

# m.any

Professur für CAAD, ETH Zürich | [www.caad.arch.ethz.ch](http://www.caad.arch.ethz.ch)

Master of Advanced Studies ETH in Architektur, Spezialisierung in Computer Aided Architectural Design (MAS ETH ARCH/CAAD)

Leitung: Prof. Dr. Hovestadt, Philipp Schaerer

Nachdiplomstudenten 2004-05:

Tobias Bonwetsch, Sebastian Gmelin, Bergit Hillner, Bart Mermans, Jan Przerwa, Arno Schlüter, Rafael Schmidt

**m.any** beschreibt einen vom Entwurf bis zur Produktion geschlossenen digitalen Bearbeitungsprozess einer irregulären zellulären Raumstruktur.

Das Projekt war Gegenstand der Gruppenabschlussarbeit des Nachdiplomstudiums für CAAD 2004-05. Innerhalb von nur drei Monaten entwarfen, programmierten und produzierten die Teilnehmenden eine vollständig parametrisierbare Konstruktion. Durch eigens entwickelte Programme und Programmschnittstellen können auf Knopfdruck beliebig viele Varianten erzeugt und produziert werden.

Ein aus 1479 Teilen bestehenden Hauptprototyp mit insgesamt 499 unterschiedlichen Einzelteilen wurde schlussendlich gebaut. Keines der Teile wurde jemals aufgezeichnet, sondern vom Programm vollständig generiert.

## 01 Annäherung und Analyse

Ansatz war die Entwicklung einer zellulären Raumstruktur, die auf einer Addition von unterschiedlich grossen Hohlkörpern beruht. Verschiedene Beispiele aus der Architektur und der Biologie wurden gesammelt und dokumentiert. Eine Auswahl wurde unter den Gesichtspunkten Geometrie, raumbildende Wirkung und Konstruktionsprinzip untersucht. Die Möglichkeit innerhalb eines Systems verschiedene Dichtegrade zu erzeugen, stellte ein wichtiges Grundkriterium dar. Der effiziente Einsatz von Material und die daraus resultierenden formbildenden Prinzipien wurden auf konzeptionelle Konformität und Umsetzbarkeit überprüft. Als wichtige Quellen der Analyse dienten dabei historische und aktuelle Beispiele von Naturanalogien in Entwurf und Konstruktion.

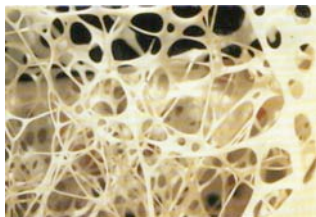


Abbildung 01: Referenzbild; Knochenstruktur eines Vogelschnabels

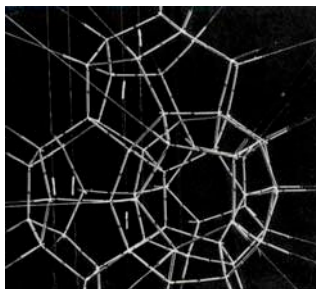


Abbildung 02: Referenzbild; Schaumstudie, Polyedermodell, Architekt Frei Otto

## 02 Material und Verbindungsstudien



Abbildung 03: Verbindungsstudie, Typ 03



Abbildung 04: Verbindungsstudie, Typ 31

Verschiedene Materialien wurden gesammelt und auf eine mögliche computergesteuerte Fertigung überprüft. Der Kontakt zu externen Firmen verhalf zu weiterem wichtigen Know-how. Zusätzlich erforschten die Nachdiplomstudenten verschiedene Konstruktionsprinzipien. Im Zentrum dieser Arbeiten stand das Ziel ein System zu entwickeln, das dem Bild einer irregulären räumlichen Struktur möglichst nahe kam. Es galt einen aus Einzelteilen bestehenden Bausatz zu schaffen, der sich mit den an der ETH-Hönggerberg vorhandenen CNC Maschinen einfach fertigen lässt, gut transportierbar und einfach zusammensetzbar ist.

## 03 Programmierung

Ein eigens von den Nachdiplomstudenten in JAVA geschriebenes Programm generiert die Grundgeometrie der Struktur. Der Entwerfende kann mittels Parameter direkt in die Geometriefindung eingreifen. Je nach Parameter können unterschiedlich viele Varianten erzeugt werden. Jeder Variante liegt ein dreidimensionales Modell zugrunde, das mittels der Software in Echtzeit visualisiert werden kann.

### 03.1 Formfindung

Das Programm basiert auf dem Organisationsprinzip des zellulären Automaten. Die Entwicklung der einzelnen Zelle hängt vom Zustand der benachbarten Zellen ab. Die im Interface dargestellten Kugeln symbolisieren die Zellen. Sie repräsentieren die einzelnen Hohlkörper der Konstruktion. Diese werden von tangential liegenden Ebenen umschrieben, deren Schnittgeraden die Kanten der Konstruktion bilden.

Der Entwerfende bestimmt neben der maximalen Gesamtgrösse der Konstruktion einen Anfangswert der Anzahl Zellen und definiert einen bestimmten Wert für die minimal oder maximal erlaubte Kantenlänge der Hohlkörper. Mittels steuerbaren Kraftvektoren kann zusätzlich die Dichteverteilung der Körper innerhalb der ganzen Struktur gesteuert werden. Die dem zellulären Automaten zugrunde liegende Programmierung garantiert die Organisation der Zellen gemäss den vordefinierten Werten. Wird zum Beispiel das Kriterium der maximalen Kantenlänge überschritten, so teilen sich die betroffenen Zellen und bilden neu einen zusätzlichen Hohlkörper. Dieser Prozess dauert so lange an, bis sich das System stabilisiert.

definierbare Parameter in JAVA:

- maximale Grösse der Konstruktion
- Anzahl Zellen/Hohlkörper
- min. und max. Kantenlänge der Hohlkörper
- min. und max. Winkel zwischen den Eckkanten
- Richtung und Intensität der einwirkenden Kräfte

Jeder Variante liegt ein dreidimensionales Drahtgittermodell zugrunde, das durch Knotenpunkte und Eckkanten eindeutig definiert ist. Diese Daten werden in eine XML Datei gespeichert und können somit an andere Programme weitergegeben werden.

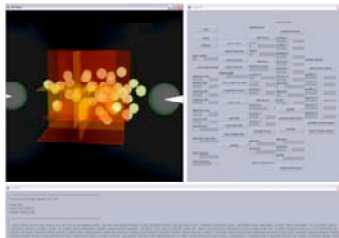


Abbildung 05: Formfindung, JAVA Interface, Einwirkung der steuerbaren Kräfte

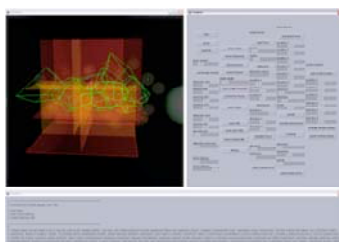


Abbildung 06: Formfindung, JAVA Interface, resultierendes Drahtgittermodell



Abbildung 07: Export, Ausschnitt XML-Datei

### 03.2 Ausformung

Die in der XML Datei festgehaltene Geometrie des Drahtgittermodells wird in die kommerzielle CAD-Software Rhino importiert. Ein eigens programmierter Parser interpretiert die Daten des geometrischen Modells anhand weiterer wählbarer Parameter. Bei diesem Prozess kann der Entwerfende die genaue Ausformung des Modells definieren.

definierbare Parser Parameter:

- Materialstärke der einzelnen Bauteilen
- Geometrie der Flächenöffnungen
- Abstände der Konstruktionselemente

Mit diesen Parametern wird das Drahtgittermodell in ein Volumen überführt. Je nach Eingabewerte können auf Knopfdruck unterschiedliche Volumenmodelle erzeugt werden. Erste kleine Prototypen wurden mittels 3D-Gipsdrucker ausgeplottet und untersucht.

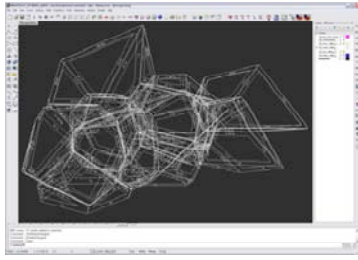


Abbildung 08: Ausformung, Parametrisierung der einzelnen Bauteilen

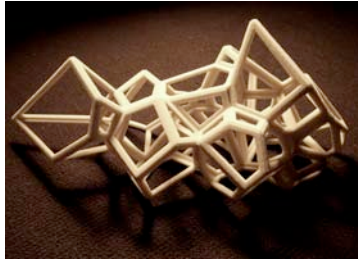


Abbildung 09: Prototyp, 3D-Gipsdrucker Modell

### 03.3 Generierte Zuschnittpläne

Sämtliche Bausatzteile wie die eigens entwickelten Steckverbindungen sollen für den grösseren Endprototyp automatisch aus Platten geschnitten werden. Dieser Produktionsweg erforderte die Erstellung eines maschinenlesbaren Zuschnittsplans. Ein in der Software Rhino erstelltes Programmskript dreht nun jedes Bauteil in eine Zeichnungsebene und erstellt dann die erforderlichen Fräspfade für die spätere CNC-Produktion.



Abbildung 10: Zuschnittplan

### 04 Produktion

Die Bauteile des Endprototyps wurden auf einer CNC 3-Achs Fräse und auf einem CNC-Lasercutter produziert. Sämtliche Details mussten schon vorhergehend auf die Schneidgeometrien der jeweiligen Maschine angepasst werden. Die in den Zuschnittplänen enthaltenen Zeichnungslinien wurden mittels der Software SurfCam in einen maschinenverständlichen Code übersetzt und an die CNC-Fräse als Fräspfade übermittelt.

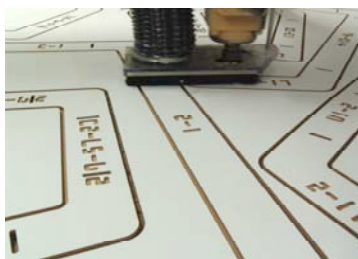


Abbildung 11: Produktion der Bauteile, CNC 3-Achs Fräse



Abbildung 11: Gebauter Endprototyp

**Kontext:**

Die Professur für CAAD:

Die Professur für CAAD des Departements Architektur der ETH Zürich wendet aktuelle Informationstechnologien in der architektonischen Praxis an. Das Interesse reicht von der Entwurfsunterstützung durch die digitalen Medien über die Produktion mit computergesteuerten Maschinen bis hin zum intelligenten Gebäudebetrieb.

Master of Advanced Studies ETH in Architektur, Spezialisierung in Computer Aided Architectural Design (MAS ETH ARCH/CAAD):

Der Ausbildungsschwerpunkt des MAS Kurses liegt auf dem computer-gestützten, architektonischen Entwurf (CAD) und seiner automatisierten Produktion (CAM).

Das Nachdiplomstudium ist ein Vollzeitstudium. Das Programm unterteilt sich in mehrere Module, die in seminaristischer Form durchgeführt werden und spezifische Kenntnisse vermitteln. Das Studium endet mit einer Gruppenarbeit, die die erworbenen Kenntnisse zu bündeln versucht.

Philipp Schaerer  
Zürich, den 30. September 2005