

# Zukunftsperspektiven aus der Forschung

Prof. Dr. Dipl.-Ing. Yves Weinand  
Lehrstuhl für Holzkonstruktionen IBOIS, EPF Lausanne

Hani Buri, Architekt  
Lehrstuhl für Holzkonstruktionen IBOIS, EPF Lausanne

Ivo Stotz, Architekt  
Lehrstuhl für Holzkonstruktionen IBOIS, EPF Lausanne

## 1 EINLEITUNG

Wie aus dieser Tagung sicherlich zu erkennen ist, kommen Brettsperrholzplatten zunehmend zur Anwendung. Als Wand- oder Fussbodenelemente können diese Platten schnell und umweltbewusst eingebaut werden. Ihre Anwendung hat mittlerweile den experimentellen Bereich verlassen und neue Märkte konnten erschlossen werden. In Einzelbereichen entsteht eine wirkliche Konkurrenzsituation zu bestehenden Produkten wie zum Beispiel Betonfertigteilen.

Eine Forschungseinrichtung wie das IBOIS hat unter anderem auch die Aufgabe, nach neuen Anwendungsmöglichkeiten für solche Platten zu suchen. Im Regelfall wird die Anwendung von Brettsperrholzplatten im klassischen Wohnungsbau und jetzt auch zunehmend im Bereich öffentlicher Bauten vorgesehen. Hier werden solche Platten orthogonal zueinander eingebaut.

In der Folge werden drei Projekte vorgestellt, bei denen Brettsperrholzplatten in schräg zueinander liegenden Stellungen eingebaut werden.

Das erste Projekt, ein Bestattungszentrum in Welkenraedt, Belgien, wird derzeit durch das Bureau d'Etudes Weinand geplant und ausgeführt. (Architekt: Arbeitsgemeinschaft Dethier-Weinand; Statik: Bureau d'Etudes Weinand). Bei diesem Projekt werden Brettsperrholzplatten ein Dach mit Faltwirkung (eine Faltkonstruktion) bilden.

Das zweite Projekt wird als Doktorarbeit (Doktorand: Hani Buri Architekt EPFL, Direktor: Prof Yves Weinand) unter dem Arbeitstitel *Origami* durchgeführt. In diesem Projekt entstehen komplexe Faltwerke, die aus Beobachtungen der Faltechnik des *Origami* hergeleitet werden.

Das dritte Projekt wird als Doktorarbeit (Doktorand: Ivo Stotz Architekt EPFL, Direktor: Prof Yves Weinand) unter dem Arbeitstitel ‚Fraktalgeometrie und ihre Anwendung im Holzbau‘ durchgeführt; Gilles Gouaty erarbeitet ebenfalls eine These in dieser Forschungsgruppe im Bereich Informatik/Geometrie. Das Projekt wird zur Realisierung freier Formen führen, die aus unterschiedlichen mathematischen Unterteilungsalgorithmen hergeleitet werden. Letztendlich entstehen komplexe räumliche Gebilde, die ebenfalls aus Brettsperrholzplatten ausgeführt werden sollen.

## 2 DAS BESTATTUNGSZENTRUM WELKENRAEDT

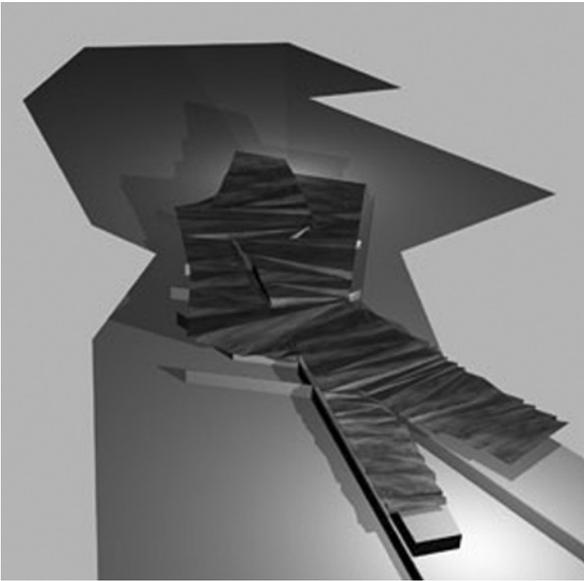


Abb. 1: Gesamtansicht des Gebäudes.

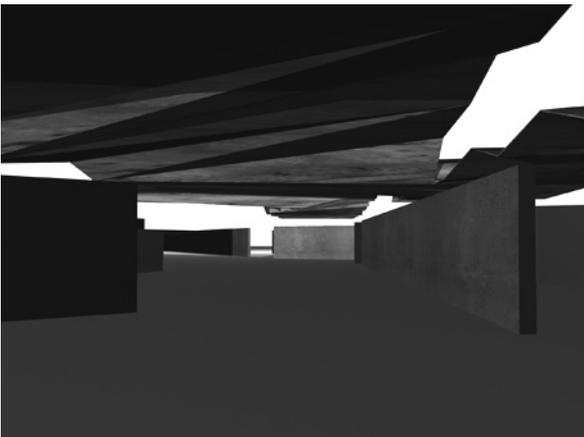


Abb. 2: Innenansicht.

Das Gebäude soll in eine anspruchsvolle Landschaft eingebettet werden. Das Dreiländereck Lüttich-Maastricht-Aachen gilt als Einzugszone zu dem in Welkenraedt (Belgien) zu errichtendem Bestattungszentrum. Hier soll neben einem Krematorium ebenfalls ein den verschiedenen Konfessionen zugängliches Bestattungszentrum errichtet werden.

Das hierzu bereitgestellte Grundstück befindet sich ausserhalb der urbanen Zone in einem ländlichen Gebiet. Das Grundstück ermöglicht weite Ausblicke auf die umliegende Wald- und Wiesenlandschaft, was auch vom Gebäude aus möglich sein soll. Die Architekten entwarfen demzufolge ein offenes Gebäude, das Ausblick auf sehr unterschiedliche Landschaften gewährt. Einzelne tragende Wände strukturieren die Innenräume über die Grundstückstiefe, die im folgenden ‚Längsrichtung‘ genannt wird. Die Aussenfassaden sind fast vollständig verglast. Das eingeschossige Gebäude wird von einem Holzdach abgedeckt. Die nach innen sichtbare Holzfläche prägt die Atmosphäre des gesamten Innenbereiches. Es handelt sich um eine Faltkonstruktion, die aus zu Dreiecken geschnittenen Brettsperrholzplatten zusammengesetzt wird.

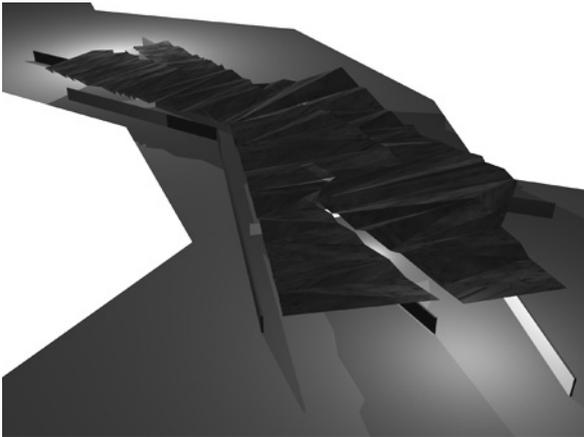


Abb. 3: Dachstruktur.

Auf der Erdgeschossebene liegt ein rund 4500 m<sup>2</sup> grosses Dach auf. Die Fläche wird zunächst zusammengefasst und bricht dann in zwei „Arme“ auf. Im ersten Bereich spannt das Faltdach in Querrichtung über rund 18.0 m und ermöglicht Auskragungen bis zu 4.0 m. Ab der Aufspaltung der beiden Arme werden die beiden Hauptsäule von jeweils über rund 12 spannenden Faltkonstruktionen überdacht. Das Tragwerk erreicht seine Steifigkeit auf Grund der Faltung. Die Brettsper Holzplatten wurden als Flächenelemente modelliert. Nach einer ersten Vorbemessung reicht eine Plattendicke von rund 18 cm aus. Dies lässt bereits erkennen, dass sehr effiziente Tragwerke in dieser Form entstehen können.

Die Geometrie mit den zu beiden Seiten abfallenden Nuten ermöglicht ein beidseitiges Abfließen des Regenwassers.



Abb. 4: Längsschnitte durch die Dachgeometrie.

In Längsrichtung wurde ebenfalls aus räumlichen Überlegungen heraus eine geometrische Entwicklung vorgeschlagen, die aus den Längsschnitten zu verstehen ist. Die Besucher werden durch verschiedene Raumatmosphären ‚gleiten‘, die über unterschiedliche Höhen der Dachkonstruktion ebenfalls in Längsrichtung unterstrichen wird. Hierzu wurde eigens ein digitales 3D-Modell der Dachkonstruktion angefertigt, die die räumliche Entwicklung verifizieren lässt. So steigt das Dach in einer Mittelzone leicht an.

Aus diesen Darstellungen ergeht auch, dass die Kette ‚Präsentationsbilder‘ bis ‚Ausführungsplanung‘ mit Hilfe der heute zur Verfügung stehenden digitalen Mittel als eine *einzig*e Kette von Operationen zu sehen ist, die eng miteinander verbunden sind. Das digitale Modell dient als Basis von Entwurf, Bemessung und Ausführungsplanung.

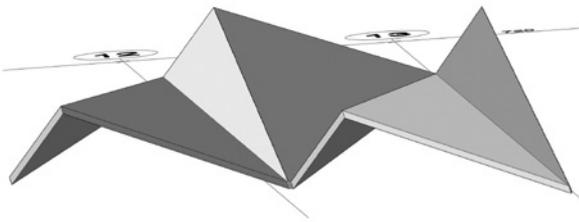


Abb. 5: Teilbereich der Dachgeometrie als 3d-Modell

Letztendlich ermöglicht dasselbe 3d-Modell die unterschiedlichsten Anwendungen. Abbildung 5 zeigt einen Teilausschnitt dieses Modells. Die Tiefpunkte der Konstruktion sind Teile ein und derselben horizontalen Ebene. Diese Tiefpunkte liegen auf einem Achsensystem, welches über die Gesamtfläche durchnummeriert wurde. In Bezug zu diesem Achsensystem können alle Punkte in ein kartesisches Koordinatensystem eingeordnet werden. Insbesondere ist es interessant, Einzelpunkte der Geometrie zu betrachten. Abbildung 6 zeigt die Entwicklung am Auflagerpunkt des Daches. Die Doppelfaltung verschwindet nahezu und die beiden Tiefpunkte liegen nicht symmetrisch zur Achse 2, wie man das intuitiv in einer klassischen Zeichnung hätte vermuten können.

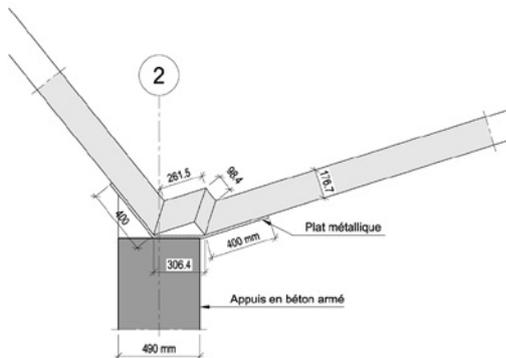


Abb. 6: Prinzipdetails eines Auflagerpunktes.

Der Neubau des Bestattungszentrums Welkenraedt realisiert eine Synthese von Struktur, Raum und Form. Aus den hier in aller Kürze vorgestellten Beschreibungen geht hervor, dass die Synthese zwischen diesen drei Polen auf Grund der Verwendung von Brettsperrholzplatten realisiert werden kann. Dies öffnet Perspektiven einer Vielzahl von neuartigen Anwendungen in der Architektur und im konstruktiven Ingenieurbau.

### 3 ORIGAMI - FALTWERKE

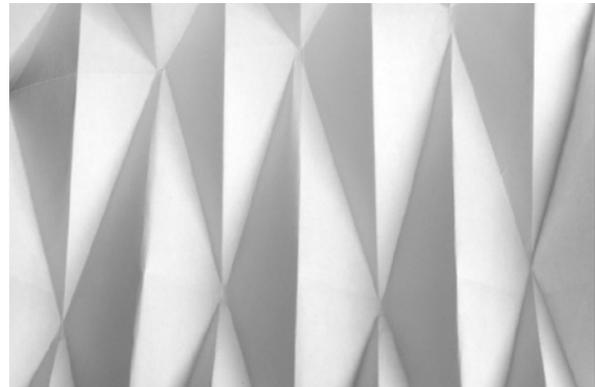
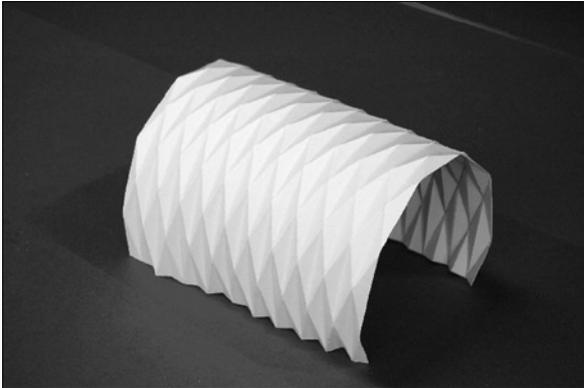


Abb. 1: Yoshimura Pattern

Ziel dieser Arbeit ist die Herstellung von Faltwerken aus Holzwerkstoffplatten. Eine beliebige Anordnung der Platten im Raum soll durch geeignete Verbindungen ermöglicht werden.

*Origami*, die Kunst des Papierfaltens, ist die Inspirationsquelle dieser Strukturen. Die Faltung verleiht dem Papier Steifigkeit und ermöglicht die Entwicklung neuer räumlicher Gebilde. Diese im Grunde sehr einfache Technik führt zu einer erstaunlich formellen Vielfalt und Komplexität: Die gestalterischen Möglichkeiten scheinen unbegrenzt. Sowohl Künstler als auch Wissenschaftler interessieren sich für *Origami* und integrieren die dabei gewonnenen Erkenntnisse und Prinzipien in ihre Arbeit. Mathematiker haben neue Algorithmen entwickelt und benutzen *Origami* im Geometrieunterricht. Auch die Natur bedient sich des Prinzips des Faltens um leichte Strukturen zu bilden: die Entfaltung von Pflanzenblättern und Insektenflügeln erzeugt große, stabile Flächen mit minimalem Materialaufwand.

Durch Variieren und Kombinieren einfacher Faltprinzipien können komplexe Geometrien erzeugt werden. Einfachheit, Homogenität, Biegsamkeit, Formenvielfalt und ökonomischer Materialaufwand sind die Charaktermerkmale von *Origami*. Diese Arbeit hat zum Ziel, die genannten Eigenschaften auf die Konstruktion mit Holzwerkstoffen zu übertragen. In interdisziplinärer Zusammenarbeit von Architekten, Informatikern und Ingenieuren entwickelt die Studie neue Faltstrukturen, Modelle zu deren geometrischen Beschreibung, konstruktive Verbindungen und Berechnungsmodelle.

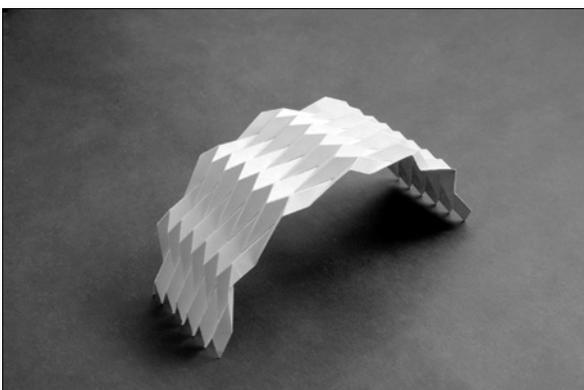


Abb. 2: Muira Ori Pattern

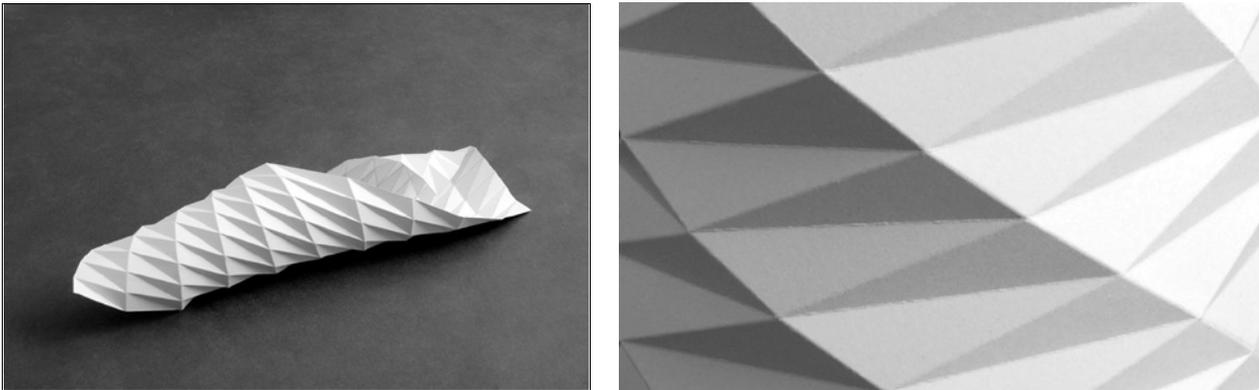


Abb. 3: *Diagonal Muster*

Anhand einer Reihe gefalteter Papiermodelle wird das formale und räumliche Potential dieser Technik ausgelotet. Es konnten drei Faltmuster, welche für Architekten und Tragwerksplaner besonders interessant sind, identifiziert werden: „Yoshimura Pattern“ (Rautenmuster, Abb. 1) „Muir Ori Pattern“ (Fischgrätenmuster, Abb. 2) und Diagonal Muster (Abb. 3). Alle drei beruhen auf einer einfachen Akkordeon-Faltung: Die parallelen, gestreckten Berg- und Talfalten werden geknickt und umgepolt. Bergfalten werden zu Talfalten und umgekehrt. Dadurch wird die gerippte, zweidimensionale Fläche zum räumlichen Faltenwerk. Geometrische Analysen zeigen, dass solche Formen durch zwei polygonale Linien erzeugt werden können (Abb. 4). Dadurch können komplexe Faltenwerke sowohl im Raum wie auch als entfaltete Fläche rasch und einfach dargestellt werden. Der Typus der Faltenwerke wird durch die Form der die Fläche generierenden, polygonalen Linien und deren inhärenten Grenzwerte bestimmt.

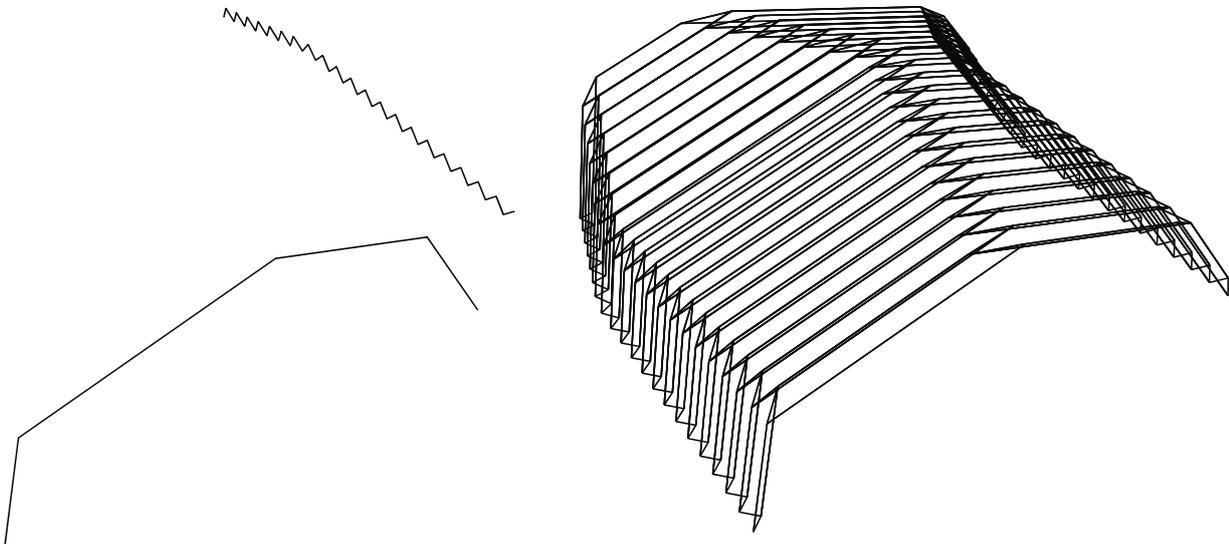


Abb. 4: *Erzeugung eines Faltenwerks durch zwei polygonale Linien*

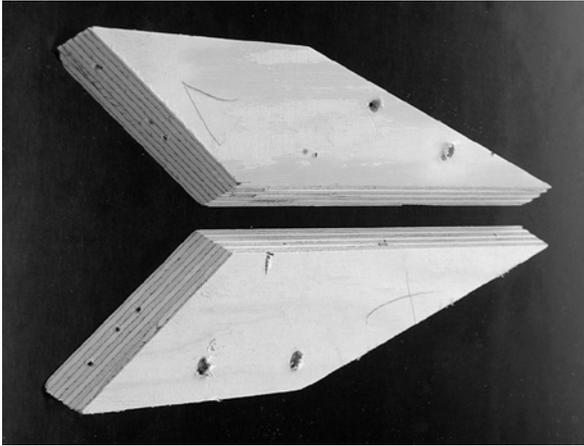


Abb. 5: Grundbausteine des Prototypen

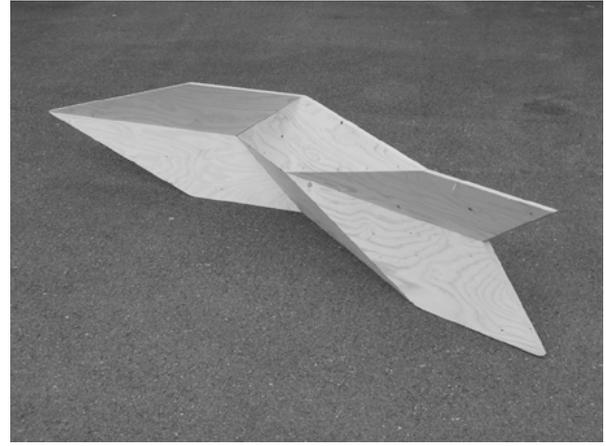


Abb.6: sechs zusammengesetzte Grundbausteine

Durch den Bau von Prototypen werden die Verbindungen der Platten und deren Aufbau zum Faltnetz geprüft (Abb. 5-9). Verformbarkeit und Bruchfestigkeit werden anhand von Belastungsversuchen ermittelt. Die Ergebnisse dieser Versuche bilden die Grundlage für die ingenieurtechnische Entwicklung der Arbeit.

Die Arbeiten zeigen, dass Faltnetze welche auf *Origami* beruhen, machbar und für Architekten sowie für Tragwerksplaner gleichermassen attraktiv sind. Mittels der vorgeschlagenen Methoden können komplexe Geometrien rasch und einfach generiert werden.

Dieses Projekt wird durch Holz 21, ein Förderprogramm des Bundesamts für Umwelt BAFU unterstützt

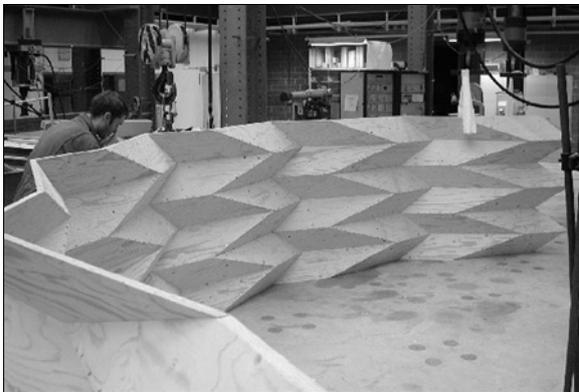


Abb. 7: Aufbau zum Faltnetz

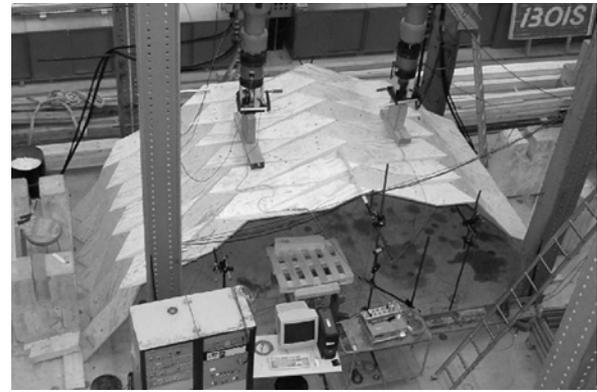


Abb. 8: Belastungsversuch

## 4 FRAKTALE

„Anwendungen der Fraktal-Geometrie im Bauwesen“ ist der Titel des interdisziplinären Forschungsprojekts, an welchem die Bereiche der Mathematik, der Informatik und des Bauwesens beteiligt sind. Ziel des Projektes ist es, virtuelle fraktale Modelle in physischer Form als Architektur- und Designobjekte umzusetzen und zu bauen. Die virtuellen fraktalen Modelle basieren auf iterativen Algorithmen, die an der Universität Claude Bernard, FR-Lyon zur Generierung virtueller Bilder entwickelt wurden.

Seit den achtziger Jahren zeigen Architekten wachsendes Interesse an komplexen Geometrien. Bis dato ist es technisch sehr anspruchsvoll, komplexe Geometrien zu bauen. Durch bestehende CAD-Programme erstellte Freiformen basieren auf einem klassischen Geometriemodell. Sie sind meist lokal flache und glatte Gebilde. Um diese Freiformen physisch zu bauen, muss ihre Geometrie zuerst in Bauteile unterteilt werden (diskretisiert), was zu einem mehr oder weniger genauen Ergebnis führt. Fraktales Modellieren bietet einen neuen Lösungsansatz, um komplexe Geometrien in einer konstruierbaren Form zu entwickeln.

Die Fraktalgeometrie gründet auf BARNSELY's Formalismus, welcher Systeme iterativer Funktionen benutzt, so genannte IFS (engl.: Iterated Function System). Dieser Formalismus arbeitet mit einer Gruppe von einfachen und verständlichen Funktionen, welche in der Lage sind, ungewöhnliche und komplexe Objekte zu erzeugen. Die Art, solche Objekte zu beschreiben, beschränkt sich somit auf einige wenige Parameter der Funktionen. Die damit erzeugten Objekte werden stets in Form von einer endlichen Anzahl finiter Elemente ausgedrückt.

Komplexe geometrische Gebilde in Form von finiten Elementen darzustellen, bringt die nachfolgenden Vorteile für den Konstruktionsprozess komplexer Bauten. Diskretes fraktales Modellieren soll die integrierte Produktion von Architekturobjekten erleichtern, indem dasselbe Modell, welches bereits für den virtuellen Entwurf genutzt wird, sowohl zur Fertigung von Rapid Prototyping Modellen als auch zur Fertigung der eigentlichen Bauteile dient. Die Konstruktionsmethode der Fraktalgeometrie generiert Netzobjekte, welche einerseits direkt als Grundlage für FEM-Strukturberechnungen genutzt werden können, und welche andererseits eine ideale Basis zur Fertigung der Einzelteile durch computergesteuerte Abbundmaschinen bieten. Die vorgeschlagene Methode erlaubt die schrittweise Konstruktion von fraktalen, sowie klassischen polynomischen Objekten (NURBS, etc.), was klassische, sowie komplett neue gestalterische Möglichkeiten einschließt.

Das Projekt untersucht ein im Bauwesen gänzlich unerforschtes Gebiet. Der innovative Ansatz zielt darauf ab, Fraktalgeometrie, Holz und integrierte Produktion zu kombinieren, um somit ein Spektrum neuer Anwendungen von Holz im Bauwesen zu ermöglichen. Dabei wird für die gestalterische Forschung, die Architektur, das Design und die Erzeugung innovativer Formen eine neue Grundlage geschaffen.

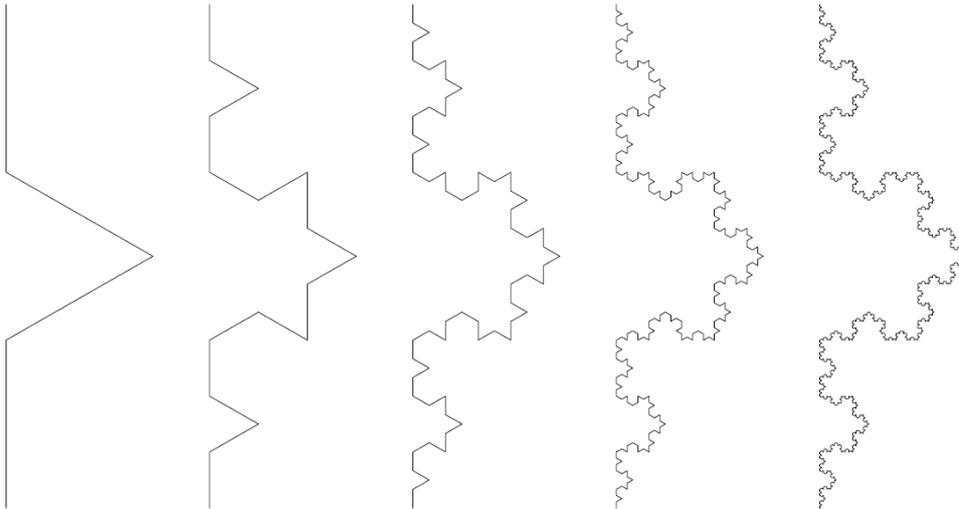


Abb.1: Iterative Konstruktion einer fraktalen Kurve. Die Abbildung zeigt die ersten fünf Konstruktionsschritte einer Von-Koch-Kurve.

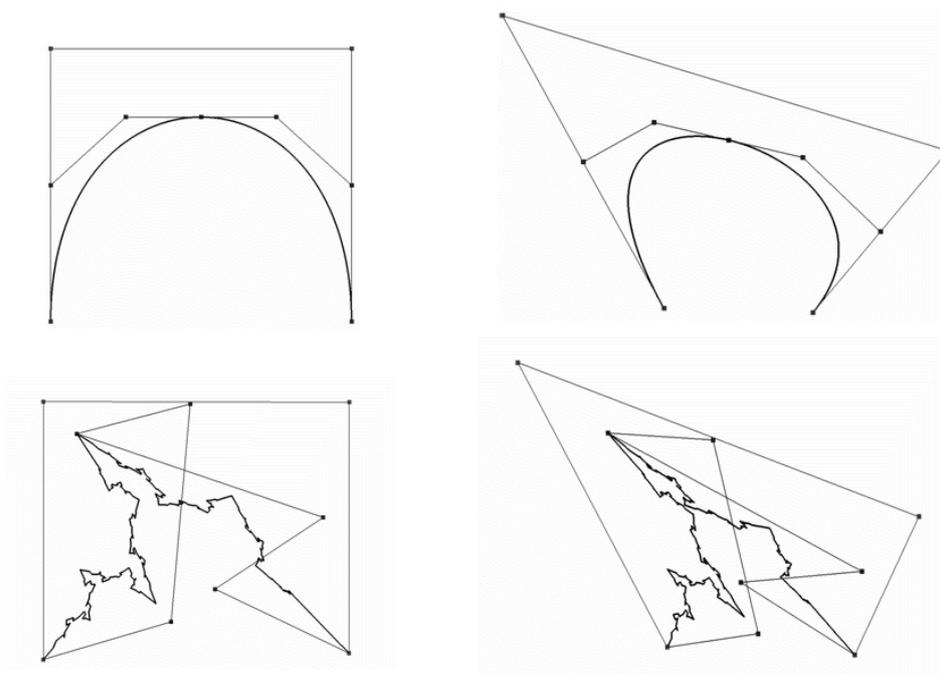
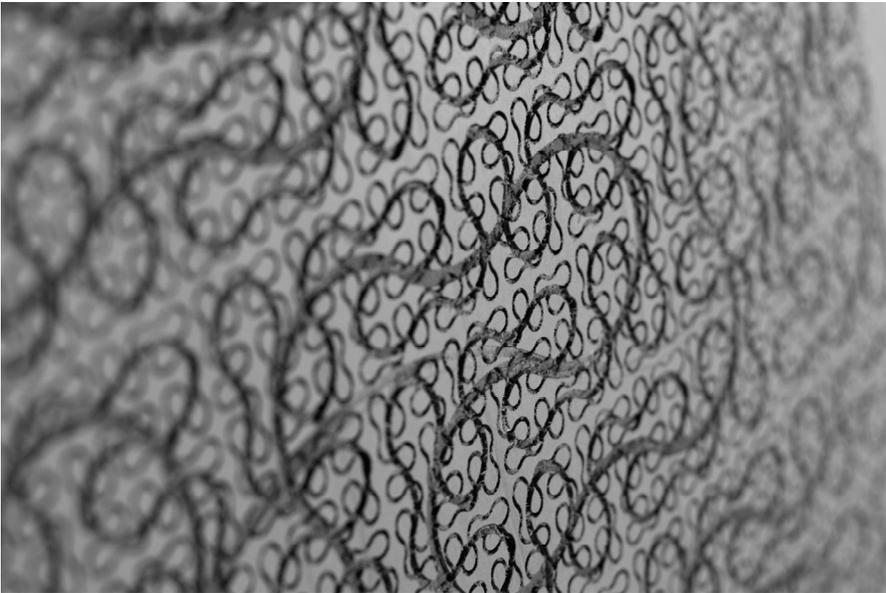


Abb.2: Die Parameter, welche fraktale Objekte beschreiben, können durch Punkte am Bildschirm manipuliert werden. Dabei unterscheiden wir zwischen zwei Arten von Parametern: Kontrollpunkte, in rot, sowie Subdivisionpunkte, in blau dargestellt. Unsere Methode ermöglicht je nach dem die Konstruktion von fraktalen sowie von klassischen Frei-Form-Kurven, wobei die Kontrollpunkte global auf das Gebilde wirken, während die Subdivisionpunkte den lokalen Aspekt der Kurve beeinflussen – von glatt bis rauh.

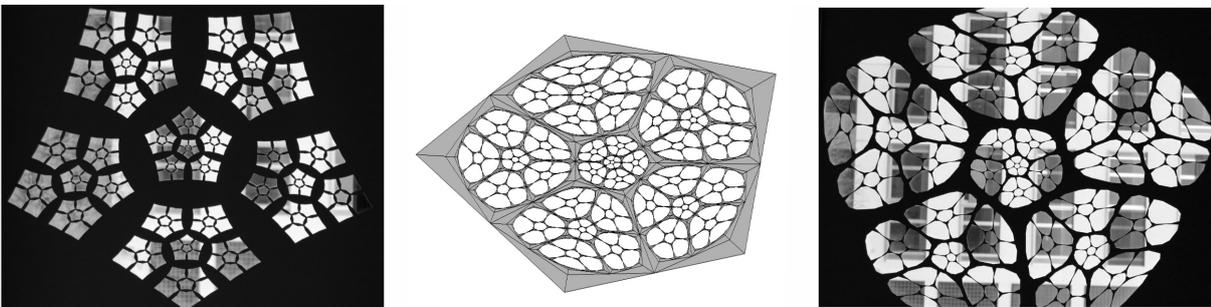
Anwendungsbeispiele:

1. Dekorpaneele



*Abb.3: Dieses Beispiel zeigt die direkte Applikation einer Hilbert-Kurve auf eine Sperrholzplatte. Dabei wurden die verschiedenen Konstruktionsschritte in unterschiedlicher Tiefe, mit verschieden dicken Fräsen in das Holz gearbeitet.*

2. Schattenpaneele



*Abb.4: Beispiel für zwei verschiedene Schattenpaneele [rechts und links]. Das geometrische Modell stellt eine Variation von Dürers Pentagon dar [Mitte].*

3. Bezier-Tonnengewölbe, verschraubte Vollholzkonstruktion

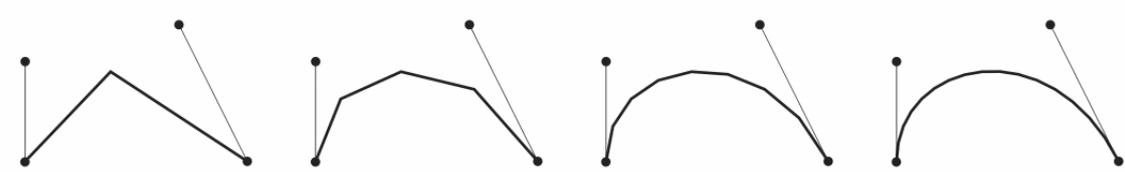


Abb.5: Schrittweise Konstruktion einer Bezier-Kurve. Die iterative Konstruktionsmethode zur Generierung der Geometrie ergibt jeweils einen Satz linearer Elemente, von welchen die geometrischen Daten (Länge und Winkel) zur computergestützten Produktion der Bauteile direkt genutzt werden.

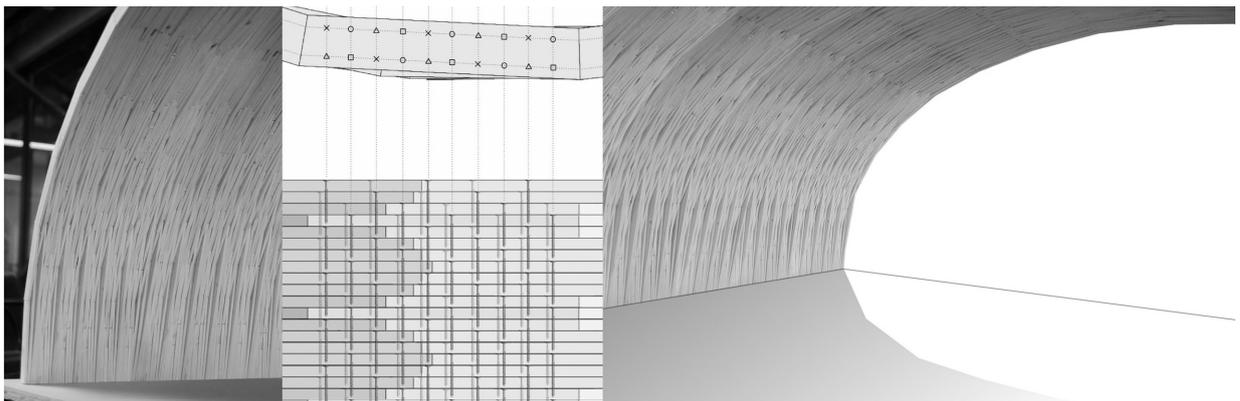


Abb.6: Modellfoto, Detailzeichnung der geschraubten Verbindung, Fotomontage des Tonnengewölbes.

4. B-Spline Schalenkonstruktion

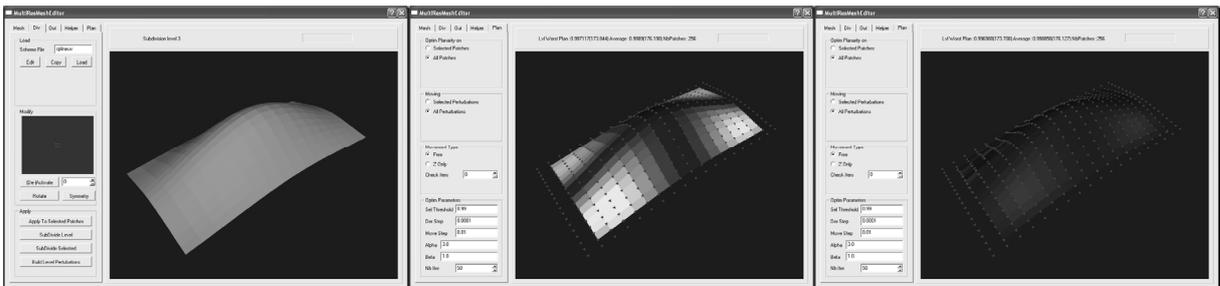
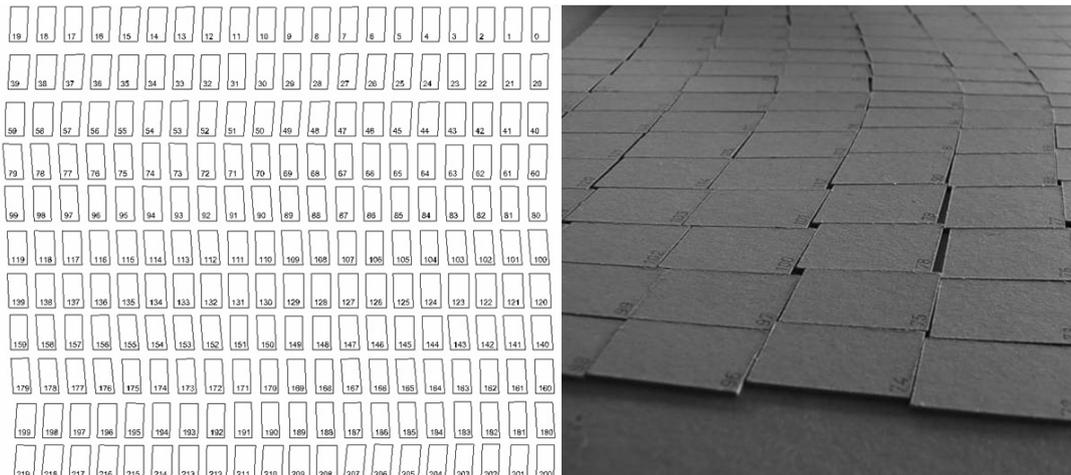
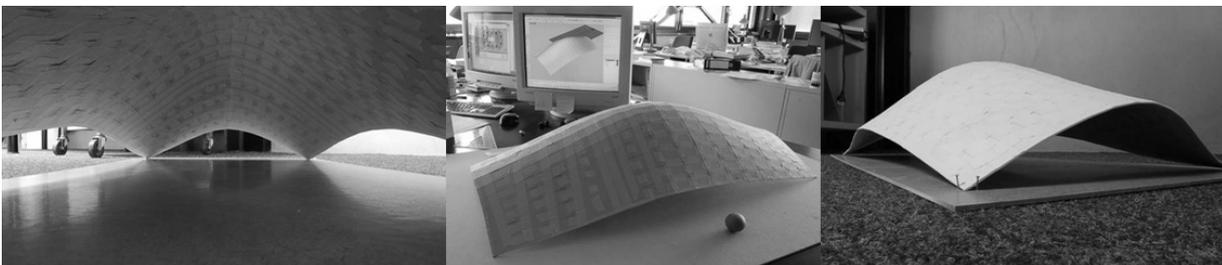


Abb.7: [Links] Computergenerierte B-Splin-Fläche. Krümmungs-Analyse der einzelnen Bauteile vor und nach Optimierung [Mitte, Rechts].



**Abb.8:** Jedes der verschiedenen Bauteile erhält eine Adresse und wird als einzelne Fertigungsdatei gespeichert und mit Hilfe einer CNC-Maschine gefertigt.



**Abb.9:** Die zusammengefügte Bauteile bilden die am Rechner entworfene Schale in physischer Form nach. Die Methode und die Geometrie der Bauteile werden durch den Bau eines Modells überprüft.

## 5 SCHLUSSFOLGERUNG

Die drei hier vorgestellten Projekte zeigen andere und womöglich neue Möglichkeiten der Anwendung von Brettsperrholzplatten in einem architektonisch angepassten Rahmen auf.