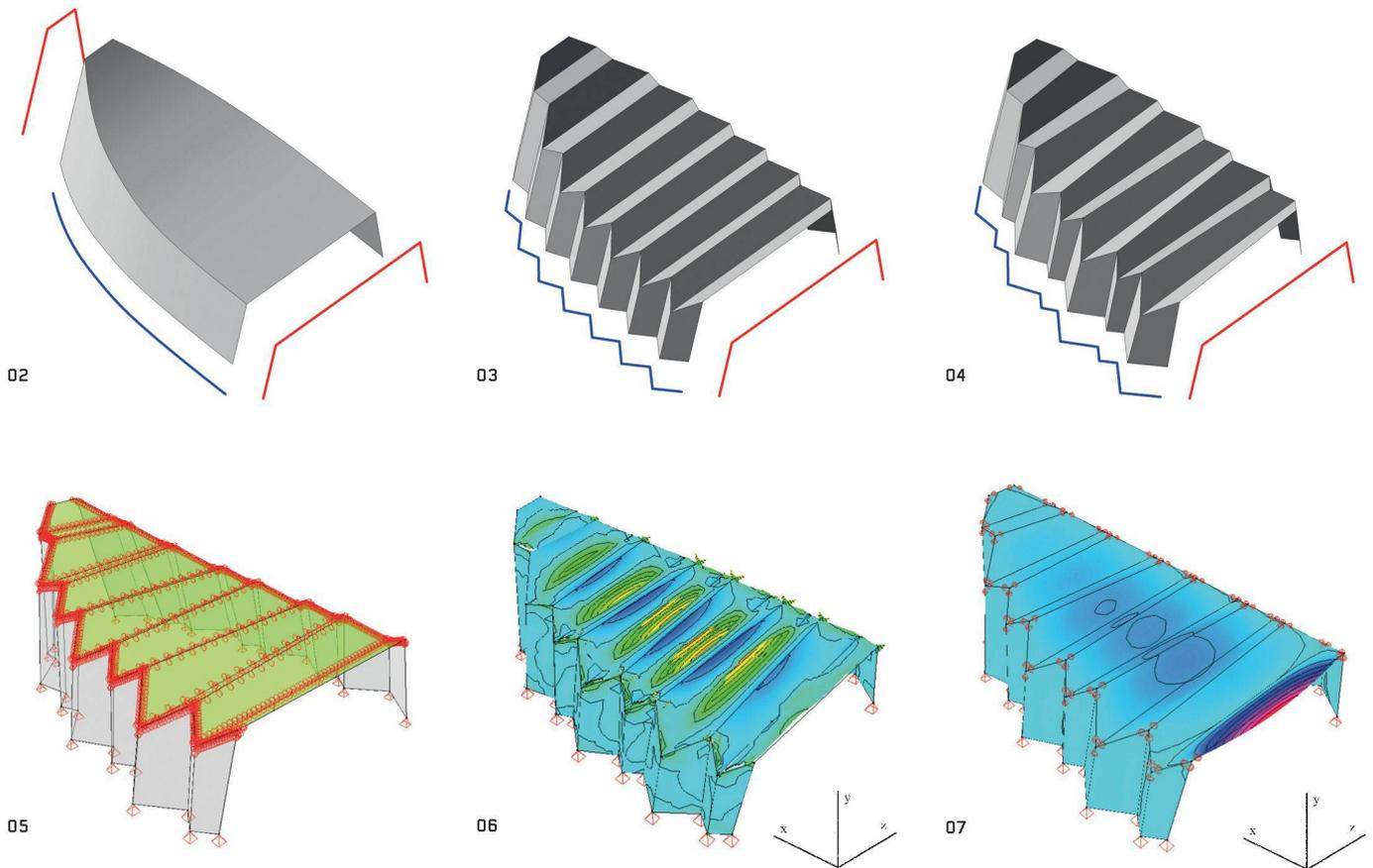
GEFALTET

Titelbild

Die Architektengruppe Localarchitecture und Bureau d'architecture Danilo Mondada planen in interdisziplinärer Zusammenarbeit mit den Planern von Shel und den Forschern von IBOIS die Kapelle St-Loup im waadtländischen Pompaples. Das von Origami inspirierte Faltnetzwerk ist aus Brettspertholzplatten konstruiert (Bild: Fred Hatt)

Am Lehrstuhl für Holzkonstruktionen der EPFL arbeitet ein interdisziplinäres Team unter der Leitung von Yves Weinand an der Entwicklung eines digitalen Modellierwerkzeugs, das unter anderem die Zusammenarbeit von Architekten und Ingenieuren bereits in der Entwurfsphase unterstützen könnte. Beispielsweise sollen damit Faltnetze gleichzeitig aus architektonischer und ingenieurtechnischer Sicht entwickelt werden können. Nun konnte die Forschungsarbeit mit einer Architektengruppe erstmals praktisch umgesetzt werden: Seit letztem Sommer steht eine Kapelle im waadtländischen Pompaples – ein Faltnetzwerk konstruiert aus Brettspertholzplatten.

In der Natur – etwa bei den Blättern vieler Pflanzen – sind gefaltete Strukturen weitverbreitet: Sie ermöglichen es, grosse Oberflächen mit einem minimalen Materialaufwand zu stabilisieren. Von der japanischen Papierfaltkunst inspirierte Faltnetze aus Holz sind deshalb ein Forschungsschwerpunkt am IBOIS. Dabei geht es nicht nur darum, ihr Tragverhalten zu untersuchen: Das Forschungsteam hat auch ein auf diskreten (finiten) Elementen basierendes digitales Tool entwickelt, mit dessen Hilfe Fachleute aus Architektur und Ingenieurwesen solche Faltnetze gemeinsam entwerfen können (vgl. auch TEC21 12/2008 und 17–18/2008). Seit 2007 galt es, das Tool zu testen und praktische Erfahrungen im Entwurfsprozess sowie bei Bau und Montage eines Faltnetzes aus Brettspertholzplatten zu sammeln. Shel, ein explizit für die praktische Umsetzung von Forschungsarbeiten des IBOIS gegründetes Planungsbüro, suchte und fand eine Partnerschaft für eine erste Realisierung. Die Diakonissengemeinschaft von St-Loup im waadtländischen Pompaples organisierte im Sommer 2007 einen Wettbewerb, um ihr Mutterhaus umzubauen und zu renovieren. Die Arbeitsge-



01 Blick Richtung Altar (Rückseite der Kapelle). Brettsperrholzplatten im Innern der Kapelle und transluzente Fassade aus Polycarbonat und einem Windschutztextil: Spiel von Licht und Schatten in den Falten (Bild: Fred Hatt)

02 Die Form der Kapelle wurde durch zwei Linien generiert: Die charakteristische Schnittlinie (rot) und eine Linie im Plan (blau) definieren die räumliche Form der Kapelle. Die Schnittform entwickelt sich von einem liegenden zu einem stehenden Rechteck (Bild: Shel)

03 Die charakteristische Planlinie (blau) wird durch eine Zickzacklinie ersetzt, die eine regelmäßige Riffelung definiert (Bild: Shel)

04 Die Riffelung wird so moduliert, dass in Kapellenquerrichtung gegenläufig sich verjüngende Faltungen entstehen (Bild: Shel)

05 Statisches System: Die Faltenkanten werden gelenkig modelliert (Bild: Shel)

06 Normalkräfte N_z : blau an der Falten Spitze etwa 30 kN/m, gelb im Falten tal etwa 70 kN/m (Bild: Shel)

07 Verformungen d_y : Maximale Deformation am Eingang, wo sich die Faltung nicht fortsetzt – sie beträgt 9.5 mm (Bild: Shel)

meinschaft Bureau d'architecture Danilo Mondada und Localarchitecture gewann den Wettbewerb und plante daraufhin die Ausführung. Für die Zeit des Umbaus – von Sommer 2008 bis Ende 2009 – musste jedoch eine provisorische Lösung für die täglichen Gottesdienste der Diakonissen gefunden werden. Das Anmieten von Baucontainern oder eines Zelt es empfanden sowohl von die Bauherrinnen als auch von die Architekten als unangemessen. Weil Holz schon immer ein bevorzugtes Baumaterial von Localarchitecture war – ihr Stall in Lignières wurde 2006 mit dem Preis Holz 21 ausgezeichnet – und weil die Architekten sich für die Forschungsarbeiten am IBOIS interessierten, schlugen sie den Diakonissen vor, gemeinsam mit den Planern von Shel eine innovative Lösung für die provisorische Kapelle zu finden. So stiessen diese im Dezember 2007 zum Planerteam. Schon die ersten Papiermodelle überzeugten die Schwesterngemeinschaft von der Angemessenheit einer solchen Lösung, und innerhalb weniger Wochen konnte ein definitives Projekt erarbeitet werden.

FORMFINDUNG

Mit dem entwickelten digitalen Modellierwerkzeug können Faltenwerke, die man bisher als Modell von Hand hergestellt hat, direkt im Computer gefaltet werden. Die Form der Kapelle wurde durch zwei Linien generiert. Eine definiert die charakteristische Form im Schnitt: ein Rechteck (rote Linien, Bild 2); die andere schliesst die Grundrissform (blaue Linie, Bild 2) und definiert als Zickzacklinie die Riffelung der Faltung (Bild 3). Die Form der Riffelung kann durch Variieren der einzelnen Segmentlängen zusätzlich moduliert werden (Bild 4). Die beiden Linien beeinflussen sich gegenseitig: Dadurch, dass die allgemeine Form der Grundrisslinie leicht gebogen ist, entwickelt sich die Schnittform von einem auf der Längsseite liegenden Rechteck zu einem hochkant stehenden.

Der Faltungsprozess – beziehungsweise der Formfindungsprozess – kann dementsprechend nach folgenden, unterschiedlichen Kriterien beeinflusst werden:

1. Architektur: Das Schiff der Kapelle entwickelt sich aus architektonischem Gestaltungswillen von einem von der Horizontalen zu einem von der Vertikalen dominierten Raum, an dessen Ende Licht in den Altarraum scheint.
 2. Konstruktion: Das Regenwasser soll über die Form fließend entsorgt werden. Mit der Modulation der Riffelung konnte das dafür notwendige Gefälle in der Faltung erreicht werden. Das Wasser fließt in Querrichtung jeweils in die eine oder andere Richtung ab.
 3. Tragwerk: Die Steifigkeit der Tragstruktur entsteht durch die Faltung. Der Faltmechanismus erlaubt somit, die Steifigkeiten lokal zu erhöhen, indem zum Beispiel tiefere Falten vorgesehen werden oder die Anzahl der Falten lokal erhöht wird. Hierdurch lassen sich grössere Spannweiten verwirklichen, oder es können dünnere Holzplatten eingebaut werden.
- Mit diesem interdisziplinären Formfindungsprozess fallen die wichtigsten Entscheidungen, die das Tragwerk und die Proportionen im Wesentlichen bestimmen, in einer sehr frühen Entwurfsphase. Sie können auf sehr effiziente Weise direkt in den Formgebungsprozess eingebracht werden. Das allerdings befreit das Planungsteam und insbesondere den verantwortlichen Bauingenieur keineswegs davon, die allgemeingültigen Nachweise der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit durchzuführen.

STATISCHES SYSTEM DER RÄUMLICHEN KONSTRUKTION

Um das mechanische Verhalten des aus dem Formgebungsprozess entwickelten Faltwerks zu analysieren, wurde die digitale Datei aus dem Modellierwerkzeug direkt in das Statikprogramm Diamond (Buildsoft) importiert und als Vernetzung flächiger, finiter Elemente eingelesen. Das Tragwerk sollte aus Brettsperrholzplatten konstruiert werden und wurde mit den entsprechenden Eigenschaften und Stärken von 40mm für vertikal und 60mm für horizontal angeordnete Bauteile in das Statikprogramm eingegeben. Mit den Berechnungsanalysen wurden die Eingaben verifiziert und die definitiven Plattendicken schliesslich in das Modellierwerkzeug eingegeben.

Die Kanten der Faltungen (die Geraden und die Kehlen) wurden in der Berechnung als Gelenke modelliert (Bild 5). Trotz durchgängig gelenkiger Lagerung ist die Gesamtsteifigkeit mit der speziellen räumlichen Anordnung der Tragelemente gegeben. Alle Drehungen sind frei modelliert – lediglich die Freiheitsgrade der Translationen (Parallelverschiebung in Kantenrichtung) wurden im Modell blockiert. Tatsächlich entstehen entlang der Falten jedoch Einspannmomente, da die Holzplatten mit dünnen Stahlblechen miteinander verbunden sind. Je nach Drehrichtung der Momente entstehen durch den einseitigen Anschluss der Holz- mit den Stahlplatten unterschiedlich grosse Hebelarme. Diese lokalen Einspannmomente wurden in diesem Modell jedoch vernachlässigt.

Aus dem Statikprogramm konnten sowohl die Schnittkräfte (Bild 6) als auch die Verformungen ermittelt werden. Die 60mm starken Platten des Daches tragen über rund 9m Spannweite, was einer Schlankheit von 1/150 entspricht. Die enorme Effizienz der Faltstrukturen wird gerade durch diese hohe Schlankheit deutlich. Der Punkt mit der grössten Verformung der gesamten Struktur befindet sich an der Aussenkante des Faltwerks direkt über dem Eingang. Da hier keine weitere Faltung ansetzt, wirkt der Rand frei und ist nicht ausgesteift (Bild 7).

ARCHITEKTUR UND KONSTRUKTION

Der Innenraum ist sowohl horizontal als auch vertikal zum Altar hin ausgerichtet. Der Rhythmus der Stützen wird durch die Faltungen aufgenommen, wobei die beiden Längsfassaden jeweils eine leichte Bogenform beschreiben. Dadurch verengt sich der Raum zum Altar hin, und die Faltung wird vertikal aufgestossen. Der progressive Übergang von der Horizontalen zur Vertikalen fokussiert die Aufmerksamkeit zur kürzeren «Giebelwand», wo der Altar steht. Dabei beleben die gegenläufigen Falten den Raum nicht nur optisch, sie verbessern auch seine Akustik und lösen das Problem des Dachwasserabflusses.

08 Eingang in die Kapelle, die als Provisorium während des Umbaus des Mutterhauses dient. Um einen Abbruch mit der Möglichkeit für einen Wiederaufbau der Kapelle zu gewährleisten, wurden die Verbindungsstellen nicht mit Nägeln, sondern mit Schrauben gefertigt. Die Frage, wie der Bau nach dem provisorischen Einsatz genutzt werden soll, ist noch offen (Bild: Fred Hatt)

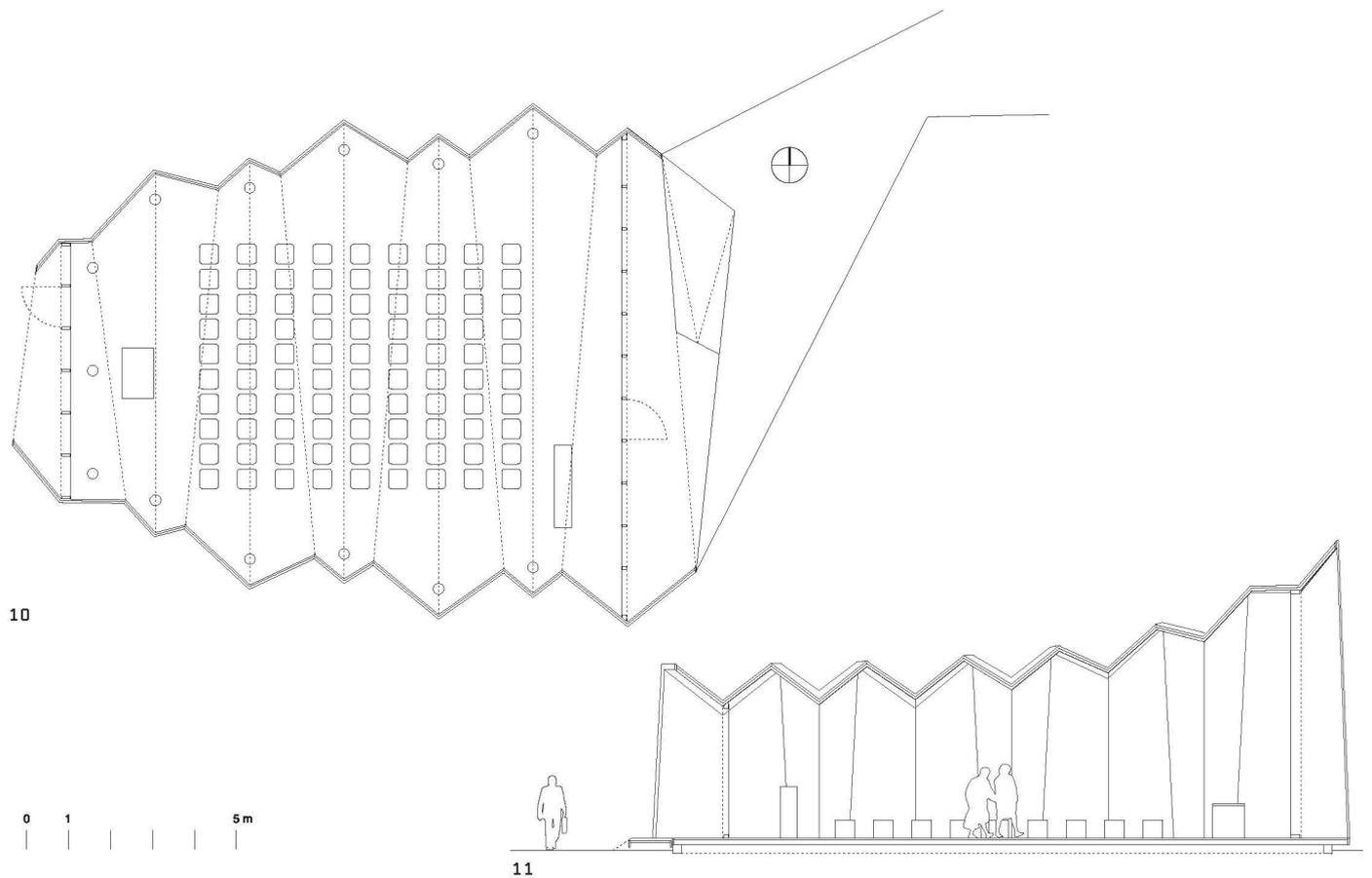
09 Die Faltung richtet sich gegen die Rückseite – mit ihrer transluzenten Fassade aus Polykarbonat und einem Windschutztextil – in die Höhe und stellt sinnbildlich den Glockenturm dar (Bild: Fred Hatt)



08



09



10 Grundriss (Bild: Localarchitecture)

11 Schnitt (Bild: Localarchitecture)

Literatur

1 Buri, Hani, Weinand, Yves: Origami: Faltstrukturen aus Holzwerkstoffen. Bulletin Holzforschung Schweiz, Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung SAH, Dübendorf 2006, 2/2006, p. 8–12

2 Buri, Hani, Weinand, Yves: Origami – Folded Plate Structures. Architecture, 10th World Conference on Timber Engineering, Miyazaki, WCTE, Japan, 2008, zur Verfügung auf: www.ewpa.com/Archive/2008/june/Paper_286.pdf

3 Haasis, Marcel, Weinand, Yves: Origami – Folded Plate Structures. Engineering, 10th World Conference on Timber Engineering, Miyazaki, Japan, 2008, zur Verfügung auf: www.ewpa.com/Archive/2008/june/Paper_287.pdf

AM PROJEKT BETEILIGTE**Bauherrin:**

Diakonissengemeinschaft St-Loup, Pompaples

Planergemeinschaft:

– Architektengruppe: Localarchitecture; Bureau d'architecture Danilo Mondada, Lausanne
– Shel: Hani Buri, Yves Weinand; Architecture, Engineering and Production Design, Genf

Das Projekt wurde finanziell durch das Bundesamt für Umwelt BAFU unterstützt.

Die Verbindung der vertikalen Elemente des Faltwerkes wurde mit gefalteten Lochblechen und Schrauben bewerkstelligt. Innen sind die Platten roh belassen, die Aussenhaut besteht aus einer Dichtungsbahn und 19mm starken, imprägnierten Dreischichtplatten. Die beiden «Giebelwände» bestehen aus unregelmässigen Kantholzrahmen, auf denen innen ein transparentes Polycarbonat und aussen ein Windschutztextil angebracht ist. Formal erinnern sie an klassische Kirchenfenster, doch ihr Nutzen ist auch praktisch: Die Maschenweite des Textils verhindert Einblicke und garantiert die Intimität des Gottesdienstes – von innen her gesehen scheint sich die Landschaft in ein impressionistisches Bild aufzulösen.

ERFAHRUNGEN AUS DER PRAXIS

Die Erfahrungen bei Entwurf und Bau der Kapelle waren sehr positiv. Das digitale Modellierungswerkzeug ermöglichte es, in der Entwurfsphase gut auf formale, funktionelle und konstruktive Anforderungen einzugehen und das Projekt zu vertiefen. Es zeigte sich auch, dass neue und eigenständige architektonische Formen erzeugt werden können, die ohne das Werkzeug nur schwer vorstellbar wären. Der Produktionsprozess wird ausserdem rationalisiert, indem die digitalen Dateien für den Zuschnitt der Brettsperrholzplatten direkt im Modellierungswerkzeug gezeichnet und danach an den Produzenten geliefert werden – ein nochmaliges Zeichnen der Pläne für die Herstellung entfällt.

Die Kapelle von St-Loup wurde mit diesem gemeinsamen Entwurfsprozess zum Resultat einer gelungenen Zusammenarbeit zwischen Architekten, Forschern und Ingenieuren. Dabei spielte die Begeisterungsfähigkeit und Innovationsbereitschaft der Bauherrinnen eine wesentliche Rolle in der Umsetzung. Die Diakonissen sind von der neuen Kapelle sehr eingenommen: Die Klarheit und Einfachheit von Raum und Konstruktion dieser komplexen Form findet in ihrem Glaubensbekenntnis Resonanz.

Hani Buri, hani.buri@epfl.ch, Architekt EPFL BSA, EPF Lausanne, IBOIS

Yves Weinand, yves@weinand.be, Prof. Dr., Architekt ISA, Bauingenieur EPFL, EPF Lausanne, IBOIS