

01

Bewegliche Tragwerke

LEHRE

Bewegliche Tragwerke

Schriftenreihe Tragkonstruktion | Lehre 01

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Impressum

Herausgeber:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thorsten Weimar
Lehrstuhl für Tragkonstruktion
Universität Siegen
57068 Siegen

Autoren
Dipl.-Ing. Katja Wirfler, Architektin
Dr.-Ing. Martino Peña Fernandez Serrano

Gestaltung
Dipl.-Ing. Katja Wirfler, Architektin
Dr.-Ing. Martino Peña Fernandez Serrano

Übersetzung aus dem Spanischen
Dipl.-Ing. Katja Wirfler, Architektin

Druck und Bindung
UniPrint, Universität Siegen

Gedruckt auf alterungsbeständigem holz- und säurefreiem Papier.

Siegen 2019:
universi - Universitätsverlag Siegen
www.uni-siegen.de/universi

ISBN 978-3-96182-038-2

Diese Publikation erscheint unter der
Creative Common Lizenz CC-BY-SA



Inhalt

Thorsten Weimar Vorwort	7
1 Katja Wirfler Entwerfen - Konstruieren - Modellbauen	9
2 Martino Peña Fernandez Serrano Vom mechanischen zum digitalen Paradigma Empirische Methoden	19
3 Martino Peña Fernandez Serrano Bewegliche Tragwerke	27
Bewegliche Tragwerke Analog	29
Bewegliche Tragwerke Digital	69

Vorwort

Architektur entsteht aus der Auseinandersetzung des Menschen mit dem gebauten Raum in einer unmittelbaren Umwelt. Zentraler Inhalt ist dabei das planvolle Entwerfen und Gestalten von Bauwerken nach funktionellen, konstruktiven sowie sozialen, ökonomischen und ökologischen Anforderungen. Die Erfüllung dieser anspruchsvollen Aufgabe wird durch einen ganzheitlichen Entwurfs- und Planungsprozess unterstützt. In diesem Prozess ist der Entwurf von Tragwerken als ein integraler Bestandteil im architektonischen Kontext zu betrachten. Der Lehrstuhl für Tragkonstruktion im Department Architektur der Universität Siegen verknüpft inhaltlich die Aspekte zur Gestaltung sowie Konstruktion von Bauwerken und ist deshalb als Bindeglied zwischen den beiden Disziplinen Architektur und Ingenieurwesen zu verstehen.

Daher arbeiten am Lehrstuhl für Tragkonstruktion traditionell Architekten*innen und Ingenieure*innen interdisziplinär zusammen und vermitteln den Architekturstudierenden in den Pflichtmodulen die Zusammenhänge von den Grundlagen der Tragwerklehre über das eigenständige Entwerfen von Tragwerken bis zum Umgang mit Tragkonstruktionen für das Bauen im Bestand. Wahlmodule ergänzen die Inhalte im Bachelor- und Masterstudiengang Architektur. Die Themen in den bisherigen Wahlmo-

dulen behandeln deshalb den Entwurf von Fußgängerbrücken, tensegren Strukturen oder beweglichen Tragwerken. Ein zentrales Ziel in allen angebotenen Lehrveranstaltungen ist ein allgemeines Verständnis der Studierenden für Tragkonstruktionen in Verbindung mit materialgerechtem Konstruieren und einem hohen architektonischen Anspruch zu entwickeln.

Das Wahlmodul »Bewegliche Tragwerke« wird seit 2014 im Sommersemester am Lehrstuhl für Tragkonstruktion von Dr.-Ing. Martino Peña Fernandez Serrano als Lehrbeauftragter von der Universidad Politécnica de Cartagena in Zusammenarbeit mit Dipl.-Ing. Katja Wirfler, Architektin und wissenschaftliche Mitarbeiterin, angeboten. Die Studierenden im Masterstudiengang Architektur entwerfen und entwickeln auf Grundlage der Studien der spanischen Architekten Emilio Pérez Piñero und Dr. Arquitecto Félix Escrig Pallerés sowie des US-amerikanischen Künstlers und Ingenieurs M.Sc. Chuck Hoberman faltbare und bewegliche Tragstrukturen. Dabei stehen für die Teilnehmer direkte Erfahrungen vom kreativen Umgang mit der Tragkonstruktion für die vorgegebene Aufgabe bis zur eigenständigen Umsetzung am Modell im Fokus.

Die Inhalte der letzten sechs Jahre sind nun im ersten Band Lehre 01 der Schriftenreihe Tragkonstruktion dokumentiert und erläutert. In Kapitel 1 zu »Entwerfen – Konstruieren – Modellbauen« beschreibt Katja Wirfler den Zusammenhang zwischen dem Entwurf und dem damit verbundenen gestalterischen Potential der erforderlichen Konstruktion sowie den wertvollen Erkenntnissen durch den Modellbau. Martino Peña Fernandez Serrano erläutert in Kapitel 2 mit »Vom mechanischen zum digitalen Paradigma. Empirische Methoden« die Veränderungen in den zur Verfügung stehenden Werkzeugen zur Entwicklung von Prototypen am Beispiel der beweglichen Tragwerke sowie deren Einfluss auf die zukünftige Architektur. In Kapitel 3 mit »Bewegliche Tragwerke« werden die Ergebnisse der studentischen Arbeiten vorgestellt und entsprechend der Fertigung der Modelle in analog sowie digital unterschieden.

Thorsten Weimar
Siegen im Oktober 2019

1 Entwerfen – Konstruieren – Modellbauen

Die Architektur befindet sich im Spannungsfeld zwischen Kunst und Technik. Entsprechend sind die zu erlernenden Kompetenzen vielseitig und basieren teilweise auf gegensätzlichen Denkmodellen. Die besondere Aufgabe in der Lehre für Architekt*innen liegt daher neben der Vermittlung einzelner Basiskompetenzen in der Verbindung kreativer Fähigkeiten mit technischem Fachwissen.

Entwerfen und Konstruieren

Nach heutigem Verständnis ist das Konstruieren in erster Linie etwas »Technisches«, während das Entwerfen ganz im Gegensatz dazu als etwas »Künstlerisches« empfunden wird. Auch in der Lehre erfolgt die Vermittlung der beiden Kompetenzen in der Regel separiert voneinander. Zu Beginn eines Architekturstudiums ist diese Vorgehensweise sinnvoll und notwendig, vor allem um die Fähigkeiten des freien Denkens und kreativen Schaffens zu üben. Daher bietet es sich gerade zu Beginn des Studiums an, eingeprägte Bilder aufzubrechen, traditionelle Formen zu analysieren und zu hinterfragen oder neu zu interpretieren, enge Denkmuster zu durchbrechen und die Po-

tenziale des eigenen beziehungsweise genuinen kreativen Denkens aufzuzeigen. Viele interessante Ansätze gerade noch »unerfahrener« und oft idealistischer Menschen hätten mit dem zu frühen Zwang der technischen Machbarkeit keine Möglichkeit, weitergedacht zu werden um später dann in die praktische Arbeit als entwerfende und bauende Architekt*in einfließen zu können. Nur mit dieser Fähigkeit zur Erneuerung kann Architektur dem Anspruch zur ganzheitlichen Gestaltung unserer gebauten Zukunft gerecht werden. Parallel dazu werden notwendige Basiskompetenzen gelehrt, wie die Grundlagen der Tragwerklehre, Bauphysik, Baukonstruktion und andere.

Was zu Beginn des Studiums sinnvoll erscheint, stellt die Architekturlehre im späteren Verlauf vor große Herausforderungen. Denn Architektur ist im Gegensatz zur freien Kunst oder zum Design immer auch Konstruktion. Ein ganzheitlicher Anspruch an Architektur bedeutet eine untrennbare Einheit von Entwurf und Konstruktion. Das beginnt mit der Entwicklung einer angemessenen Tragkonstruktion, die den Entwurfs-gedanken nicht behindert, sondern unterstreicht und endet mit dem baukonstruktiven Detail, das an ganz konzentrierter Stelle die Symbiose aus architektonischer Idee und technischer Perfektion verkörpert. Das getrennt Gelehrte muss also früher oder später miteinander verknüpft werden. Wann der richtige Zeitpunkt dafür ist, auf welche Weise das geschehen sollte und welche Voraussetzungen dafür optimal sind, kann nicht eindeutig beantwortet werden. Selbstverständlich bedeutet das angehäuften und zum Teil noch deutlich unvollständige technische Wissen zunächst eine enorme Einschränkung für die Kreativität. Die technischen Zwänge können für die Studierenden schnell so groß werden, dass sie plötzlich den Entwurf blockieren und seine Umsetzung entscheidend beeinträchtigen. Die architektonische Idee wird dann aus reinem Unvermögen häufig ganz aufgegeben. Um die Prioritäten wieder richtig setzen zu können, ist viel konstruktive Übung erforderlich, ohne dabei aus dem Auge zu verlieren, dass die Technik nur ein Werkzeug ist, um das Entworfenem umzusetzen. Die Entwerfer*in sollte die Technik gut genug beherrschen, um sie in den Dienst der gestalterischen Absichten stellen zu können. Dann wird daraus ein substantielles Gestaltungsmittel.

Modellbau in der Lehre

Einen wichtigen Baustein, um die künstlerischen Entwurfskompetenzen mit dem technischen Wissen zu verbinden, stellt die Arbeit am Modell dar. Vor allem in Bezug auf die Tragkonstruktion ist das Arbeiten sowohl am Arbeitsmodell, als auch später zur Überprüfung am Präsentationsmodell von großer Bedeutung, da die gegenseitige Abhängigkeit von Form und Tragwerk sofort erkennbar wird. Gestalterische oder konstruktive Parameter können am Modell separiert voneinander verändert und ihre wechselseitige Wirkung sowohl auf die Form, als auch auf die Konstruktion untersucht werden. Durch die in der Realität wirkende Schwerkraft bleibt das Modell der dreidimensionalen Darstellung am Rechner in vielen Punkten überlegen. Vorteilhaft ist auch der intuitive Zugang zum Modellbau, der dem späteren Bauprozess deutlich ähnlicher ist, als eine weitere digitale Planung. Beide Arten der dreidimensionalen Arbeit können und sollten sich allerdings durchaus ergänzen.

Leichtes Bauen

Am Lehrstuhl für Tragkonstruktion der Universität Siegen bieten wir seit einigen Jahren verschiedene Wahlfächer an, die sich mit dem Bau besonders leichter Konstruktionen beschäftigen. Dabei liegt der Fokus vor allem auf Techniken, die die Prinzipien des Tragens sowie der Stabilität auf anschauliche Weise wiedergeben und deren klare und funktionale Struktur über eine eigene Attraktivität verfügt. Das erleichtert den Studierenden den Zugang zur Konstruktion und trägt dazu bei, das gestalterische Potential wahrzunehmen. In der Architektur gewinnen diese Techniken mit der Entwicklung von neuen und leichten Materialien sowie innovativen Lösungen in der Fertigung vor allem beim Entwurf weitgespannter Konstruktionen, wie beispielsweise Dächer und Brücken, zunehmend an Bedeutung, da die effektive Spannweite von Tragwerken auch im direkten Zusammenhang zur Eigenlast steht.

Die Reihe beginnt im Sommersemester 2015 mit dem Wahlfach »Tensegre Strukturen«. Dabei handelt es sich um filigrane Raumstrukturen, bei denen einzelne Druckstäbe von einem kontinuierlichen System aus Zugseilen getragen werden. Eine der schönsten Beschreibungen dieser Tragstrukturen formuliert Richard Buckminster Fuller, als er die Druckstäbe als »...small islands of compression in a sea of tensi-

on.«¹ definiert. Die tensegren Strukturen wirken wie aufgelöste leichte Skulpturen und scheinen auf dezente Weise das Gleichgewicht zu thematisieren. Der besonderen Anmutung wegen überrascht es nicht, dass eines der ersten Beispiele einer tensegren Struktur einem Avantgarde-Künstler, Karl loganson, zugeschrieben wird. In einer Studie von 1920 bringt er drei Stäbe durch eine kontinuierliche Verbindung aus Zugseilen ins Gleichgewicht und beschreibt 1921 seine Motivation mit den Worten: »From Painting to sculpture, from sculpture to construction, from construction to technology and invention – this is my chosen path, and will surely be the ultimate goal of every revolutionary artist.«² Auch Kenneth Snelson, der zusammen mit Richard Buckminster Fuller, seinem Dozenten am Black Mountain College bei Asheville, häufig als Erfinder der tensegren Strukturen genannt wird, war Bildhauer und Künstler.

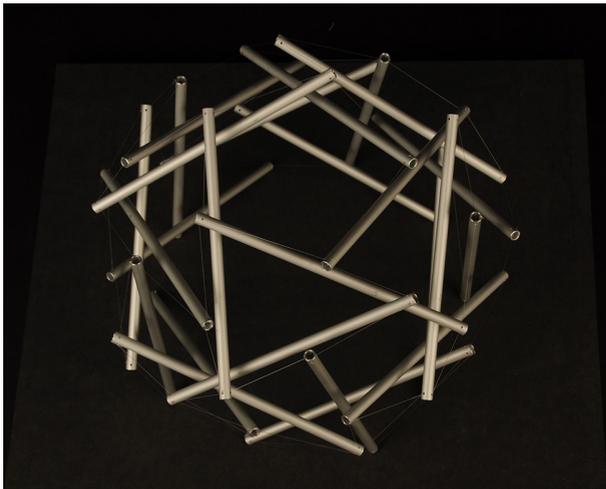


Bild 1.1: Studentische Arbeit »Tensegre Kugel«



Bild 1.2: »Tensegreer Turm«

¹ Sandaker 2011

² Robbin 1996

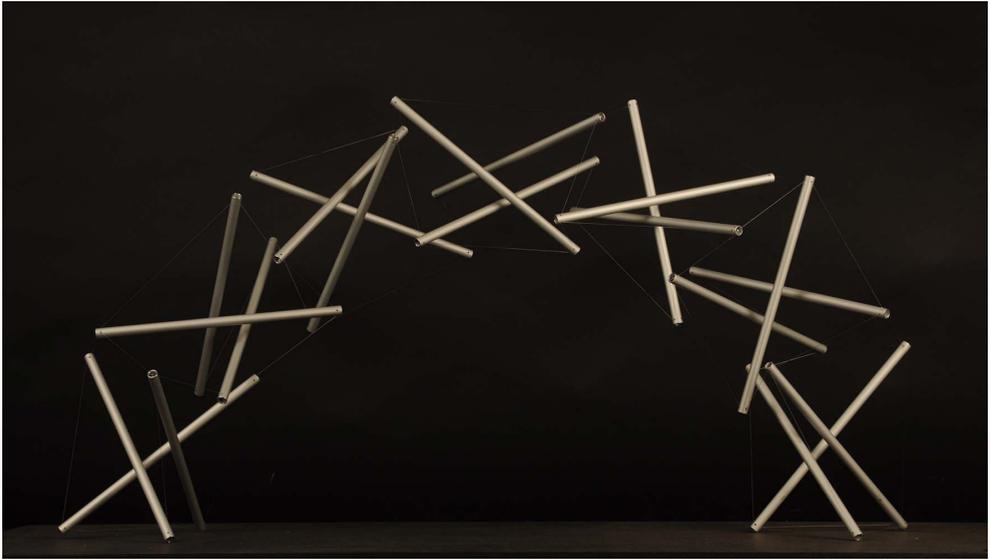


Bild 1.3: Studentische Arbeit »Tensegrity Bogen«

Das zweite Wahlfach dieser Reihe thematisiert ein weiteres faszinierendes Prinzip im Leichtbau, das Falten. Die Anwendungsmöglichkeiten in der Technik sind vielfältig und lassen sich in zwei übergeordnete Kategorien unterteilen. Die erste Kategorie beinhaltet alle Anwendungen, die auf das »Versteifen« und »Stabilisieren« abzielen. Die Tragfähigkeit vieler flächiger dünner Materialien lässt sich durch Faltung auf höchst effiziente Weise optimieren. Die Kantung bewirkt dabei eine deutliche Zunahme der statischen Höhe bei gleichzeitiger Nutzung der Membran als schubsteife Fläche. Das Trapezblech ist eines der alltäglichen Beispiele auf der Ebene der Tragwerkselemente, aber das Prinzip lässt sich auch auf die Ebene der Tragwerke übertragen. Vor allem als druckbeanspruchte Flächentragwerke können Faltenwerke effizient eingesetzt werden.³ Die zweite Kategorie der »Beweglichen Faltungen« beinhaltet alle Mechanismen zum Öffnen und Schließen, zum Vergrößern und Verkleinern, sowie zur Fortbewegung. Bei der funktionalen Faltung wird nicht der Baustoff selber gefaltet, sondern die Fügung

³ Werner 1996

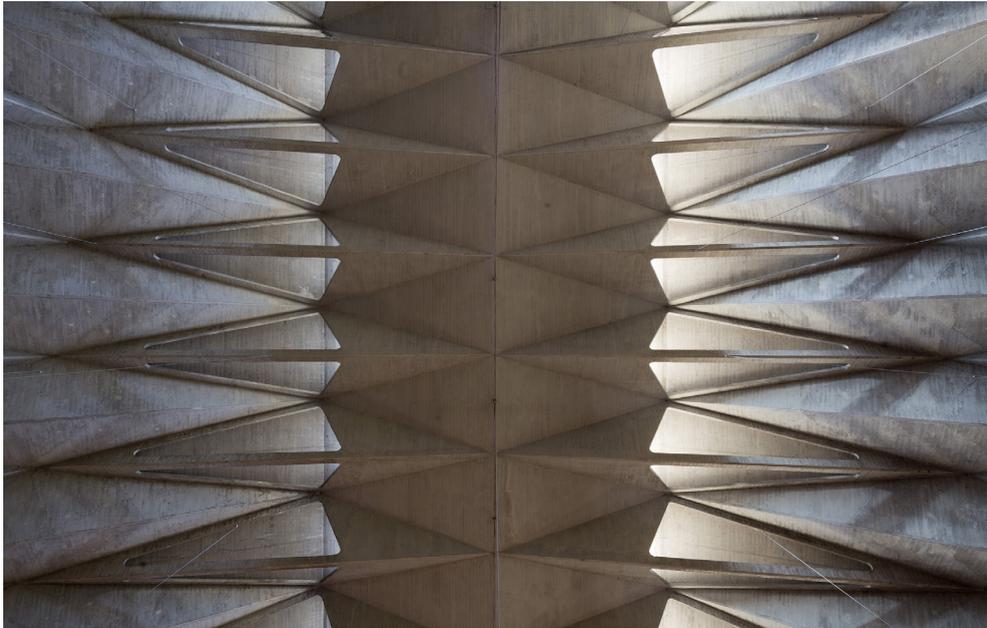


Bild 1.4: Dachkonstruktion der St. Paulus Kirche, Neuss-Weckhofen

beziehungsweise das Gelenk ermöglicht die dynamischen Falt- und Entfaltungsprozesse. Diese Inhalte sind Bestandteile des Wahlfachs »Bewegliche Tragwerke«, das seit einigen Semestern mit jeweils unterschiedlichem Schwerpunkt am Lehrstuhl für Tragkonstruktion angeboten wird und dessen Ergebnisse und Entwicklungen in diesem Buch vorgestellt werden.

In der Architektur liegt die Bedeutung dieser Art von dynamischer Faltung bisher hauptsächlich im Ausbau. Bewegliche Elemente wie Trennwände, Fenster, Türen, Läden und ähnliche alltägliche Bauelemente sorgen für notwendige Flexibilität in der Nutzung. Faltbare Dächer und nach gleichem Prinzip konstruierte Fassadensysteme verleihen darüber hinaus ganzen Gebäuden eine gewisse dynamische Erscheinung.

Aus den 1960er Jahren sind Ansätze bekannt, die deutlich weiter gehen. Der Begriff der Mobilität oder auch flexibler, dynamischer und nomadischer Raum, sind wichtige Aspekte des damaligen Zeitgeistes. Die Architektur wird in flexiblen, teilweise temporären Typologien gedacht. Konzepte wie Wechsel und Mobilität gelten dabei als grundlegende menschliche Bedürfnisse, wobei der Wechsel als Veränderung innerhalb der Zelle und Mobilität in Bezug auf den Wohnort verstanden wird. Die einzelnen Wohneinheiten bilden dreidimensionale Mega-Strukturen. Viel Aufsehen erregt damals die britische Architektengruppe »Archigram« mit Veröffentlichungen in der gleichnamigen Zeitschrift. Diese utopische Avantgarde-Architektur thematisiert die globale Mobilisierung der Bevölkerung vor dem Hintergrund neuer sozioökonomischer Herausforderungen. Eines der bekanntesten Beispiele ist die federführend von Ron Herron entwickelte »Walking City«, die sich mit den Bewohnern immer dorthin bewegen soll, wo sie gebraucht werden, zum Beispiel als Arbeitskraft.

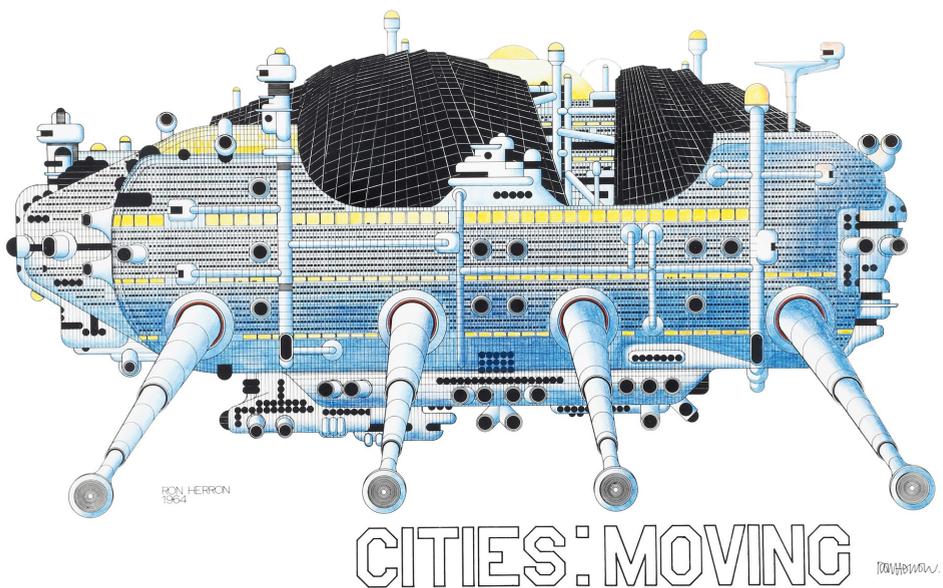


Bild 1.5: Zeichnung »Walking City«, Archigram 1964

Emilio Perez Piñero ist einer der ersten Architekten, die sich konstruktiv mit faltbaren Raumstrukturen beschäftigen und eigene Entwürfe dazu entwickeln. Die Studien zu den möglichen Konstruktionen bilden die Basis für das Wahlfach zu beweglichen oder auch faltbaren Konstruktionen. Vor dem Hintergrund heutiger Fortschritte in der Mechatronic und der Entwicklung immer neuer Materialien, werden diese Ideen von den Studierenden in den heutigen Kontext überführt und weiterentwickelt.

Die intensive Auseinandersetzung mit solchen Konstruktionen, angefangen bei der theoretischen Vertiefung bis hin zum Modellbau, ist für die Studierenden der Architektur in besonderem Maße bereichernd. Die Kompetenz des Konstruierens wird in diesem Zusammenhang gezielt geübt und das gestalterische Potential der Konstruktion erkannt. Auch, oder gerade weil es sich bei ihnen nicht um die klassischen Konstruktionen des Hochbaus handelt, begeben sich die Studierenden mit Neugierde auf unbekanntes Terrain und begreifen das Konstruieren als kreative Tätigkeit. Die Zusammenhänge von Bautechnik und architektonischer Innovationskraft wird deutlich.

Literatur

- Sandaker 2011 Sandaker, Bjørn Normann; Eggen, Arne Petter; Cruvellier, Mark: Tensegrity: When a Column Flies. In: The structural Basis of Architecture. 2nd ed. London: Routledge, 2011.
- Robbin 1996 Robbin, Tony: Engineering a new Architecture. New Haven: Yale Univ. Press, 1996.
- Werner 1996 Werner, Hilmar: Falten im Leichtbau. In: Arch+ 1996 (131), S. 82-95.

Abbildungen

- Bild 1.1 Modellfoto Studentische Arbeit »Tensegre Kugel«
Autoren: Lisa Pfeifer, Luisa Schmidt, Samara Matar; Foto: Katja Wirfler
- Bild 1.2 Modellfoto Studentische Arbeit »Tensegrer Turm«
Autoren: Kübra Kuzu, Veronika Powell, Tim Stein; Foto: Katja Wirfler
- Bild 1.3 Modellfoto Studentische Arbeit »Tensegrer Bogen«
Autoren: Isabelle Eberling, Alexandra Glaesner, Nadine Pommer; Foto: Katja Wirfler
- Bild 1.4 St. Pauli Kirche, Neuss- Weckhofen; Architekten: Fritz und Christian Schaller;
Tragwerksplaner: Stefan Polonyi; Foto: Florian Monheim
- Bild 1.5 Quelle: Deutsches Architekturmuseum, Frankfurt am Main;
Foto: Uwe Dettmar, Frankfurt am Main; © Archigram

Martino Peña Fernandez Serrano
Vom mechanischen zum digitalen Paradigma
Empirische Methoden

2 Vom mechanischen zum digitalen Paradigma. Empirische Methoden

Die neuen digitalen Werkzeuge entwickeln sich zu Instrumenten, die beginnen, nicht nur die grafische Darstellung von Architektur zu revolutionieren, sondern auch deren Wahrnehmung und die entsprechende Wissensvermittlung. Aktuelle rechnergestützte Werkzeuge ermöglichen eine wahrheitsgetreue Darstellung und in der digitalen Fabrikation eine gleichzeitige Kontrolle von Design und Produktion. Das Paradigma der Standardisierung, das das 20. Jahrhundert maßgeblich beeinflusste, weicht im 21. Jahrhundert kontinuierlich dem digitalen Paradigma, das aktuell in Architekturschulen oder digitalen Fabrikationslaboren auftritt. Das digitale Paradigma ermöglicht im Gegensatz zum mechanischen Paradigma mit standardisierten Massenprodukten die Herstellung von individuellen Prototypen. Aus diesem Grund ist es notwendig, entsprechende Parameter zu definieren, die helfen, die verschiedenen Eigenschaften zwischen Prototypen zur weiteren Steigerung der Effizienz der Prozesse zu vergleichen und zu evaluieren.

Von der Standardisierung zur Digitalisierung

»Vor Gründung der Architekturabteilung der École des Beaux-Art in Paris im Jahr 1671, erfolgte der Wissenstransfer von Lehrer zu Schüler in der direkten Erfahrung an der Baustelle und die Theorie hatte einen direkten Realitätsbezug. Die Beziehung zwischen Theorie und Praxis kehrte sich mit der Institutionalisierung der Architekturausbildung ins Gegenteil um. Grund für diese Entwicklung war die industrielle Revolution, die einen enormen Bedarf an qualifiziertem Personal produzierte.«¹ Auf diese Weise entfernt sich die universitäre Ausbildung von der Praxis und bleibt bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts theoretisch dominiert. Erst mit der Gründung des Bauhauses im Jahr 1919, wird die theoretische Dominanz der Architekturlehre hinterfragt. Die Zusammenführung von Handwerk und Kunst stehen im Mittelpunkt der Lehre an der von Walter Gropius in Weimar gegründeten Kunstschule.

Mit Beginn der Moderne erwächst die Notwendigkeit der Standardisierung des Prototyps nach der Metapher der Maschine. Ein Teil des deutschen Werkbundes, zu dem viele deutsche Architekten dieser Zeit zählen, versucht einen konstruktiven Prozess zu initiieren, bei dem Standardisierung und Typisierung zum Zweck der industriellen Produktion im Vordergrund stehen.² Im Bauhaus, das 1919 von Walter Gropius gegründet wird, findet sich eine Schule, in der die neuen Theorien der Standardisierung beginnen, auch Teil der Lehrinhalte zu werden und die jungen Architekt*innen prägen. Gropius, mit seiner Besessenheit für die totale Vorfertigung von Bauwerken, entwirft zusammen mit Konrad Wachsmann eine Reihe von Fertighäusern in Form eines Serienprototyps, die er unter dem Titel »Prefabricated Buildings« patentieren ließ und in dessen Beschreibung folgendes zu lesen ist: »Das Ziel dieser Erfindung ist es, die Konstruktion eines Gebäudes so zu gestalten, dass es ausschließlich oder überwiegend aus vorgefertigten, sich wiederholenden standardisierten Elementen montiert werden kann, und eine komplette Fertigung in der Fabrik mit spezialisierten Maschinen ermöglicht«³

Seit dem sich ab 1992 nach und nach die Rechner in den Architekturbüros durchsetzen, sind die digitalen Prozesse ein Teil der üblichen Praxis und mittlerweile ohne digitale Werkzeuge wie Computer Added Design (CAD), aber auch teilweise schon

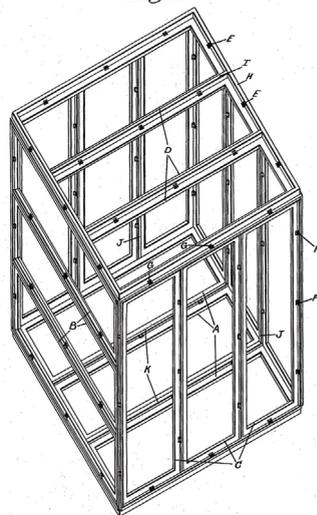
¹ Borrego 2017

² Frampton 1987

³ Wachsmann 1944

Building Information Modeling (BIM), undenkbar. Es geht nicht mehr um die Frage, ob sie gut oder schlecht sind, sondern auf welche Art und Weise dadurch der architektonische Prozess verändert wird. Eine der direktesten Konsequenzen ist die Möglichkeit, mit komplexen Geometrien zu arbeiten und das Design durch die Anwendung komplexer Algorithmen zu parametrisieren. Andererseits ermöglichen diese digitalen Werkzeuge, die Grenzen zwischen den Design- und Produktionsprozessen zu reduzieren. Daraus folgt, dass eine Standardisierung der Produkte wegen Kosteneinsparungen nicht mehr notwendig und stattdessen die Produktion von individuellen Prototypen möglich ist. Diese neuen Möglichkeiten hinterfragen die traditionelle Tektonik, die bisher die Hierarchie der konstruktiven Elemente sowie deren Bedeutung bestimmt und damit einen weiteren entscheidenden Aspekt der zeitgenössischen digitalen Architektur darstellt.⁴

Aug. 8, 1944. K. L. WACHSMANN ET AL. 2,355,192
 PREFABRICATED BUILDING
 Filed May 30, 1942 7 Sheets-Sheet 2
Fig. 5.



Inventors:
 Konrad L. Wachsmann
 Walter Dreier,
 Herbert Grottel,
 their Attorney.

Bild 2.1: Patent »Prefabricated Building«

⁴ Picon 2010

Diesen individuellen Aspekt des Architekturprototyps benennt auch Nicholas Negroponte in »Being Digital«⁵, indem er den individuellen Status der digitalen Produkte beschreibt. Er ist Gründer des MediaLabs am Massachusetts Institute of Technology (MIT), von wo aus das internationale Netzwerk der Fabrikationslabore, den sogenannten FabLabs, betrieben und als »dritte digitale Revolution« definiert wird. FabLabs bieten sich als Labore für Forschung und Entwicklung von neuen aufstrebenden Technologien sowie der Nutzung möglicher Anwendungen an. Ein Schwerpunkt der Forschung konzentriert sich dabei auf die Entwicklung von Programmen, die digitale Fertigungsprozesse begleiten, indem neue Medien genutzt werden, wie beispielsweise das 3D-Drucken oder das Laserschneiden, die das Herstellen von Prototypen im Maßstab 1:1 ermöglichen. Die neuen Formen der rechnergestützten, digitalen Produktion erlauben die Integration aller konstruktiven Aspekte in den Entwurfsprozess, durch eine komplexe Kombination von abstrakter, geometrischer Definition und konkreter Materialisierung.

Bewegliche Tragwerke. Vom analogen zum digitalen Prototyp

In dem Wahlfach »Bewegliche Tragwerke« setzen die Studierenden in kleinen Gruppen die vorher erläuterte Theorie der faltstrukturen in reale Prototypen im Maßstab 1:1 um. Die entwickelten faltstrukturen sollen als Wohnräume einen bestimmten Ort besiedeln. Zunächst werden den Studierenden die Grundlagen und Patente von Emilio Pérez Piñero, Félix Escrig und Chuck Hoberman vermittelt, um über das notwendige Repertoire an möglichen faltbaren Systemen für die Entwicklung neuer Entwürfe zu verfügen. Anschließend werden die Modelle der Prototypen in den Seminaren von 2015 und 2016 mit traditionellen Werkzeugen hergestellt. Das bedeutet, dass die Herstellung der Mega-Struktur sowie der einzelnen Zelle ausschließlich über analoge Methoden erfolgt, bei denen die handwerkliche Arbeit im Vordergrund steht und traditionelle Werkzeuge, wie Hammer und Säge zum Einsatz kommen. Die Materialien sind bewusst so gewählt, dass sie in Baumärkten zu finden sind, wie beispielsweise Rohre aus Polyvinylchlorid (PVC) oder Stäbe aus Nadelholz. Die Fügung der Elemente erfolgt mit einfachen Verbindungen aus Kunststoffbändern oder Schrauben. Dabei werden bei den Mega-Strukturen, die auf faltbaren Strukturen basieren, die einzelnen Zellen so konzipiert, dass die Geometrie untereinander gekoppelt ist.

⁵ Negroponte 1995

In den Seminaren von 2017, 2018 und 2019 werden digitale Werkzeuge für das Herstellen der Prototypen eingesetzt. Der Einsatz reicht von Zeichenmedien in CAD bis hin zum digital gesteuerten Laserschneiden und Fräsen. Diese digitalen Werkzeuge stellen eine Veränderung in den Lehrmethoden zukünftiger Architekten dar. Die Programme ermöglichen eine genauere Darstellung der Realität sowie eine gleichzeitige Kontrolle von Design und Herstellung der Prototypen durch die digitalen Fertigungswerkzeuge. Außerdem dient das intensive gemeinsame Arbeiten im Seminar durch die Synergieeffekte, die durch unterschiedliche Kompetenzen und Ansätze der einzelnen Bearbeiter*innen entstehen, als kreativer Katalysator und ermöglicht Lösungen, die über die Grenzen der einzelnen Personen hinausgehen. Auf diese Weise entwickeln und verbessern sich die Modelle stetig und erhalten die technologische Präzision vom ersten bis zum letzten Modell. Das Seminar entfaltet sich zu einer aktualisierten Version der mittelalterlichen Bauhütte, in der digitale Werkzeuge die spezifischen Werkzeuge des Handwerkers ersetzen und die Modelle mit der Präzision des Produktionssystems weiterentwickelt werden. Schließlich erfolgt ein Vergleich und eine



Bild 2.2: Prototyp der Kugel Hobermans

Evaluation der verschiedenen Prototypen aus den einzelnen Gruppen. Dabei werden unterschiedliche Indikatoren untersucht, die uns in der Gesamtheit helfen, die Idee der einzelnen Prototypen bezogen auf die Effizienz zu beurteilen.



Bild 2.3: Effizienzmesser der kleinen und der großen Kugel.

Die Parameter erlauben die unterschiedlichen Modelle miteinander zu vergleichen, obwohl ein direkter Vergleich durch die grundsätzliche Variation zunächst nicht möglich ist. Allerdings erlaubt die Digitalisierung der Prozesse über die Singularität der Prototypen bei gleichzeitiger Separation der einzelnen Parameter eine Bewertung. Auf diese Weise können Parameter wie Falzindex, Dauer des Produktionsprozesses oder die Variation der Moduloberflächen getrennt voneinander betrachtet und auf ihre Effizienz hin untersucht werden. Die Zusammenführung aller einzeln untersuchten Parameter geben schließlich Aufschluss über die Effizienz des Prototyps. Im Seminar von 2019 wird von den einzelnen Gruppen jeweils der gleiche Prototyp hergestellt, allerdings in verschiedenen Größen. Es ist eine Kugel nach dem Patent von Chuck Hoberman. Effizienzkurven werden erstellt und verglichen. Die Auswertung ergibt beispielsweise für die kleinere Kugel eine höhere Effizienz. Es sind letztendlich nur Nuancen, denn die kleine Kugel erreicht einen Endwert von 33,7 Einheiten und die

große Kugel von 36,6 Einheiten. Dies führt zu dem Ergebnis, dass sich die optimale Größe beispielsweise über die Materialeffizienz mit abnehmender Größe der Kugel ergibt. Das stimmt auch mit der praktischen Erfahrung am Modell überein: Das Falten und Entfalten der kleinen Kugel ist deutlich einfacher, als bei der großen Kugel und die Stabilität durch die kürzeren Stäbe während der Bewegungsprozesse höher.

Literatur

- Borrego 2017 Borrego Gomez-Pallete, Ignacio; Garcia Martinez, Pedro; Fernandez-Serrano, Solano Rojo, Montserrat.: Architecture Teaching Methodologies in the Digital Age. In: Fold Unfold. Deployable structures and digital fabrication. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin, 2017
- Frampton 1987 Frampton, Kenneth; Historia Critica de la arquitectura moderna. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1987
- Negroponete 1995 Negroponete, Nicholas; Being Digital. New York: Vintage Books, 1995.
- Picon 2010 Picon, Antoine: Digital Culture in Architecture. An Introduction for design professions. Basel: Birkhäuser, 2010
- Wachsmann 1944 Wachsmann, Konrad; Gropius Walter: Prefabricated Building; Patent N°US2.355.192 USA: United States patent Office, 1944

Abbildungen

- Bild 2.1 Wachsmann 1944
- Bild 2.2 Modellfoto. Quelle: Martino Peña
- Bild 2.3 Quelle: Martino Pe Peña

Martino Peña Fernandez Serrano
Bewegliche Tragwerke

3 Bewegliche Tragwerke

Angelehnt an die mittelalterliche Bauhütte erfolgt die Organisation des Seminars mit einem direkten praktischen Bezug. Zu Beginn werden Basisinformationen zu den unterschiedlichen zum Einsatz kommenden Tragsystemen vermittelt. Dabei handelt es sich in erster Linie um das Patent von Emilio Pérez Piñero, USA3185164 »Three Dimensional Reticular Structure«, in dem unterschiedliche dreidimensionale Tragsysteme aus sich kreuzenden Stäben erklärt werden, das Patent von Félix Escrig Palerés, 8505073 A1 »Sistema Modular para la Construcción de Estructuras Espaciales Desplegables de Barras«, in dem ein modulares Scherensystem entwickelt wird, das durch die Addition von Modulen zu faltbaren Raumstrukturen erweiterbar ist, sowie das Patent von Chuck Hoberman, USA 4942700 »Reversibly Expandable Doubly Curved Truss Structure«, über reversibel erweiterbare doppelt gebogene Fachwerkkonstruktionen.

Nach dem theoretischen Teil werden die Studierenden in Gruppen aufgeteilt und beginnen zu experimentieren. Prototypen werden entwickelt und deren Funktionalität

durch die Konstruktion von Modellen überprüft. Die praktische Arbeit wird während der ganzen Dauer vom Dozenten korrigiert und dirigiert, so dass sich ein fortlaufender Lern- und Optimierungsprozess in Gang setzt. Auf diese Art der direkten Kommunikation zwischen Dozent*in und Student*in im direkten Bezug zur Praxis bezieht sich explizit der Vergleich mit der mittelalterlichen Bauhütte. Dies ermöglicht ein schnelles und effektives Lernen. Die zeitgleich in einem Raum stattfindenden Prozesse ergeben Synergien, die das Seminar zu einer Art kreativen Katalysator für neue Lösungsvorschläge erweitert.

Das Seminar erfährt über die Dauer von sechs Jahren durch die kontinuierliche Weiterentwicklung der Inhalte eine Transformation vom analogen zum digitalen Paradigma. Die ersten drei Jahre sind wegen der mechanischen Methoden des Modellbaus als analog zu bezeichnen. Die Stäbe werden mit einer traditionellen Säge zugeschnitten und die Verbindungen mit einfachen Mitteln wie Kunststoffbändern oder Schrauben hergestellt. In den folgenden drei Jahren kommen digitale Methoden zur Anwendung. Zeichnungen werden in CAD-Programmen angefertigt und die Modellbauelemente von CNC-Fräsen und Laserschneidern hergestellt. Dabei ist das digitale Paradigma, nicht nur als neues Medium zu verstehen, sondern es revolutioniert unsere Art, Architektur zu verstehen. Nach einem Jahrhundert, das mit standardisierten Systemen funktionierte, beginnt eine neue Epoche, in der die einfache Herstellung individueller Prototypen sowohl finanziell als auch produktiv möglich ist.

Bewegliche Tragwerke | Analog

Bewegliche Tragwerke | Analog

Im analogen Teil wird das erlernte Wissen über bewegliche Tragwerke, unter anderem auch die Mega-Strukturen von Emilio Pérez Piñero und Félix Escrig, angewendet. Im Rahmen der Seminare in den Jahren 2015 und 2016 werden die Modelle und Prototypen zunächst mit traditionellen Werkzeugen, beispielsweise Säge und Hammer, hergestellt: In der ersten Phase der Seminare soll eine faltbare Mega-Struktur geplant werden, die auf einzelnen Zellen basiert, die über die Geometrie gekoppelt sind. Die zweite Phase sieht die Entwicklung einer Wohnzelle vor, die in die faltbare Mega-Struktur integriert ist. Die Raumtragwerke bestehen aus drei Elementen: Stäbe, Knoten und Zellen. Die Stäbe und Knoten bilden die eigentliche Tragstruktur, die Zellen füllen die Zwischenräume. Dem Entwurf einer faltbaren Mega-Struktur und der Wohnzelle liegen die Ideen und Entwürfe des spanischen Architekten Emilio Pérez Piñero zugrunde. Die primäre Tragstruktur setzt sich aus vielen einzelnen Modulen zusammen. Die Module selbst bestehen aus Stäben, die sich in einem Knoten in der jeweiligen Stabmitte treffen. Die Mega-Struktur dient dabei als Raster für die Geometrie der Wohnzelle. Auch die Wohnzelle ist nach den gleichen Prinzipien faltbar, um die gewünschte Flexibilität

und den Wandel zu ermöglichen. Abhängig von der Anzahl der Stäbe innerhalb eines Moduls ergeben sich unterschiedlich geometrische Formen, die im Hinblick auf die Gestaltung der faltbaren Mega-Struktur und der Wohnzelle mit geeigneten Modellen zu untersuchen sind. Die Auswahl der Werkstoffe ist freigestellt.

Basierend auf den Ansätzen und Patenten von Emilio Piñero werden drei verschiedene Arten von Wohnzellen auf einer flachen Mega-Struktur platziert.

Mega-Struktur | Die Mega-Struktur besteht aus dem sogenannten dreieckigen Antiprisma, das sich aus drei Stäben zusammensetzt, die sich in der geometrischen Mitte der Stäbe kreuzen. Beim Fügen der Module gibt es keine Krümmung, sodass eine flache Netzstruktur entsteht. Andererseits erzeugen Fügemodule mit drei Stäben sechseckige oder dreieckige Perimeter. In diesem Fall liegt ein dreieckiger Perimeter vor. Durch die Verbindung von drei sekundären Dreiecken, die sich aus der Montage von jeweils zehn Modulen ergeben, bildet sich ein großes Dreieck. Der zentrale Raum der Mega-Struktur wird dadurch freigegeben. Die Stäbe bestehen aus Holz und die Verbindungen aus Kunststoffbändern.

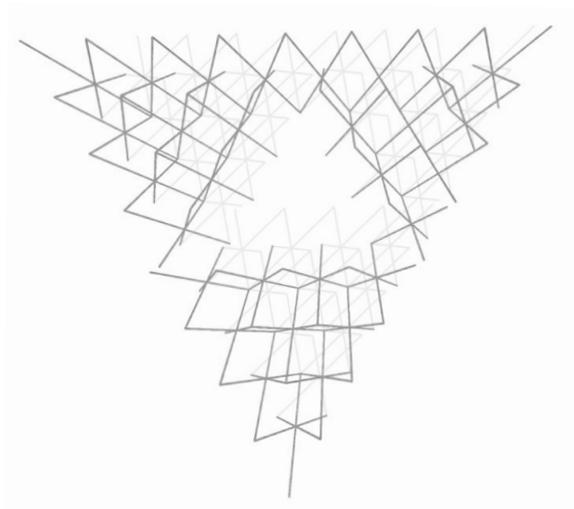
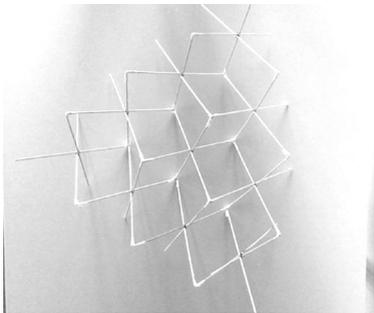
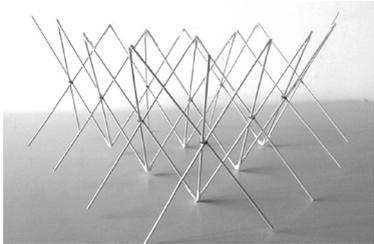
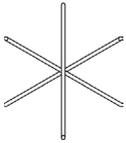
Die Zellen nehmen den negativen Raum der Mega-Struktur ein, aus denen die Geometrien entstehen.

Zelle A | Tetraeder, in dessen Kanten sich die Stabmittelpunkte der Ursprungsmodule treffen. Der Raum gliedert sich in zwei Höhen. Die Zelle ermöglicht zwei Positionen: mit der dreieckigen Basis nach oben und entgegengesetzt. Die Flächen des Tetraeders bestehen aus Wollfäden.

Zelle B | Rhomboedrisches Parallelepiped, dessen Flächen alle Rhomben bilden und dessen Achse daher nicht orthogonal zur Horizontalen steht. Diese Zellen entwickeln sich wegen der Größe in drei Höhen. Die Flächen des rhomboedrischen Parallelepipeds bestehen aus Wollfäden.

Zelle C | Die letzte Zelle wird zweidimensional abgewickelt. Dabei handelt es sich um dreieckige Plattformen, die durch die Fügung der oberen und unteren Knotenpunkte des Basismoduls entstehen. Werden die jeweils oberen Knotenpunkte zusammengefügt, entstehen Dächer. Bei der Fügung der unteren Knotenpunkte entstehen begehbare Plattformen. Die Flächen der Dreiecke bestehen aus Wollfäden.

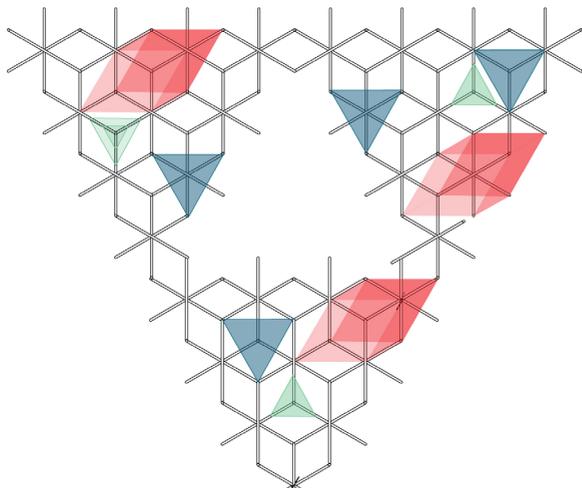
Mega



Zeichnung: Mega-Struktur nach EPP-Modul



Fotos: Falten - Entfalten



Zeichnung: Mega-Struktur mit Zellen in Position

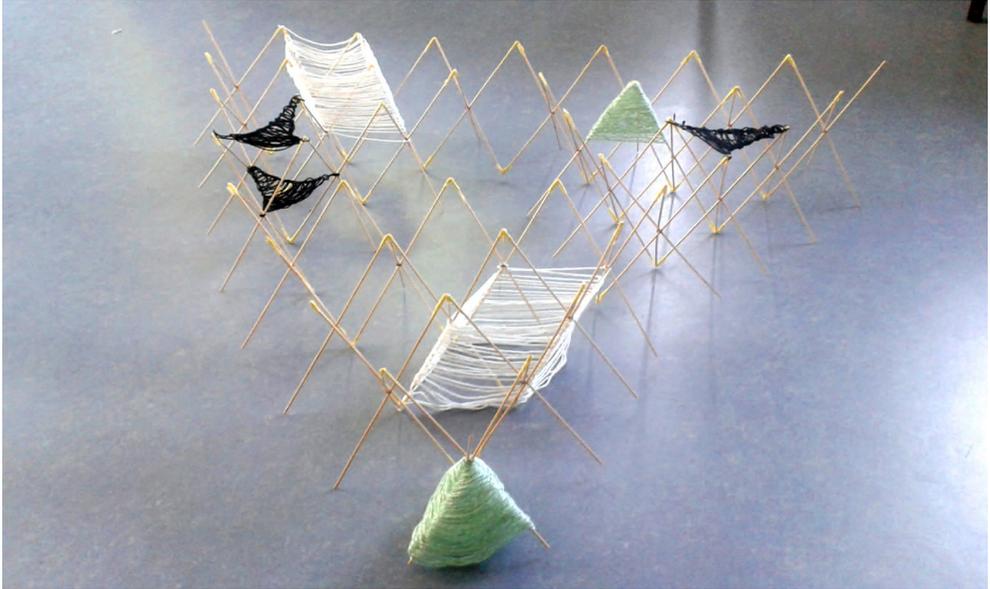
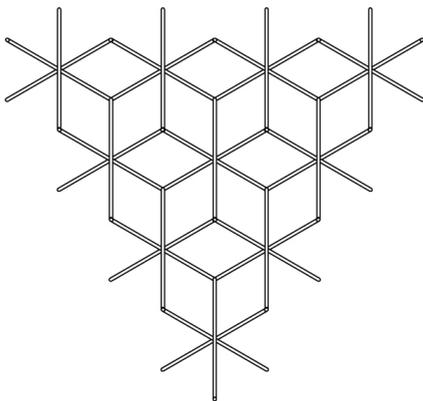
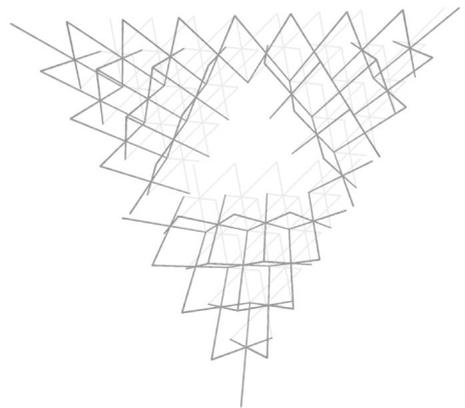


Foto: Modell der Mega-Struktur mit positionierten Zellen

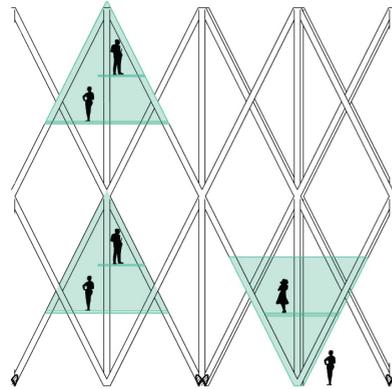
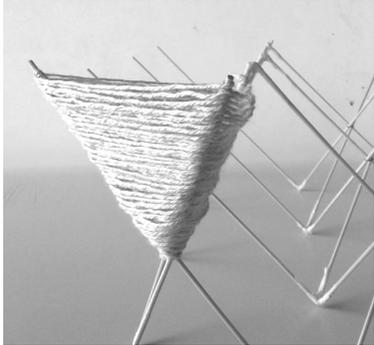


Zeichnung: Dreieck aus 10 Basismodulen

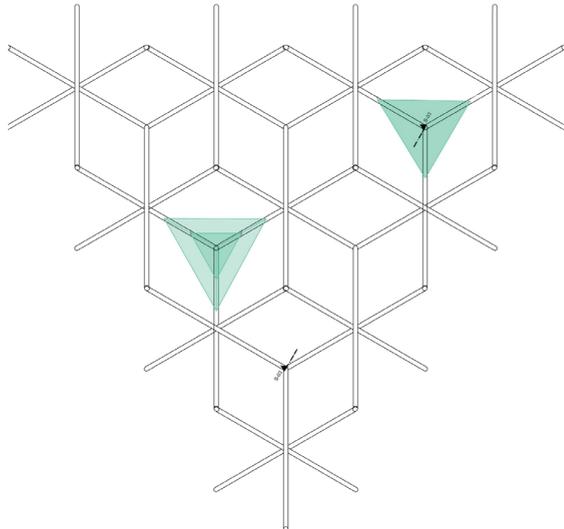
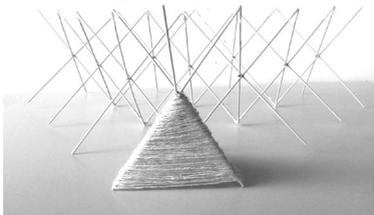


Zeichnung: Mega-Struktur zusammengesetzt aus 3 Dreiecken

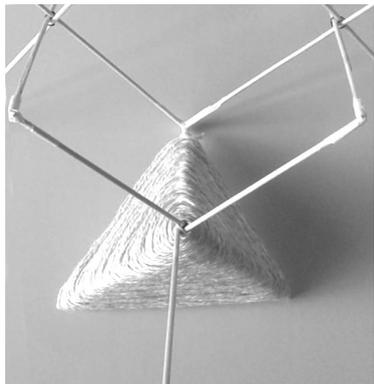
Zelle A



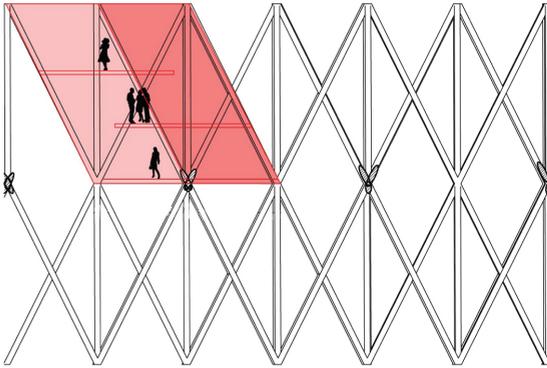
Zeichnung: Schnitt Zelle A



Zeichnung: Grundriss Zelle A



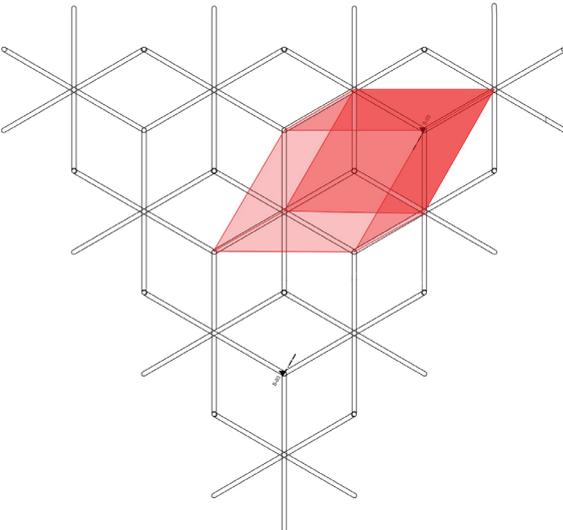
Fotos: Modell Zelle A



Zeichnung: Schnitt Zelle B



Foto: Platzierte Zelle B



Zeichnung: Grundriss Zelle B

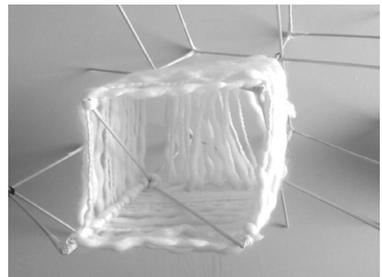


Foto: Platzierte Zelle B

Zelle C

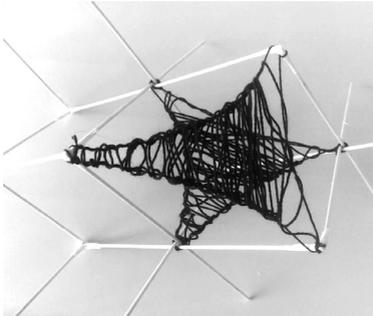
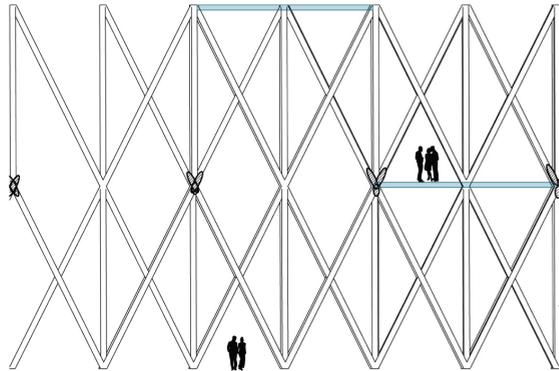


Foto: Platzierte Zelle C



Zeichnung: Schnitt Zelle C

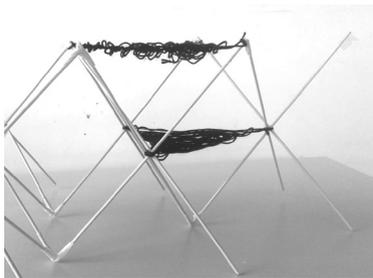
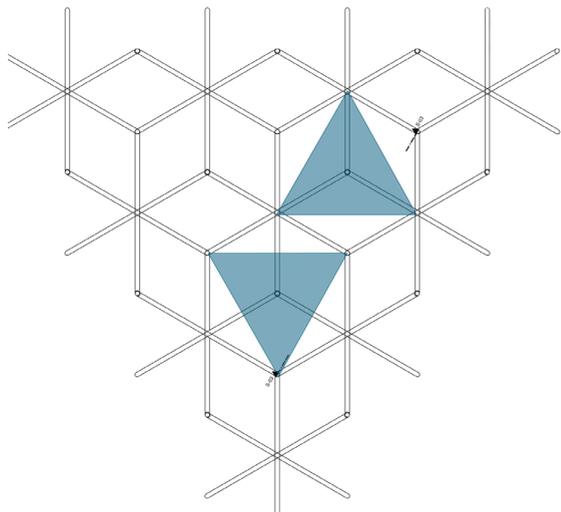


Foto: Platzierte Zelle C



Zeichnung: Grundriss Zelle C

Maria Arendt
Sarah M. Bandorf
Vanessa Fehrmann
Harun Tasci
Jan Patrick Wagner

Auf einer gekrümmten Mega-Struktur, die auf den Ansätzen und Patenten von Emilio Pérez Piñero basiert, werden mehrere verschiedene Zelltypen platziert.

Mega-Struktur | Die Mega-Struktur setzt sich aus Modulen eines dreieckigen Antiprismas zusammen, das aus drei Stäben besteht. Diese kreuzen sich in einem zentralen Knoten, der sich nicht in der geometrischen Mitte der jeweiligen Stäbe befindet. Aufgrund der Krümmung des Moduls entsteht durch Hinzufügen der verschiedenen Einheiten eine Halbkugel. Andererseits erzeugen Fügemodule aus drei Stäben sechseckige Perimeter in Assimilation eines Kreises. Die Stäbe bestehen aus Polyvinylchlorid (PVC), und die Verbindungen setzen sich aus Polyvinylchlorid (PVC) und Kunststoffbändern zusammen.

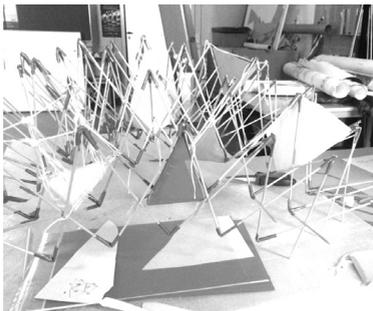
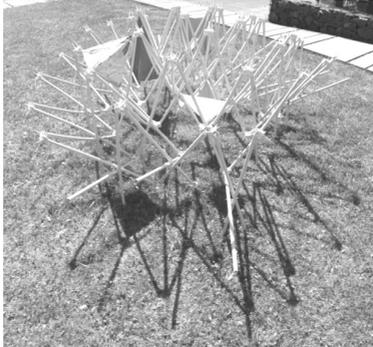
Die Zellen nehmen den negativen Raum der Mega-Struktur ein, aus denen die Geometrien entstehen.

Zelle A | Tetraeder, in dessen Kanten sich die Zentren der Stäbe treffen, die das Basismodul bilden. Die verschiedenen Positionen der Zelle im oberen Teil werden untersucht, wenn die Zelle durch die Geometrie des Behälters gedreht wird. Die Flächen des Tetraeders bestehen aus textilem Material.

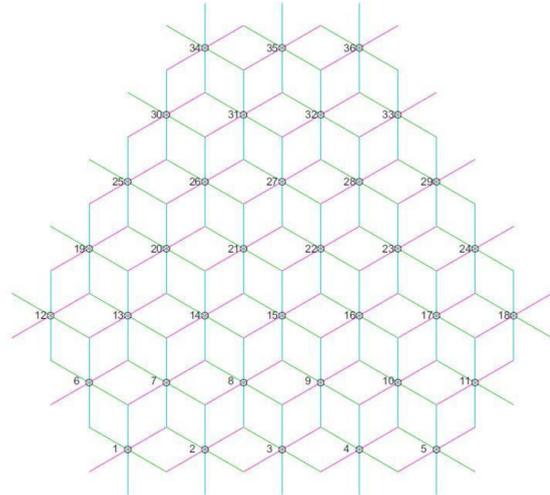
Zelle B | Tetraeder, in dessen Kanten sich die Zentren der Stäbe treffen, die das Basismodul bilden. Die verschiedenen Positionen der Zelle im unteren Teil werden untersucht, wenn die Zelle durch die Geometrie des Behälters gedreht wird. Die Flächen des Tetraeders bestehen aus textilem Material.

Zelle C | Die letzte Zelle entsteht durch die Vereinigung zweier Tetraeder, die ein Prisma bilden. Gleichzeitig werden die Möglichkeiten untersucht, weitere kleinere Tetraeder hinzuzufügen. Die Flächen des Tetraeders bestehen aus textilem Material.

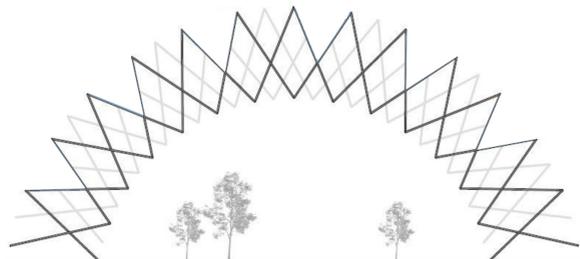
Mega



Fotos des Modellbaus



Zeichnung: Mega-Struktur nach EPP-Modul



Zeichnung: Schnitt Mega-Struktur

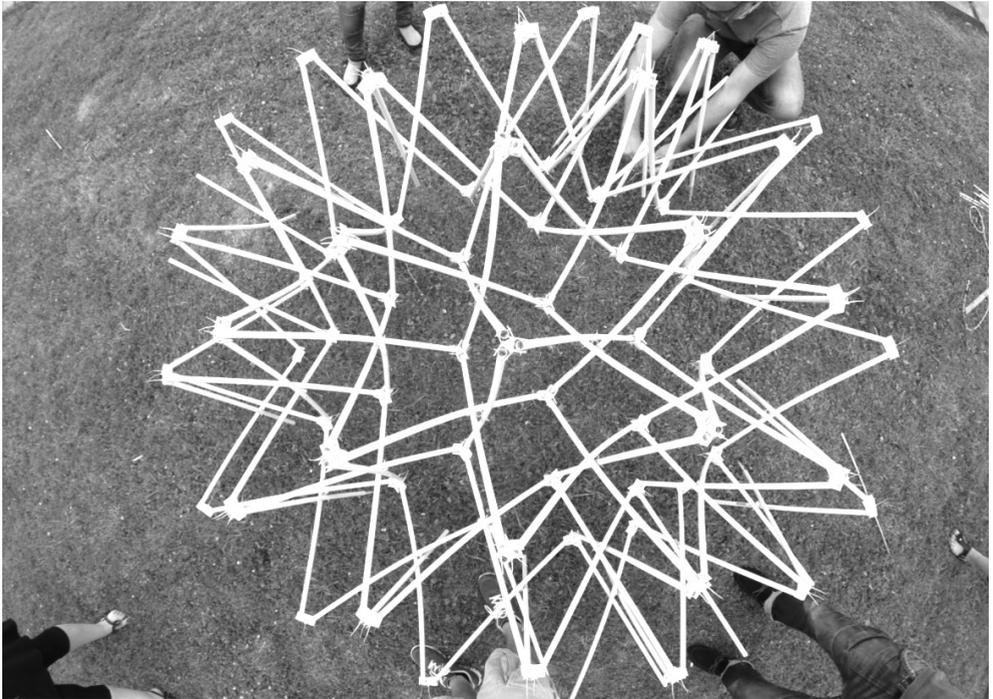
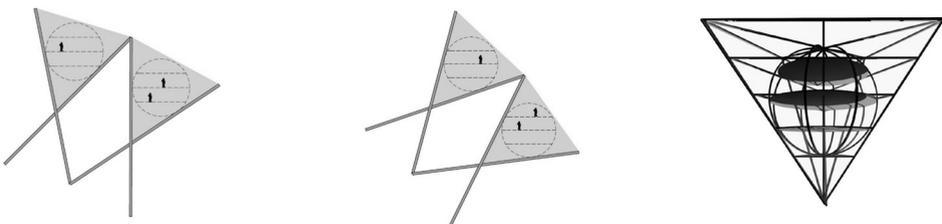
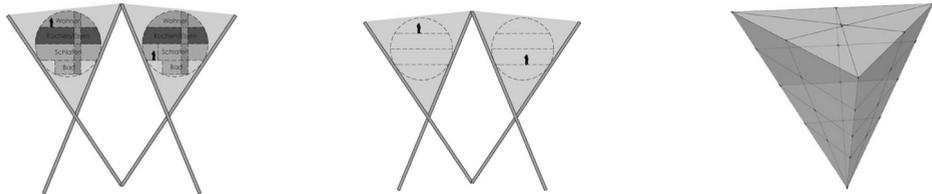


Foto: Entfaltetes Modell der Mega-Struktur



Fotomontage: Standort

Zelle A



Zeichnungen: Entwicklungsstadien Zelle A

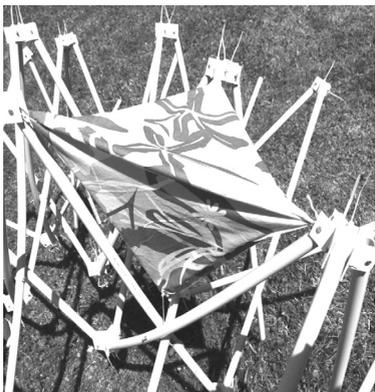
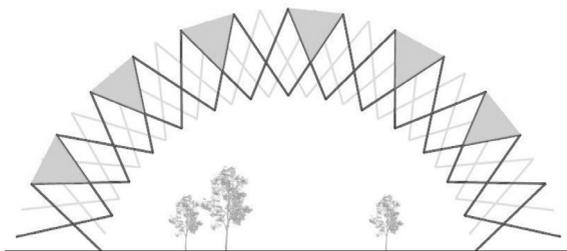
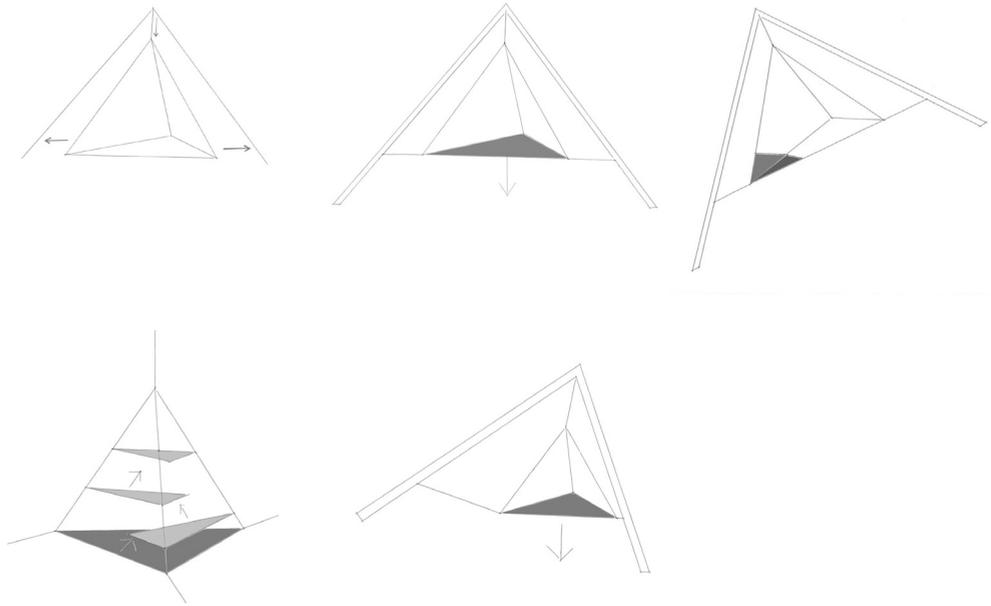


Foto: Platzierte Zelle A



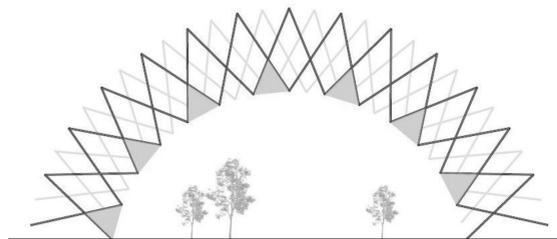
Zeichnung: Mega-Struktur mit positionierter Zelle A

||||| Zelle B



Zeichnung: Schema Zelle B

Zeichnungen: Entwicklungsstadien Zelle B



Zeichnung: Mega-Struktur mit positionierter Zelle B

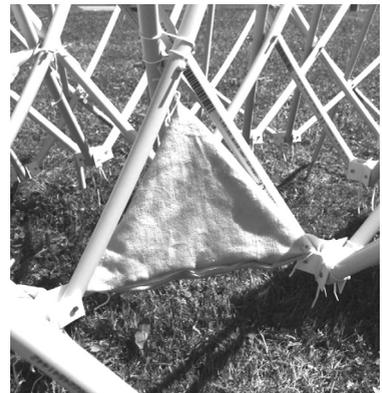
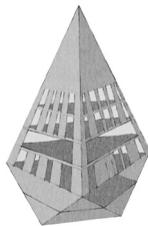
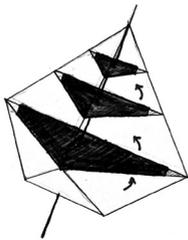


Foto: Platzierte Zelle B

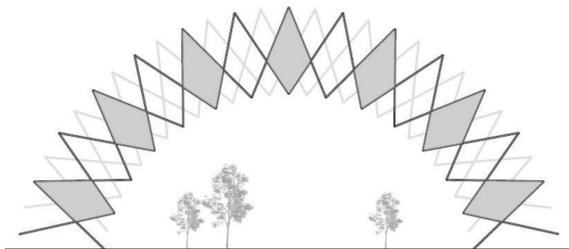
Zelle C



Zeichnungen: Entwicklungsstadien Zelle C



Foto: Platzierte Zelle C



Zeichnung: Mega-Struktur mit positionierter Zelle C

Auf einer gekrümmten Gitterstruktur, die auf den Ansätzen und Patenten von Felix Escrig basiert, werden mehrere verschiedene Zelltypen platziert.

Megastruktur | Die Mega-Struktur besteht aus dem sogenannten Dreiecksprisma, das sich aus drei Scherensystemen mit zwei Stäben zusammensetzt, die sich in der geometrischen Mitte kreuzen. Daher gibt es keine Krümmung und die erzeugte Struktur ist flach. Andererseits entsteht durch die Verbindung von Dreiecksmodulen, deren Anzahl in diesem Fall sechs beträgt, ein hexagonaler Umriss in einer Schicht, in Assimilation eines Kreises. Das Modell besteht aus zwei Schichten, die in einem vertikalen Wachstum überlagert sind. Die Stäbe und die Verbindungen bestehen aus Holz.

Die Zellen nehmen den negativen Raum der Mega-Struktur ein, aus denen die Geometrien entstehen.

Zelle A | Besetzt den Innenraum des Dreiecksprismas. Der Querschnitt variiert von der dünner werdenden Dreiecksbasis bis zum Dreieck, dessen Ecken sich in den Zwischenknoten der Stäbe befinden und die Basis des ursprünglichen Dreiecksprismas wiederherstellen. Die Zelle kann sich in zwei Höhen entwickeln. Die Seiten des Prismas mit variablem Querschnitt bestehen aus textilem Material.

Zelle B | Experimentiert mit dem unteren Teil des dreieckigen Prismas. Es ist die Hälfte von Zelle A. Es gibt kein endgültiges formales Ergebnis, sondern verschiedene Optionen rund um dieselbe Idee. Die Seiten des Prismas mit variablem Querschnitt bestehen aus textilem Material.

Mega

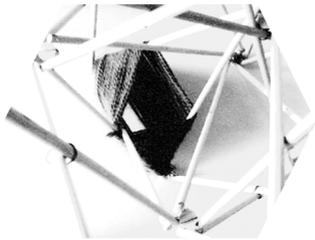


Foto: Entfaltete Mega-Struktur mit positionierter Zelle

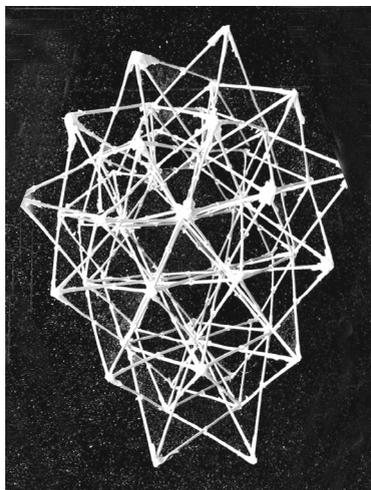
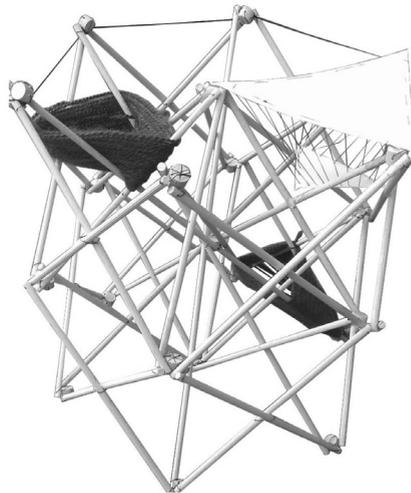
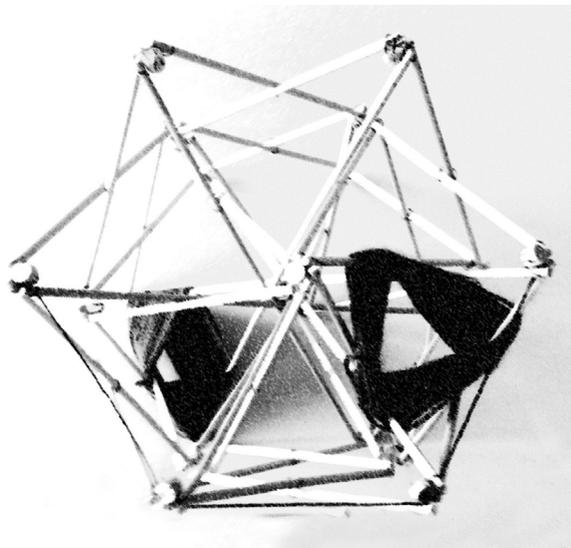
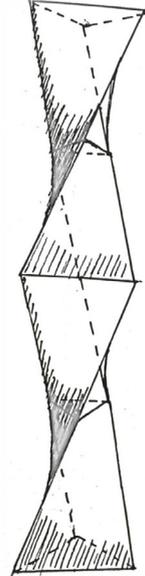
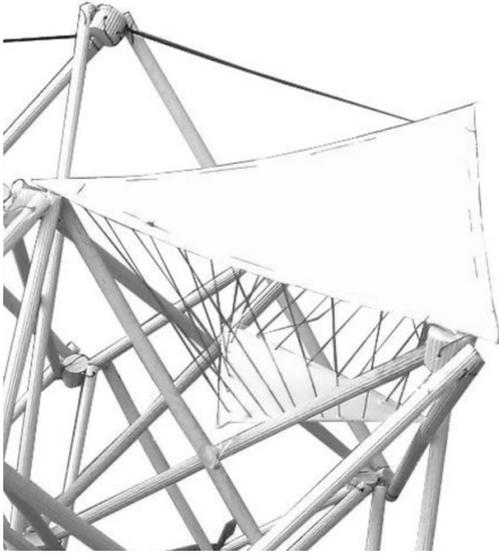


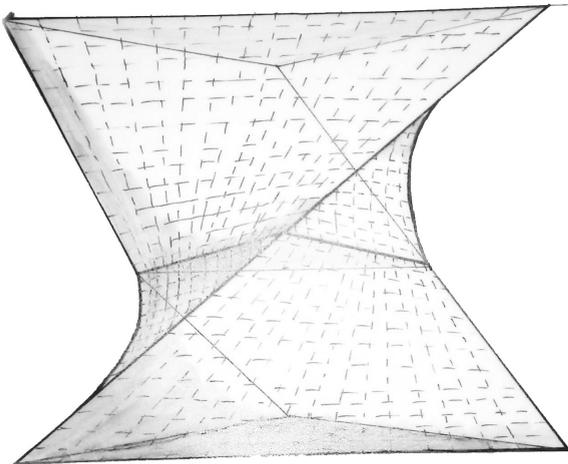
Foto: Entfaltete Mega-Struktur



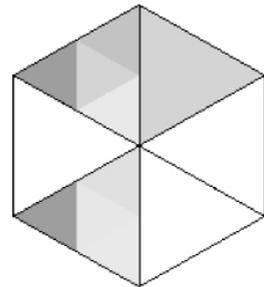
Fotos: Entfaltete Mega-Struktur mit positionierter Zelle



Zeichnung: Überlagerung Zelle



Zeichnungen: Geometrie Zelle A



Zeichnung: Grundriss Zelle A

Zelle B

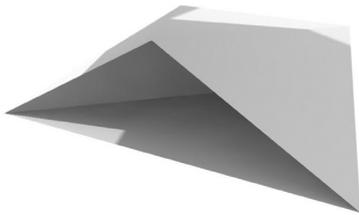
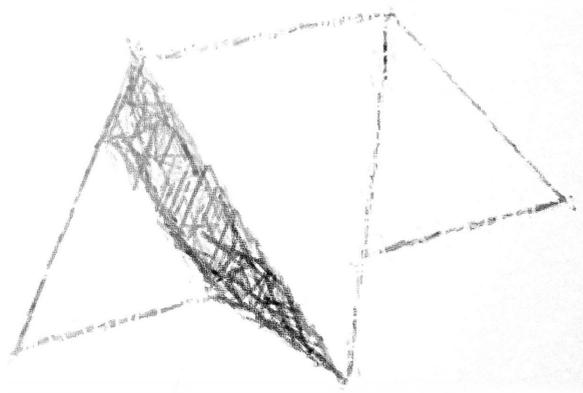


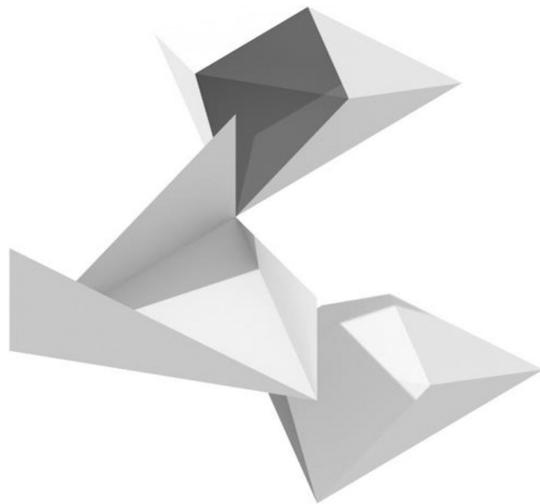
Foto: Modell



Zeichnung: Idee Zelle B



Foto: Entfaltete Mega-Struktur



Zeichnung; Entwicklung Zelle B

Ramona Berens
Eva Henkel
Maren Chmielewski
Lisa Thome

Mehrere verschiedene Zelltypen sind auf einer flachen retikulären Mega-Struktur platziert, die auf den Modulen von Emilio Pérez Piñero basiert. Es werden vier Prototypen der Zellen vorgestellt.

Mega-Struktur | Das Modul bildet ein dreieckiges Antiprisma, das Emilio Pérez Piñero in seinem Patent von 1961 dokumentiert. Es handelt sich um drei Stäbe, die sich in der geometrischen Mitte kreuzen und eine flache Netzstruktur ohne jegliche Krümmung erzeugen. Die Stäbe bestehen aus Polyvinylchlorid (PVC) und die Verbindungen setzen sich aus Polyvinylchlorid (PVC) und Kunststoffbändern zusammen.

Die Zellen nehmen den negativen Raum der Mega-Struktur ein, aus denen die Geometrien entstehen.

Zelle A | Pyramide mit rechteckiger Grundfläche innerhalb der Stäbe, die die Wohnzelle bilden. Die Seiten der Pyramide bestehen aus textilem Material.

Zelle B | Abgeschrägtes Trapezoid mit dreieckiger Grundfläche. Die dreieckigen Sockel befinden sich in den untersten und den mittleren Knoten. Die Flächen des Prismas bestehen aus textilem Material.

Zelle C | Die Einheit ist ein Tetraeder. Die dreieckige Basis befindet sich in den Zwischenknoten, während die Oberkante in den Oberknoten angeordnet ist. Die Seiten des Tetraeders bestehen aus textilem Material.

Zelle D | Unregelmäßiges Polyeder mit acht Flächen. Alle acht Flächen bestehen aus gleichen gleichseitigen Dreiecken. Auch die Sockel, die sich an den unteren und mittleren Knoten befinden und auf die sich die Flächen stützen, werden von Dreiecken gebildet. Diese sind jedoch untereinander verdreht. Die Flächen des Polyeders bestehen aus textilem Material.

Mega

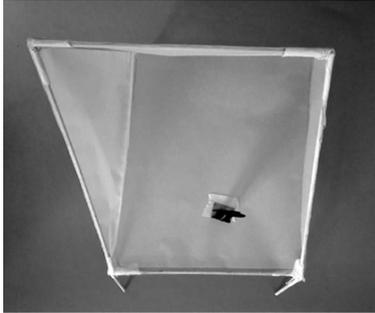
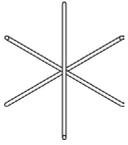


Foto: Zelle A

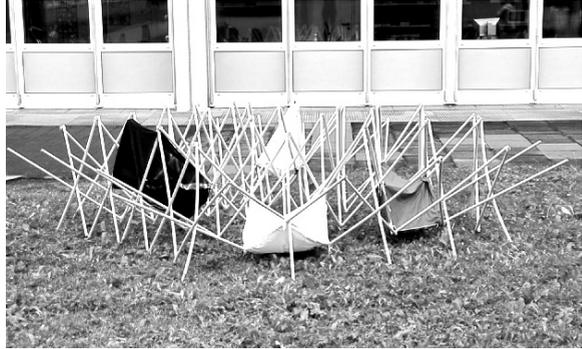


Foto: Mega-Struktur maximal entfaltet

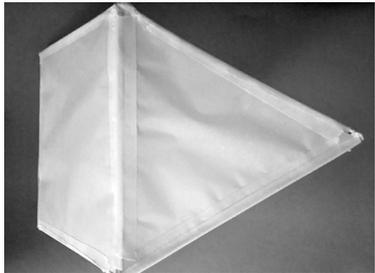


Foto: Zelle B

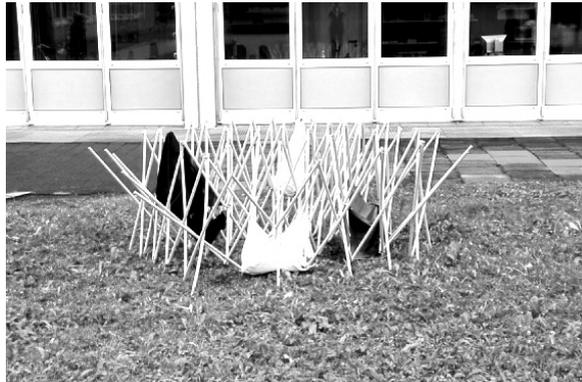


Foto: Mega-Struktur, Stadium des Faltungsprozesses

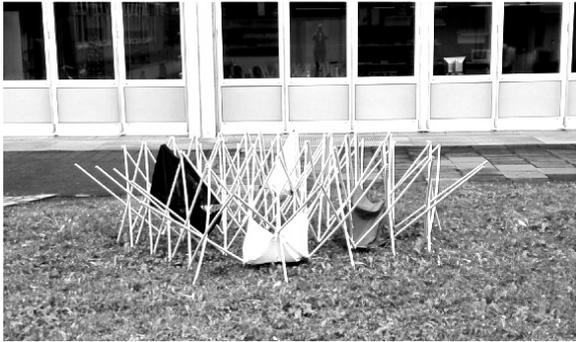


Foto: Mega-Struktur, Stadium des Faltungsprozesses



Foto: Zelle C



Foto: Mega-Struktur maximal gefaltet



Foto: Zelle D

Mega



Foto: Gefaltetes Modell

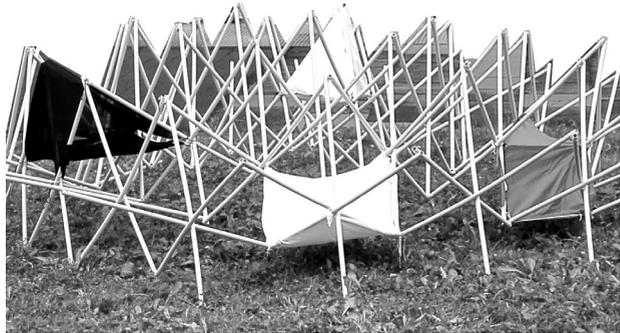
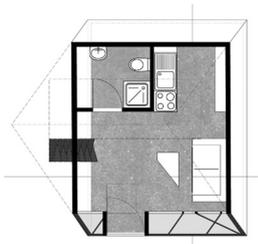
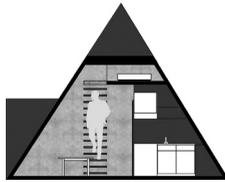
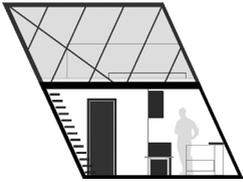


Foto: Entfaltete Mega-Struktur mit Zellen



Foto: Entfaltetes Modell



Zeichnungen: 2D-Darstellung



Foto: Modell einer Zelle

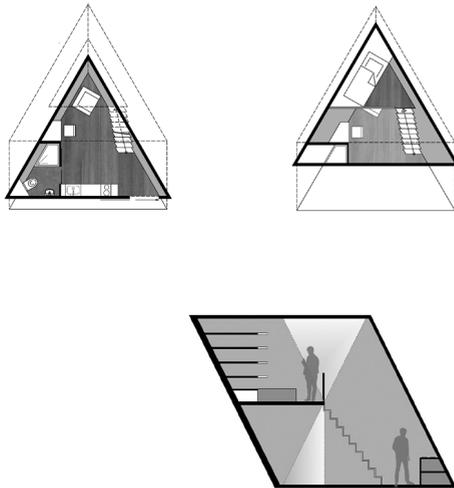


Foto: Modell der Hülle

Zelle B



Foto: Modell der Hülle



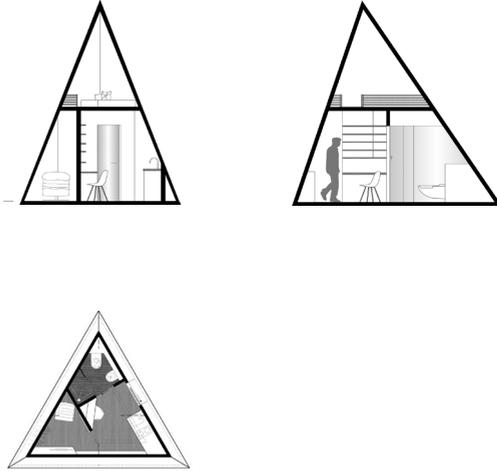
Zeichnungen: 2D-Darstellung



Foto: Modell der Zelle



Foto: Modell einer Zelle



Zeichnungen: 2D-Darstellung

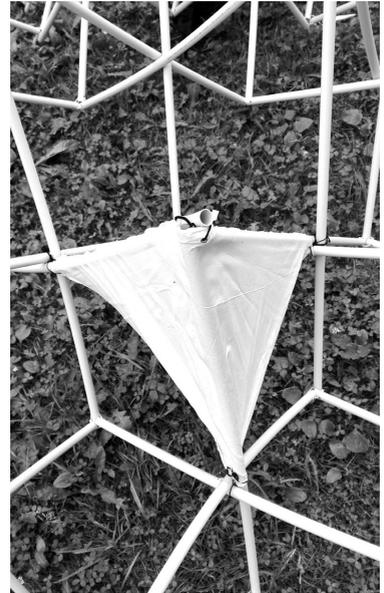


Foto: Modell der Hülle

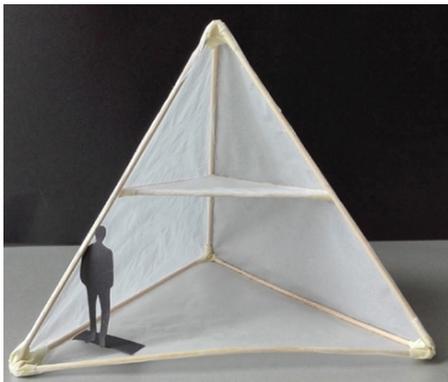


Foto: Modell einer Zelle

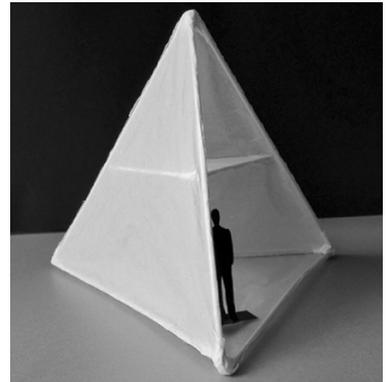
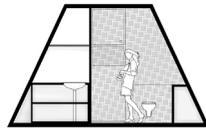
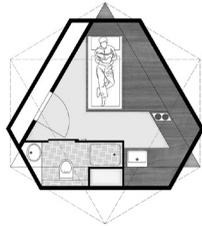


Foto: Modell der Zelle

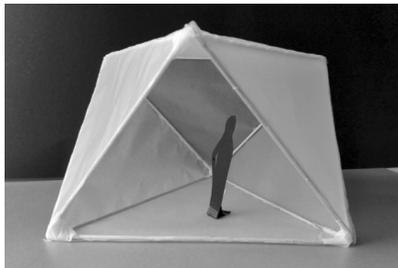
Zelle D



Foto: Modell der Hülle



Zeichnungen: 2D-Darstellung



Fotos: Modell einer Zelle

Theresa Gartz
Hannah Klandt
Fan Zhou
Carina Schedel

Mehrere verschiedene Zelltypen sind auf einer flachen retikulären Mega-Struktur platziert, die auf den Modulen von Emilio Pérez Piñero basiert. Es werden vier Prototypen der Zellen vorgestellt.

Megastruktur | Die Mega-Struktur bildet in diesem Fall das Modul eines dreieckigen Antiprismas, das Emilio Pérez Piñero in seinem Patent von 1961 dokumentiert. Es besteht aus drei Stäben, die sich in der geometrischen Mitte kreuzen. Die Module werden vertikal, ohne definierte geometrische Konturen verbunden. Die Stäbe bestehen aus Holz und die Verbindungen werden mit Metallschrauben hergestellt.

Die Zellen nehmen den negativen Raum der Mega-Struktur ein, aus denen die Geometrien entstehen.

Zelle A | Die Einheit ist ein unregelmäßiges siebenseitiges Polyeder, das sich aus drei Rhomben, drei Dreiecken und einer dreieckigen Basis zusammensetzt. Die Sockel befinden sich in den unteren Knoten. Die Zellen bestehen aus steifer Pappe.

Zelle B | Schräges Trapezprisma mit dreieckiger Grundfläche. Die dreieckigen Sockel befinden sich in den äußeren unteren und in den mittleren Knoten. Die Flächen des Prismas bestehen aus textilem Material.

Zelle C | Die Einheit besteht aus zwei Tetraedern oder einer Pyramide mit einer rhomboedrigen Basis. Die Flächen bestehen aus steifer Pappe.

Zelle D | Die Einheit ist ein unregelmäßiger Polyeder mit acht Flächen. Alle Seiten sind gleichseitige Dreiecke. Der Sockel nimmt daher die Form von Dreiecken an, die sich allerdings ineinander verdrehen. Die verschiedenen Studien zu der Zelle werden mit einem CAD-Programm durchgeführt.

Mega

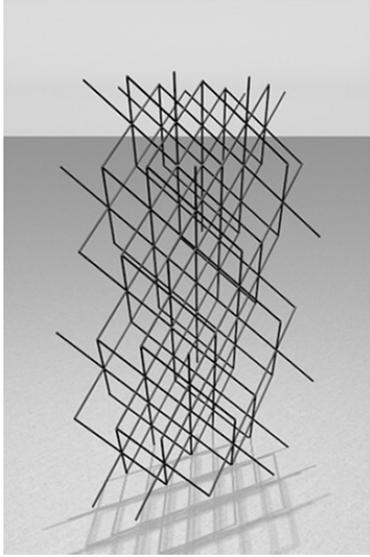
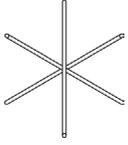


Foto: Mega-Struktur

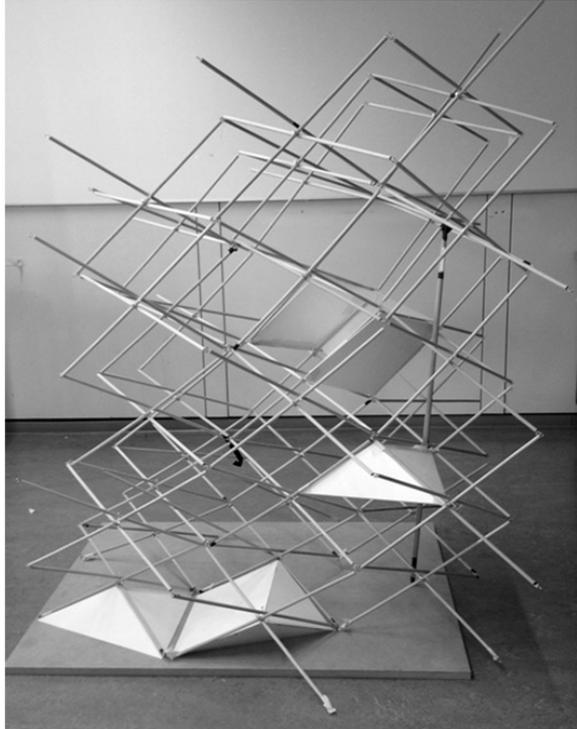


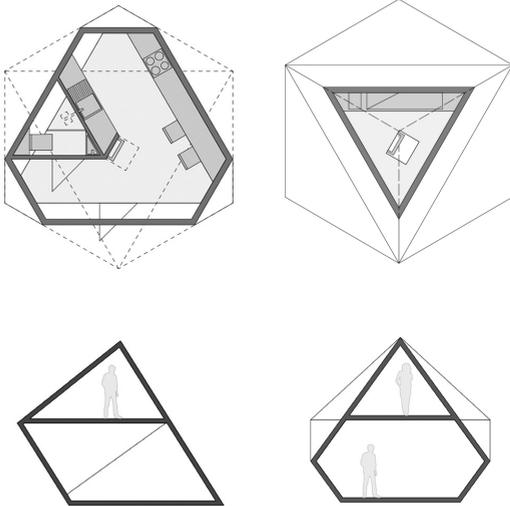
Foto: Platzierte Zelle



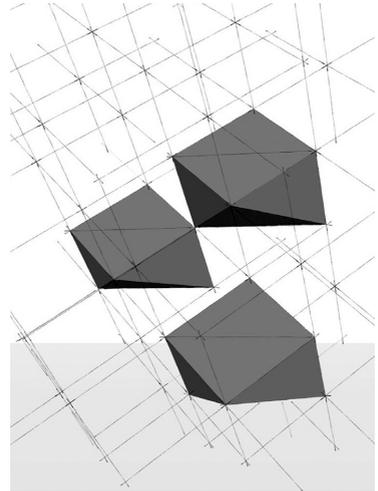
Foto: Detail Knotenpunkt



Foto: Detail Knotenpunkt



Zeichnungen: 2D-Darstellung



Zeichnungen: 3D-Darstellung

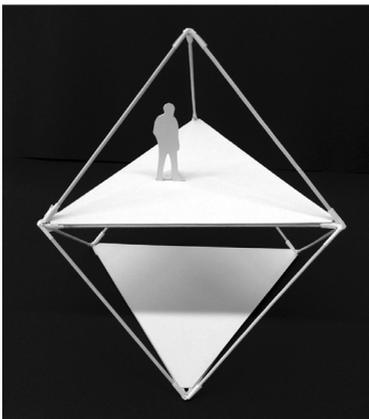


Foto: Modell der Zelle

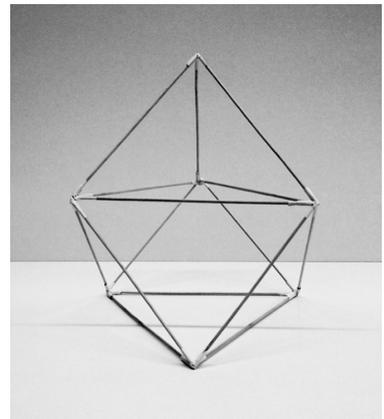


Foto: Systemmodell

Zelle A

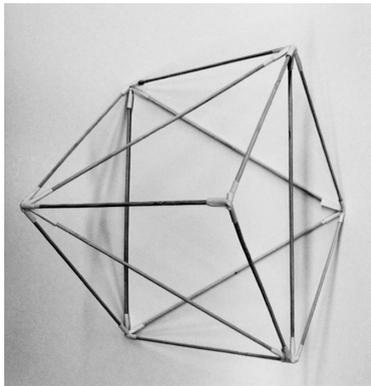


Foto: Systemmodell

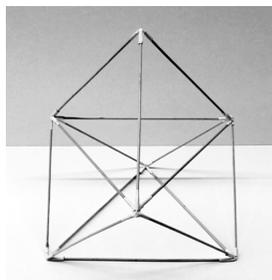
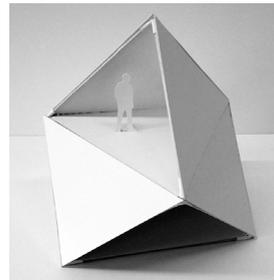
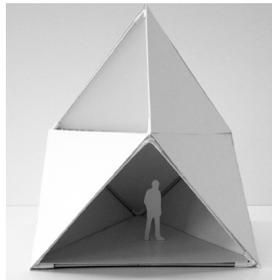


Foto: Modell Zelle A

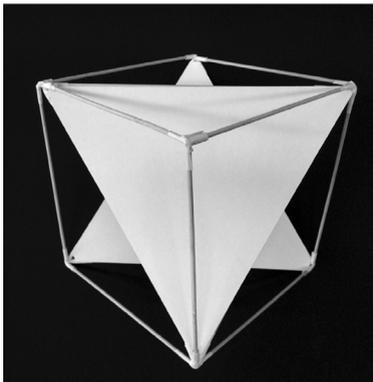
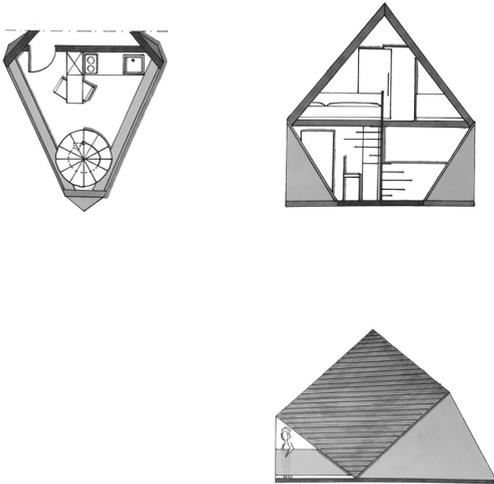


Foto: Modell der Zelle

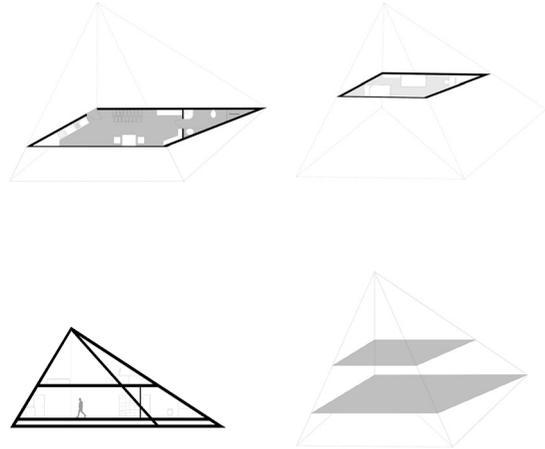
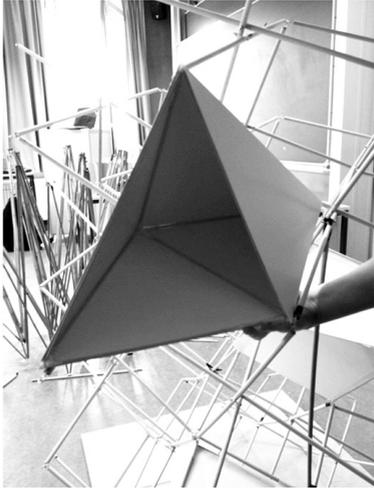


Zeichnungen: 2D-Darstellung



Foto: Modell der Zelle

Zelle C



Zeichnungen: 2D-Darstellung

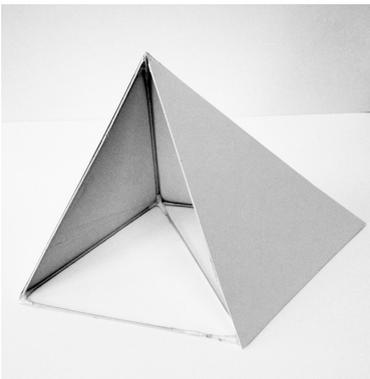


Foto: Systemmodell

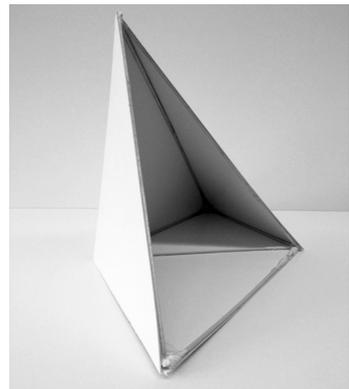
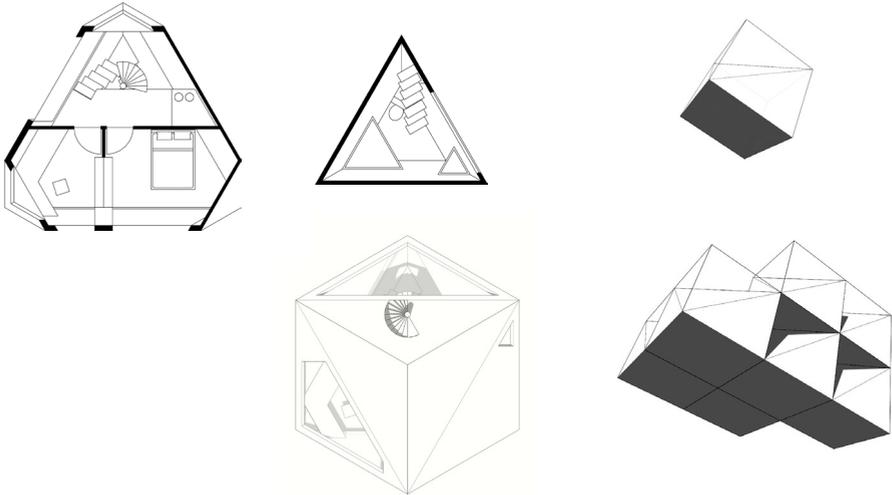


Foto: Systemmodell



Zeichnungen: 2D-Darstellung

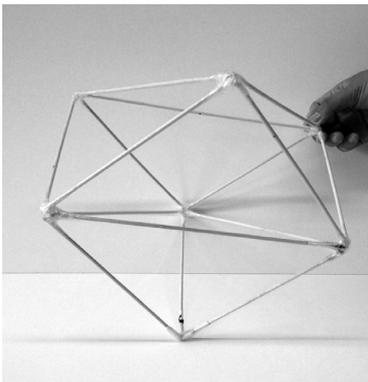
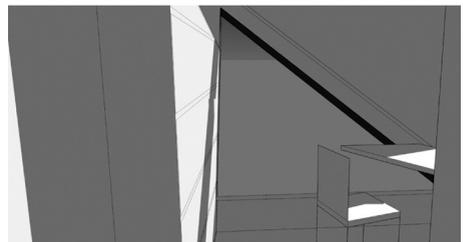
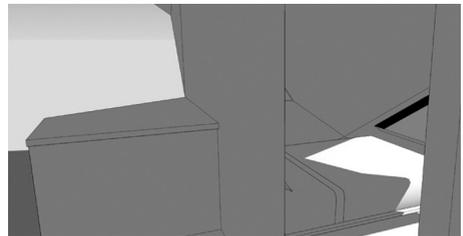


Foto: Systemmodell



Zeichnungen: 3D-Darstellung

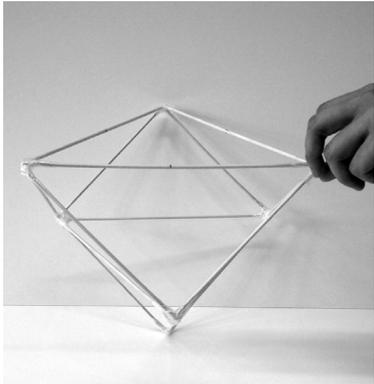
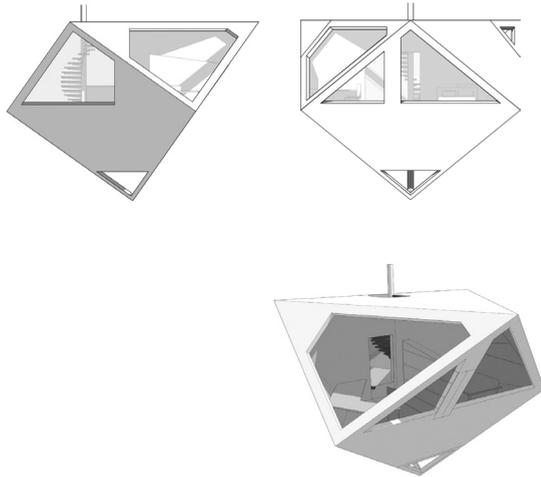
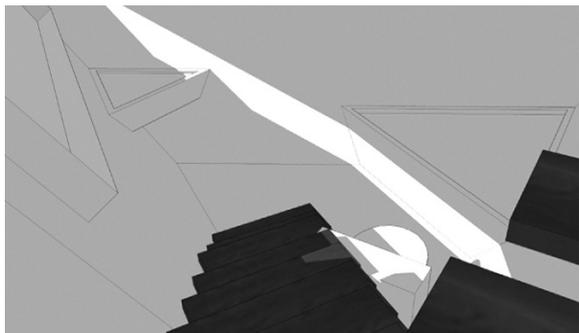


Foto: Systemmodell



Zeichnungen: 3D-Darstellung



Zeichnung: 3D-Darstellung

David Albrecht
Joelle Jacqué
Arash Dadafarin
Stefanie Schild

Mehrere verschiedene Zelltypen sind auf einer gekrümmten Gitterstruktur, basierend auf den Modulen Felix Escrigs, platziert. Es werden von diesen Zellen vier Prototypen vorgestellt.

Megastruktur | Die Mega-Struktur setzt sich aus Modulen in Form von dreieckigen Pyramidenstümpfen zusammen. Das Modul besteht aus drei Scherensystemen mit zwei Stäben, die sich in einem zentralen Knoten kreuzen. Dieser Knoten liegt allerdings nicht in der geometrischen Mitte. Durch die auftretende Krümmung entsteht eine kugelförmige Struktur. Andererseits wird durch die Verbindung von Dreiecksmodulen, deren Anzahl in diesem Fall sechs beträgt, ein hexagonaler Umriss in einer Schicht in Assimilation eines Kreises erzeugt. Die Stäbe bestehen aus Holz und die Verbindungen aus Kunststoff.

Die Zellen nehmen den negativen Raum der Mega-Struktur ein, aus denen die Geometrien entstehen.

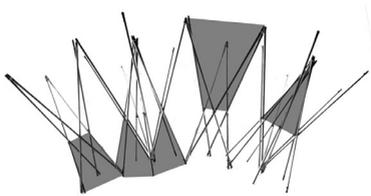
Zelle A | Besetzt den Innenraum des dreieckigen Pyramidenstumpfes. Die dreieckige Grundfläche besetzt die unteren Knoten und die oberen Flächen die mittleren Knoten. Die Flächen der Zellen bestehen aus textilem Material.

Zelle B | Pyramide mit sechseckiger Grundfläche. Der Sockel wird in den mittleren Knoten befestigt, wobei immer sechs Module miteinander verbunden werden. Die Flächen der Pyramide bestehen aus textilem Material.

Zelle C | Raum, der durch das Schneiden zweier sechseckiger Pyramiden entsteht. Der Sockel einer Pyramide befindet sich dabei an den oberen Knoten, der Sockel der anderen an den unteren. Die Flächen der Zellen bestehen aus textilem Material.

Zelle D | Besetzt den Innenraum des dreieckigen Pyramidenstumpfes. Die dreieckige Grundfläche besetzt die mittleren Knoten und die oberen Flächen die oberen Knoten. Die Flächen der Zellen bestehen aus festem Karton.

Mega



Zeichnung: Platzierte Zelle



Foto der Megastruktur

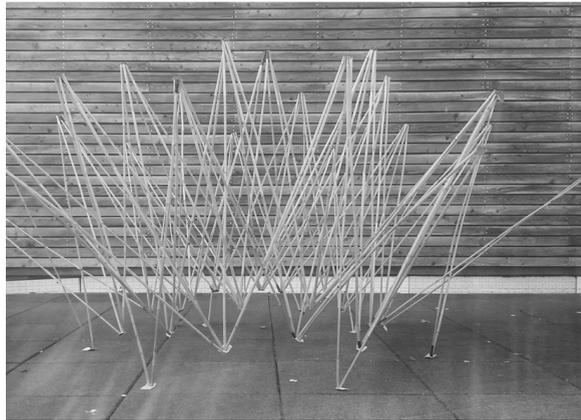


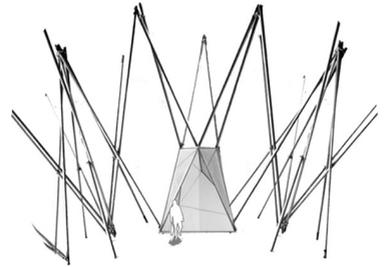
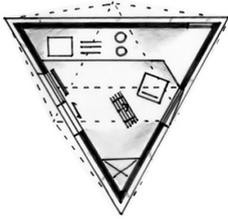
Foto: Modell entfaltet



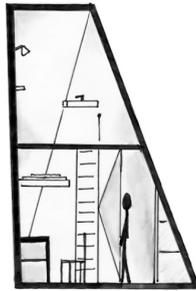
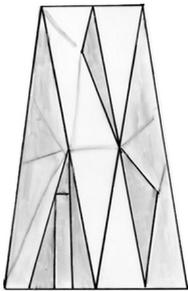
Foto: Ausschnitt des Modells



Foto: Modell gefaltet



Zeichnung: Platzierte Zelle



Zeichnungen: 2D Darstellung

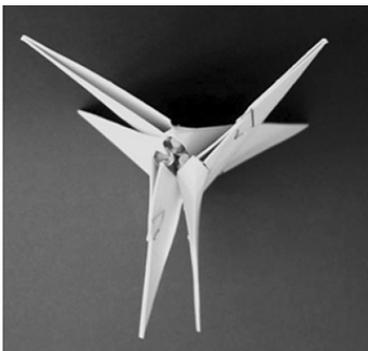


Foto: Zelle gefaltet

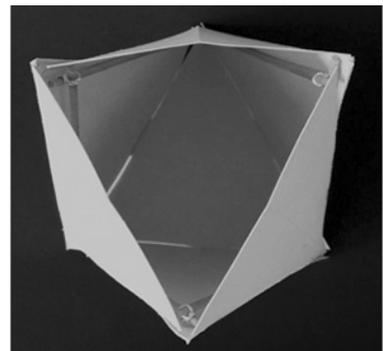
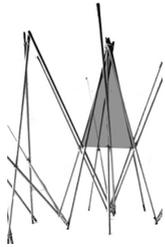
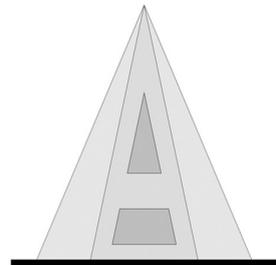
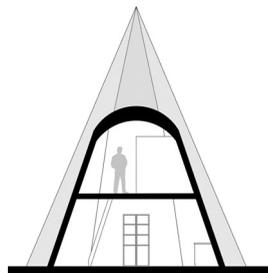
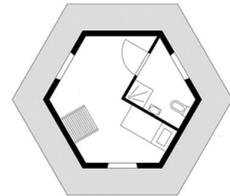
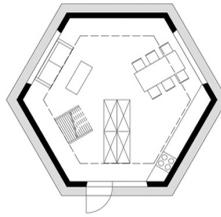


Foto: Zelle entfaltet

Zelle B



Zeichnung: Platzierte Zelle



Zeichnungen: 2D Darstellung

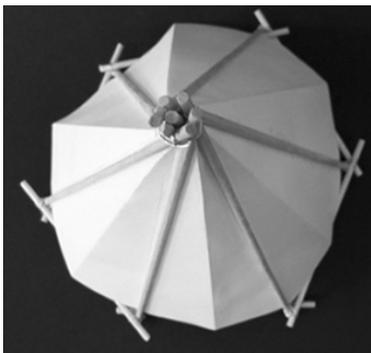


Foto: Zelle entfaltet

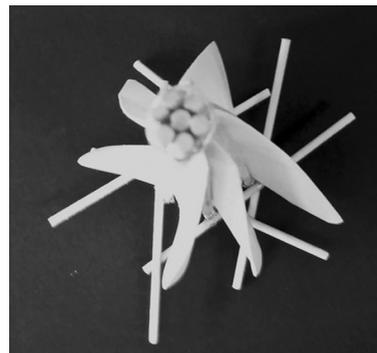
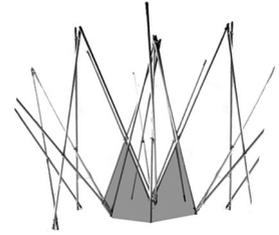
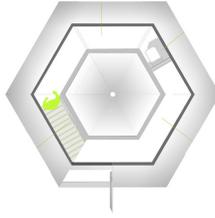
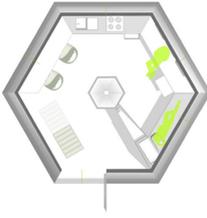
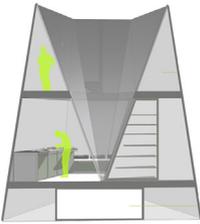


Foto: Zelle gefaltet



Zeichnung: Platzierte Zelle



Zeichnungen: 2D Darstellung

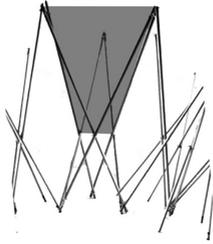


Foto: Zelle gefaltet

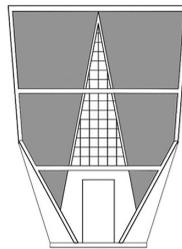
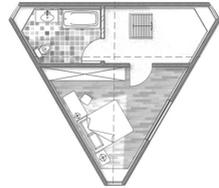
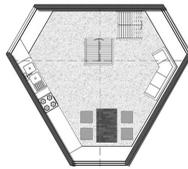


Foto: Zelle entfaltet

Zelle D



Zeichnung: Platzierte Zelle



Zeichnungen: 2D Darstellung

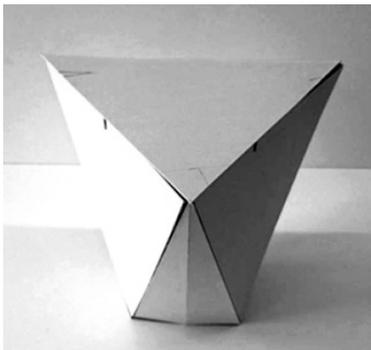


Foto: Modell Zelle D

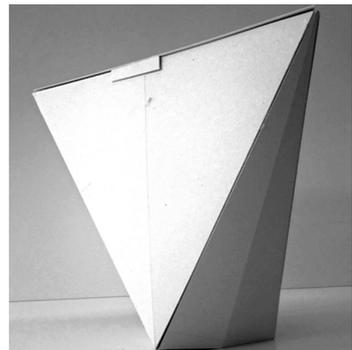


Foto: Modell Zelle D

Bewegliche Tragwerke | Digital

Bewegliche Tragwerke | Digital

Im digitalen Teil der Seminare in den Jahren 2017, 2018 und 2019 wird das erlernte Wissen über die Strukturen von Emilio Pérez Piñero und Félix Escrig erneut genutzt und digitale Werkzeuge, von Zeichenmedien, wie beispielsweise CAD-Programmen, bis zu Maschinen zum Laserschneiden und Fräsen, für die Prototypentwicklung eingesetzt. Die digitalen Werkzeuge stellen innovative Lehrmethoden für Architekturstudierende dar, da eine genauere Darstellung der Realität sowie eine parallele Kontrolle zwischen Design und Produktion möglich sind. Es werden verschiedene Prototypen auf der Grundlage von faltbaren Strukturen entworfen und hergestellt, die den Raum kolonisieren und vorübergehend bewohnt sein sollen. Die unterschiedlichen Konzepte implizieren eine Idee der Unbestimmtheit. Die Studien betrachten die verschiedenen Möglichkeiten einer Realisierung innerhalb einer minimalen Lücke unter Berücksichtigung der Tragkonstruktion, aus der sich die faltbaren Mega-Strukturen aufbauen. Die Prototypen der faltbaren Module basieren auf den Patenten von Emilio Pérez Piñero und Félix Escrig mit einer vorgegebenen Grundfläche von 2,5 m auf 2,5 m.

Esra Dumanoglu
Iper Coksaman
Thomas Neufeld
Hariz Ferati

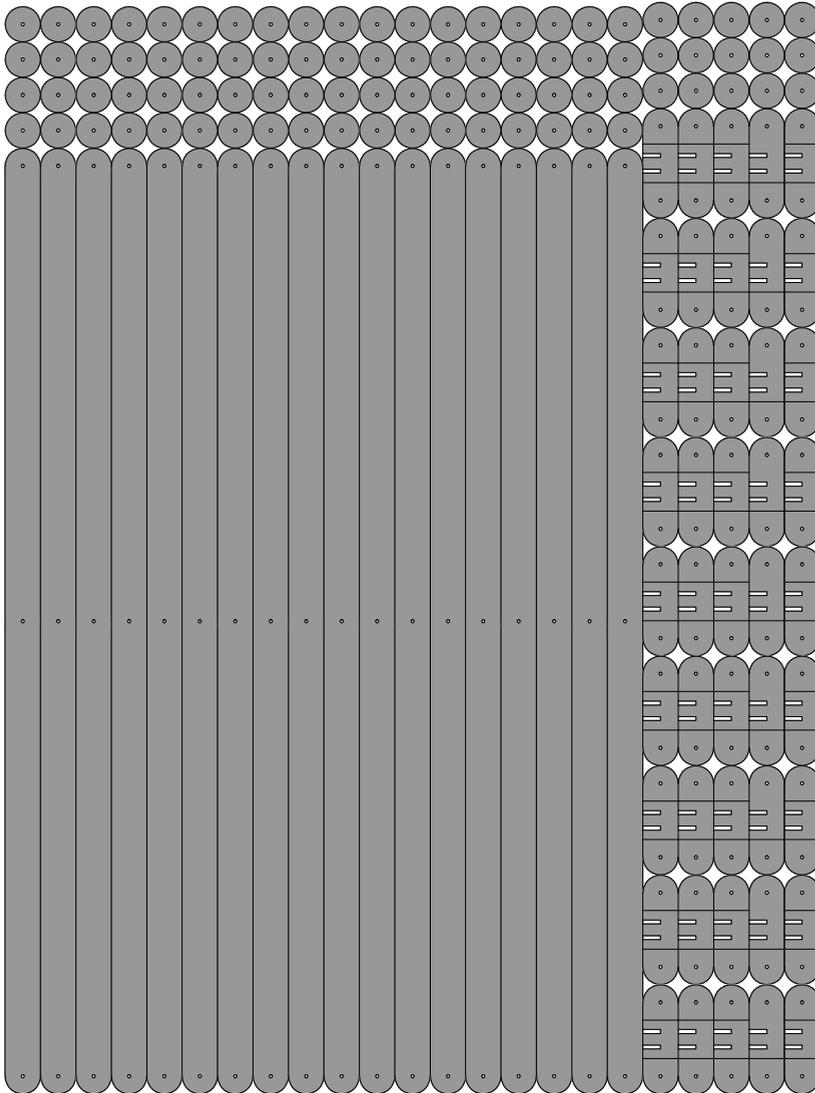
Der Entwurf sieht Module vor, dessen Geometrie einem dreieckigen Prisma entspricht. Die kleine Wohnzelle ist als Ort zum Ausruhen, Lesen oder zum Zurückziehen gedacht. Durch das Hinzufügen eines textilen Daches ergibt sich auch ein Schutz vor der äußeren Umgebung. Das gebaute Modell ist unabhängig von einer vorgegebenen Nutzung und bietet zusätzlich die Möglichkeit für den Gebrauch als Regal, Wandschirm oder Raumtrennung.

Typologie | Zur Herstellung des Prototyps wird das 1984 von Felix Escrig patentierte reguläre dreieckige Prisma verwendet. In jeder Fläche des Prismas befinden sich zwei Stäbe, die ein Scherensystem bilden und in der geometrischen Mitte verbunden sind. Es sind insgesamt drei Systeme, die die Bewegungen des Ein- und Auseinanderfaltens ermöglichen. Dieses Modul bietet auch eine Addition der Prototypen, der wiederum gefaltet und aufgeklappt werden können. Der Knoten muss bei dem einfachsten Modul drei Stäbe aufnehmen und sechs Stäbe bei Verbindung zu einem Sechseck.

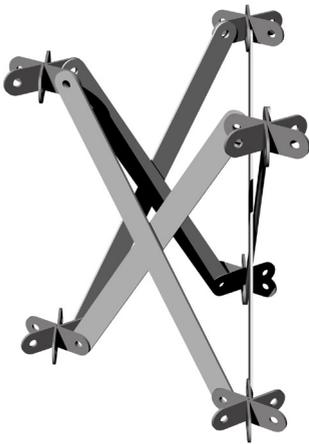
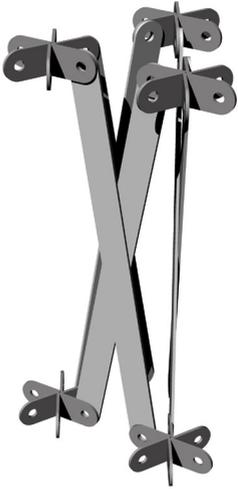
Stabilität | Der Prototyp erhält die Stabilität durch die geometrische Grundform des Dreiecks, aus dem die regulären dreieckigen Prismen bestehen. Um die Bewegung des Entfaltens kontrollieren zu können, werden weitere Stäbe entworfen, die an den Kanten des dreieckigen Sockels befestigt sind und die Bewegungen begleiten. Die Aufgabe besteht darin, das Verschieben des Prototyps zu beenden, sobald die endgültige Position erreicht ist. Diese Stäbe werden genutzt, um die Figur an den entscheidenden Stellen zu versteifen, um die höchsten Stellen zusammen zu klammern.

Materialität | Die Stäbe bestehen aus 3 mm dickem, recyceltem und verdichtetem Karton, auch als finnische Holzpappe bezeichnet. Die Fügung der Stäbe im Scherensystem erfolgt mit metallischen Musterbeutelklammern.

Lebensraum



Zeichnung: Schnittplan

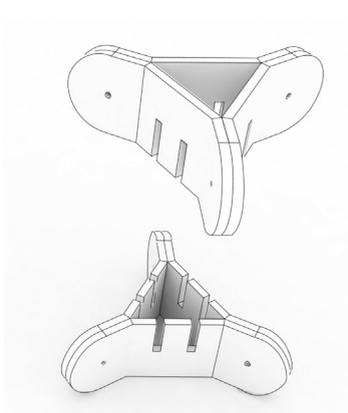
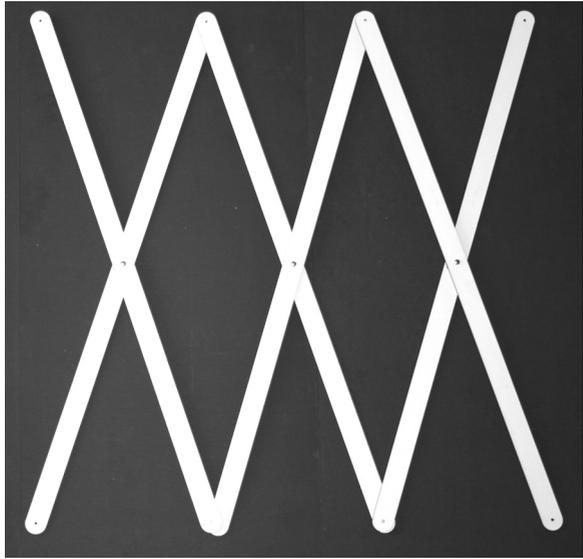


Zeichnung: Reguläres dreieckiges Prisma

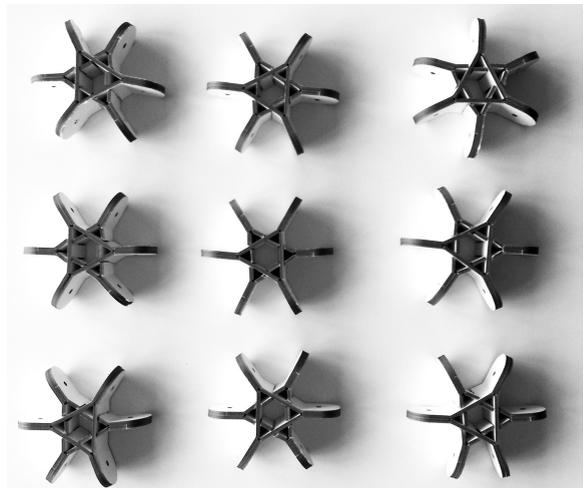


Foto: Modell des Moduls

Teilstücke |||||



Zeichnung: Stäbe und Knoten



Fotos Stäbe und Knoten

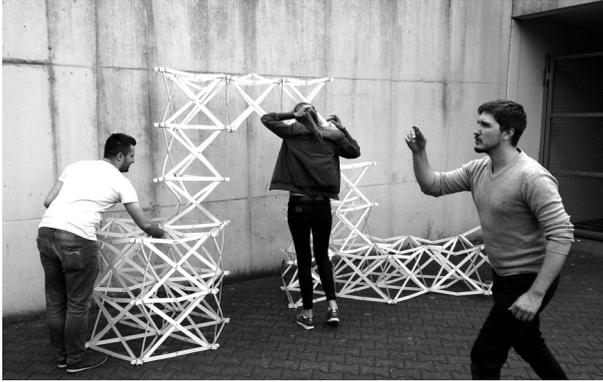
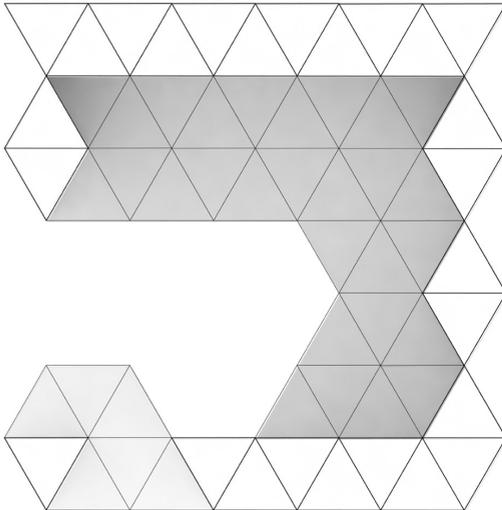


Foto des Aufbaus



Zeichnung: Grundriss Prototyp

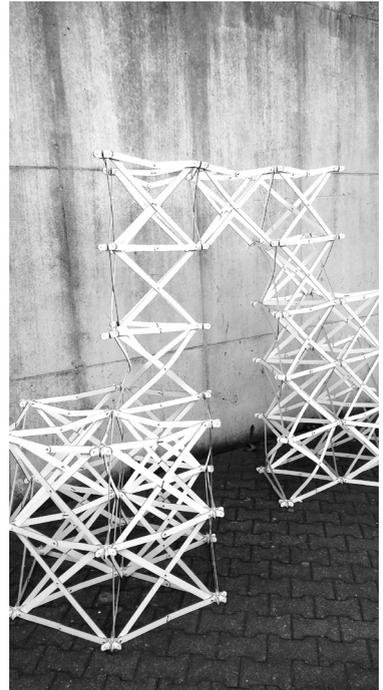
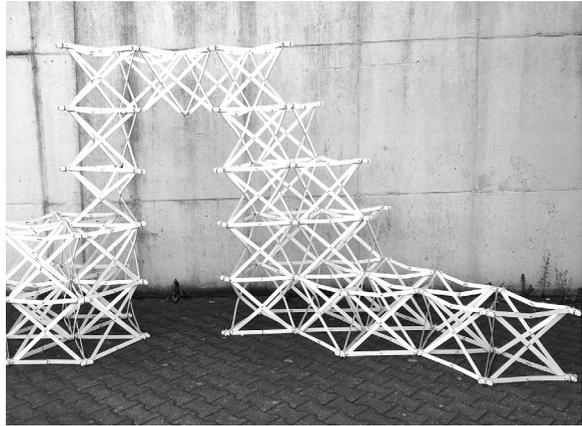
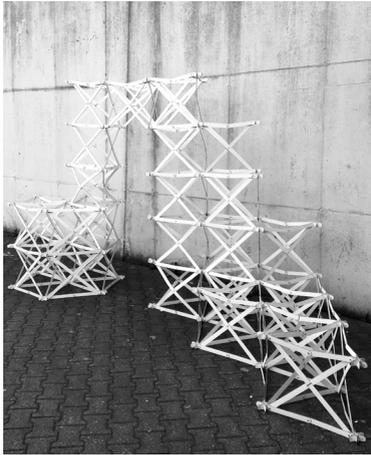
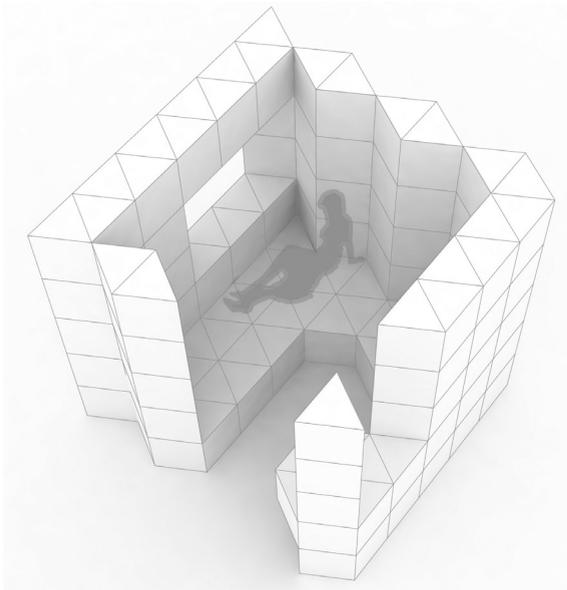


Foto: Prototyp

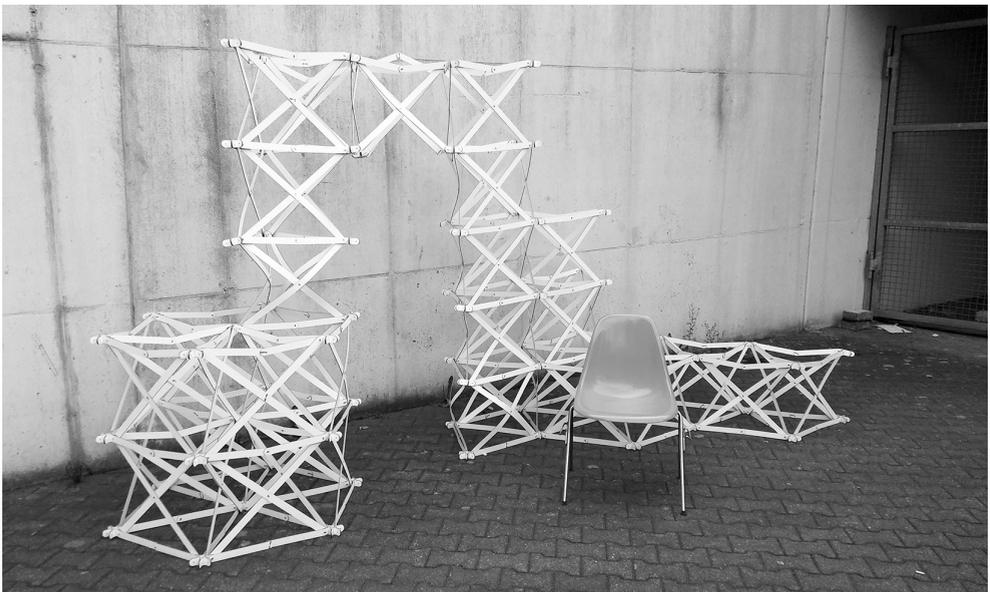
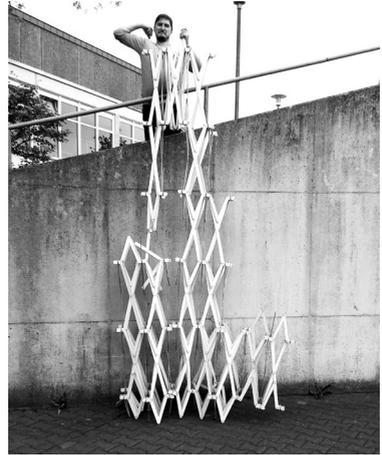
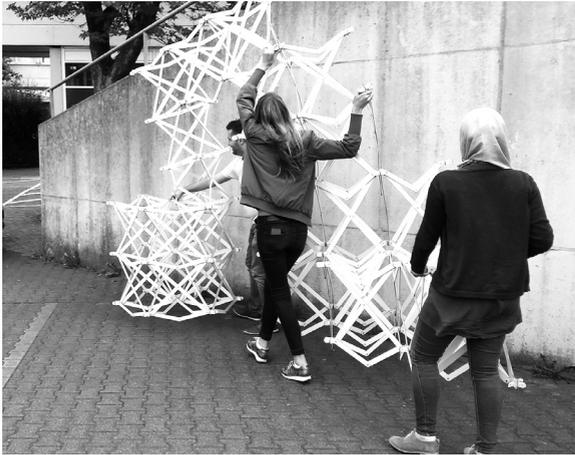
Axonometrie |||||



Fotos: Teilstücke Prototyp

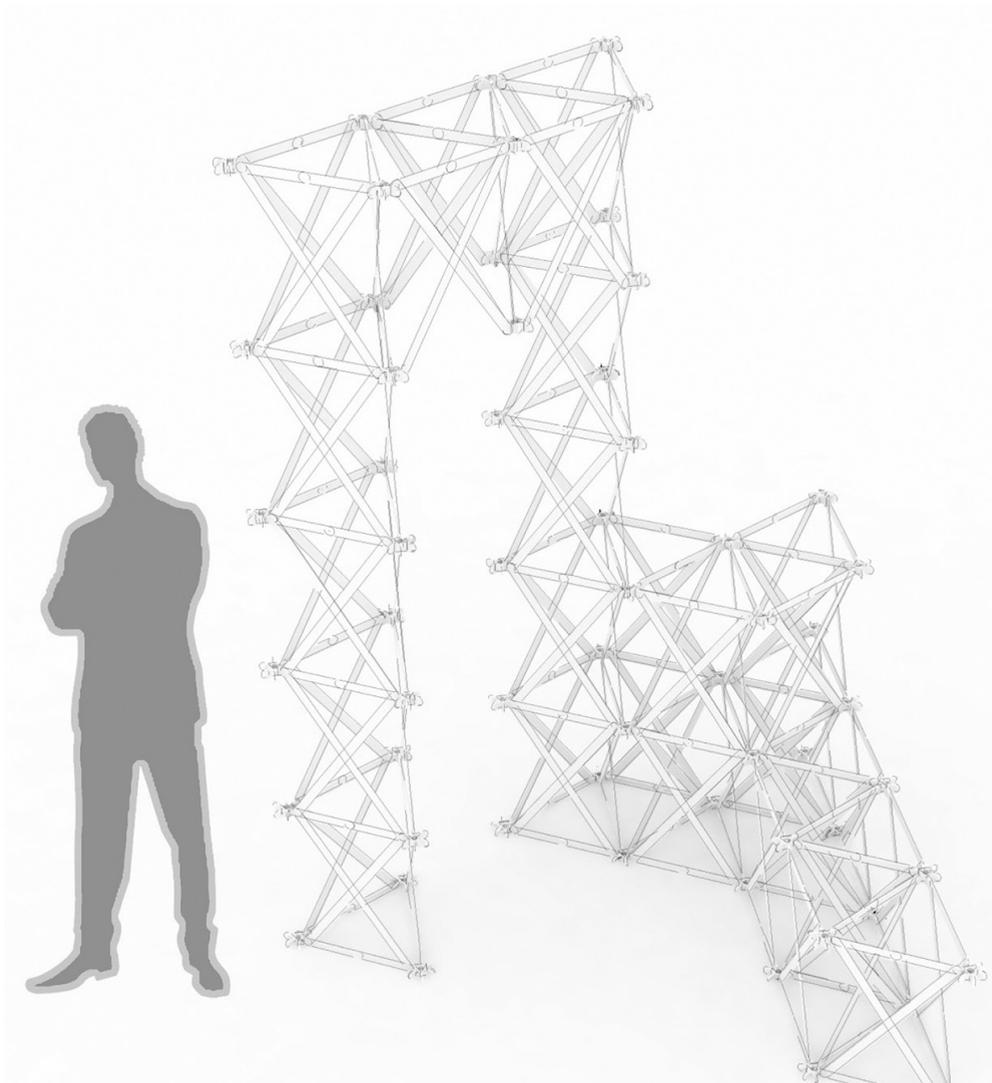


Zeichnung: Axonometrie des Raumes



Fotos des Aufbaus

Axonometrie |||||



Zeichnung: Axonometrie Prototyp

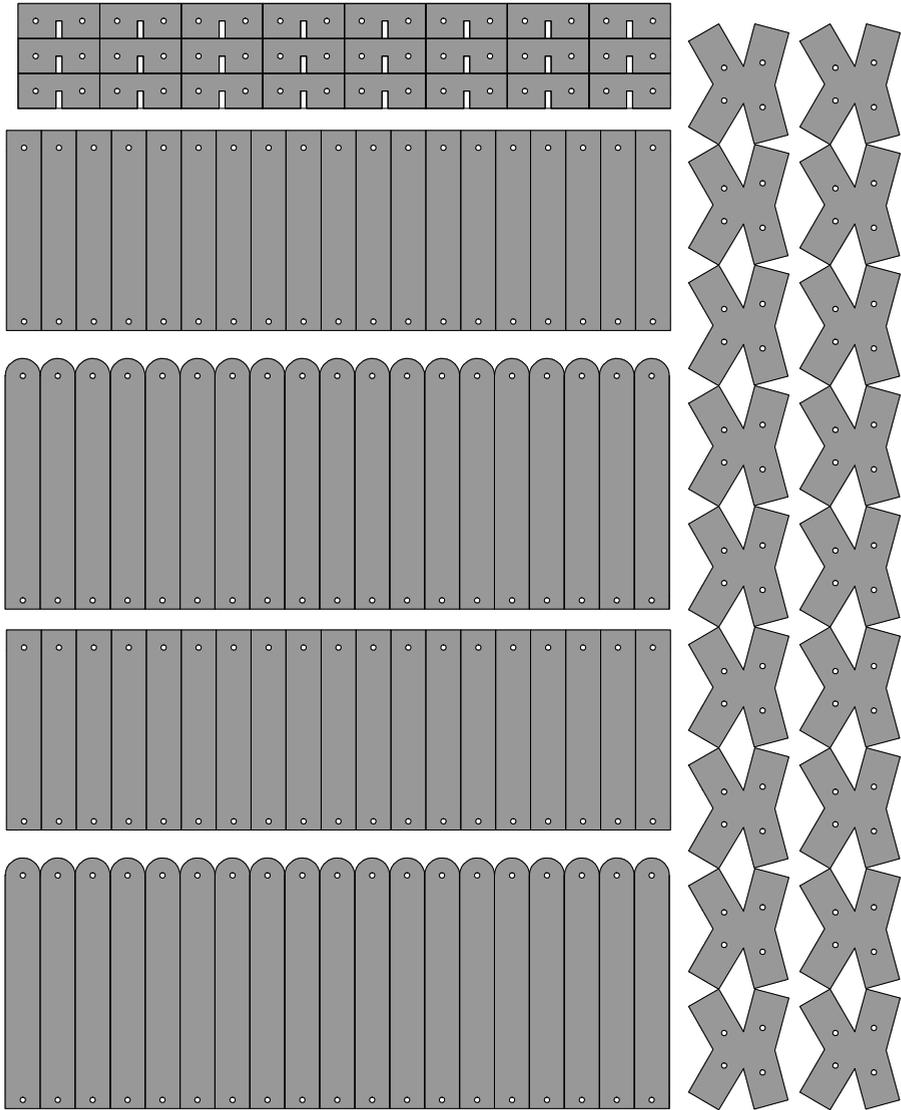
Die Form ergibt sich aus einem rechteckigen Prisma als Grundform für den Entwurf des Lebensraums mit rechteckigem Grundriss. Vorgesehene Nutzungen des kleinen Aufenthaltsraumes sind das Lesen und Studieren. Die Addition weiterer Module ermöglicht weitere sekundäre Nutzungen. So entsteht eine Nische zum Schlafen und eine horizontale Fläche, die als Tisch nutzbar ist.

Typologie | Zur Herstellung des Prototyps werden die 1984 von Felix Escrig patentierten regulären viereckigen Prismen verwendet. In jeder Fläche des Prismas befinden sich insgesamt vier Stäbe, das heißt zwei Scherensysteme. Die Längen der Stäbe variieren. Die äußeren Stäbe sind deutlich länger als die inneren. Das führt dazu, dass die Öffnungen unterschiedliche Größen aufweisen. Diese Öffnungsdifferenzen müssen vom zentralen Knoten aufgenommen und kompensiert werden.

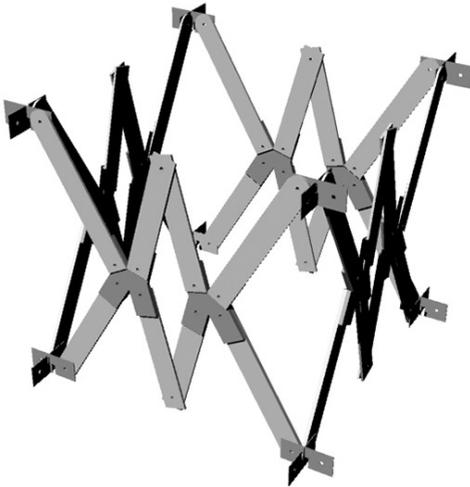
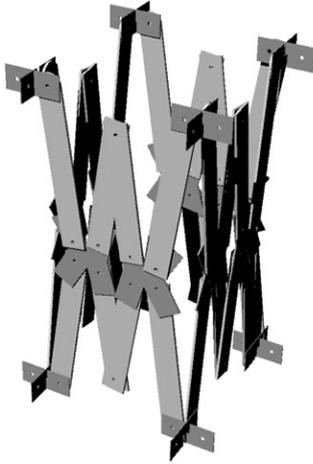
Stabilität | Die Stabilität des Prototyps ist wegen zwei Hauptfaktoren nicht sehr hoch: Zum einen besteht der Prototyp aus rechteckigen Modulen, die diagonale Verstrebungen benötigen. Andererseits besteht das Modul aus zwei Scherensystemen auf der Prismenseite, deren Stabilität grundsätzlich gering ausfällt. Daher ist es notwendig, den Prototyp durch die horizontalen Stäbe, die entlang der Kanten der Basis des Moduls integriert sind, zu versteifen.

Materialität | Die Stäbe bestehen aus 3 mm dickem, recyceltem und verdichtetem Karton, auch als finnische Holzpappe bezeichnet. Die Fügung der Stäbe im Scherensystem erfolgt mit metallischen Musterbeutelklammern.

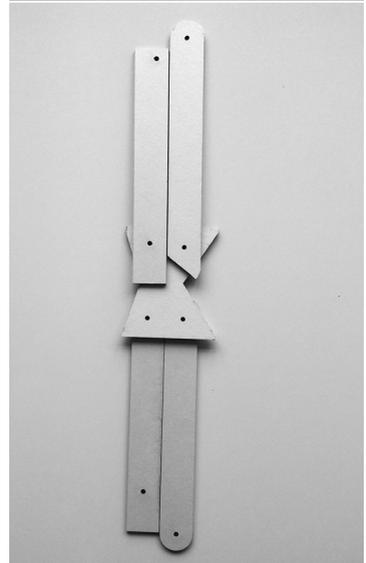
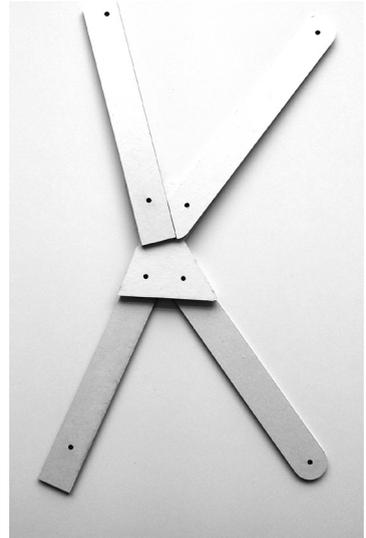
Lebensraum |||||



Zeichnung: Schnittplan

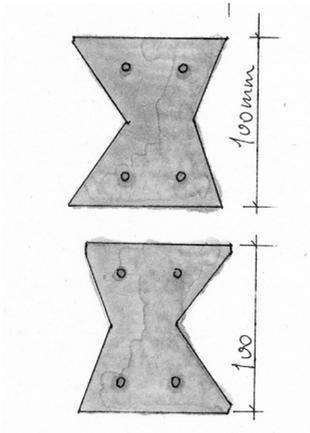


Zeichnungen; Viereckiges Prisma



Fotos: Scherensystem

Teilstücke |||||



Zeichnung: Zentraler Knoten

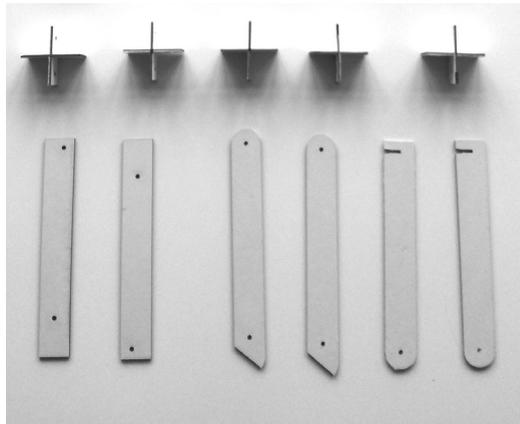


Foto: Stäbe und Knoten

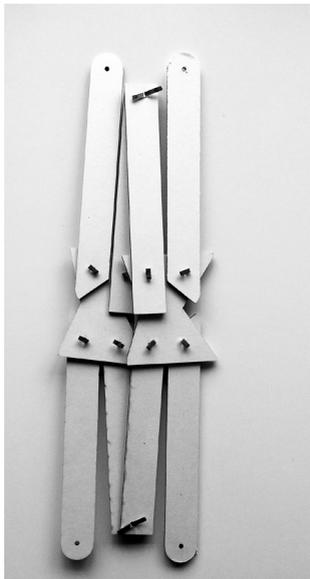
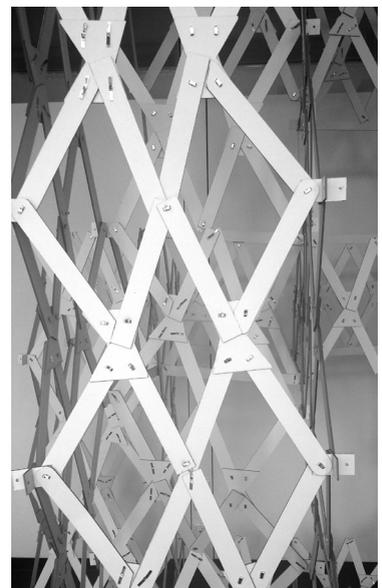
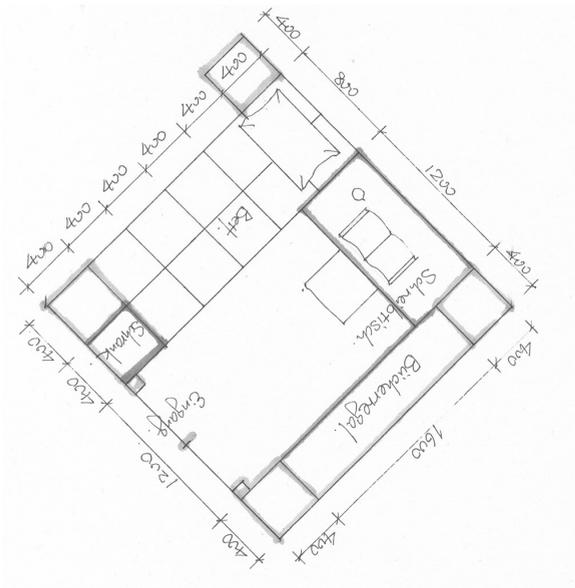
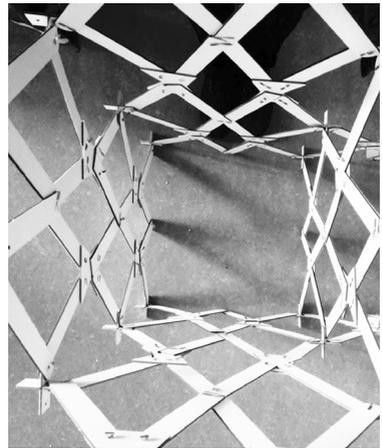
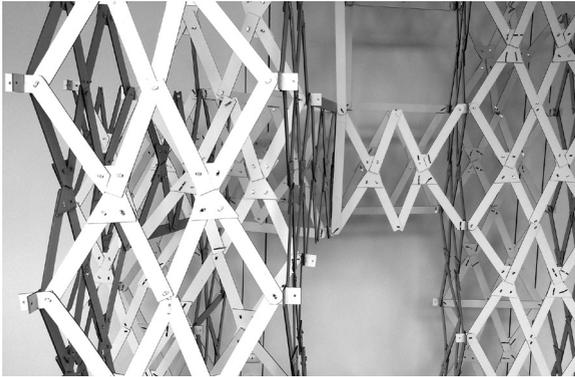


Foto: Scherensystem



Foto: Scherensystem

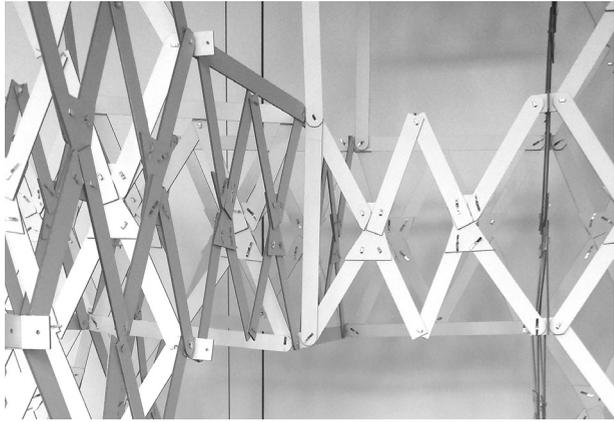
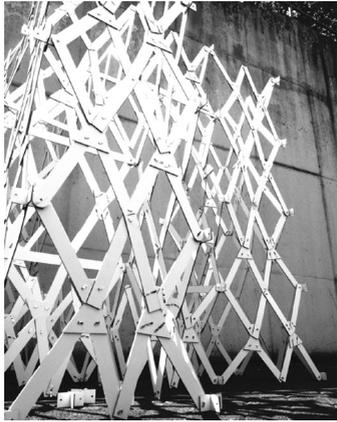
||||| Grundriss



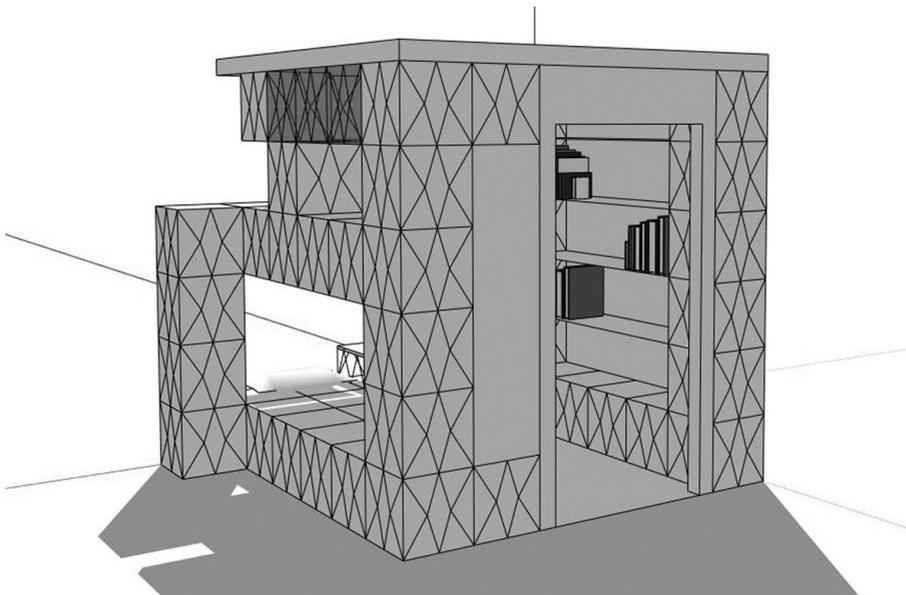
Zeichnung: Grundriss Prototyp

Fotos: Modell

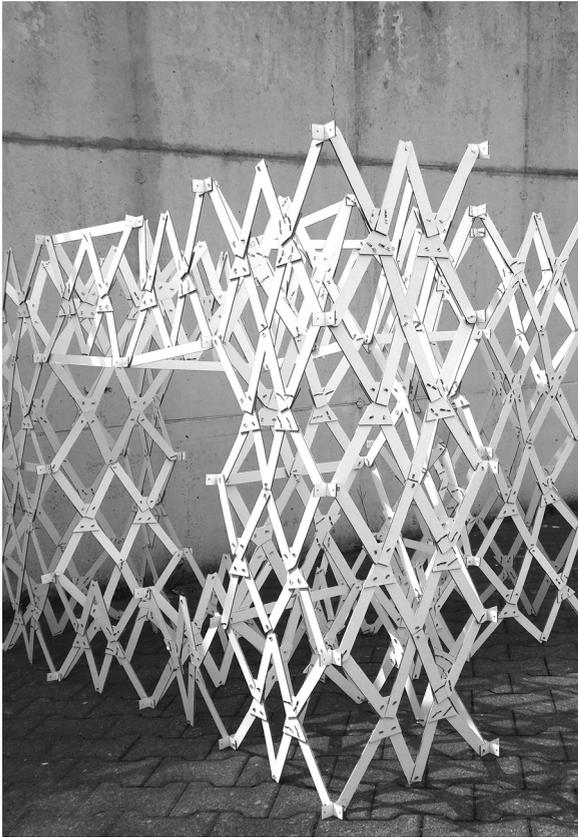
Axonometrie |||||



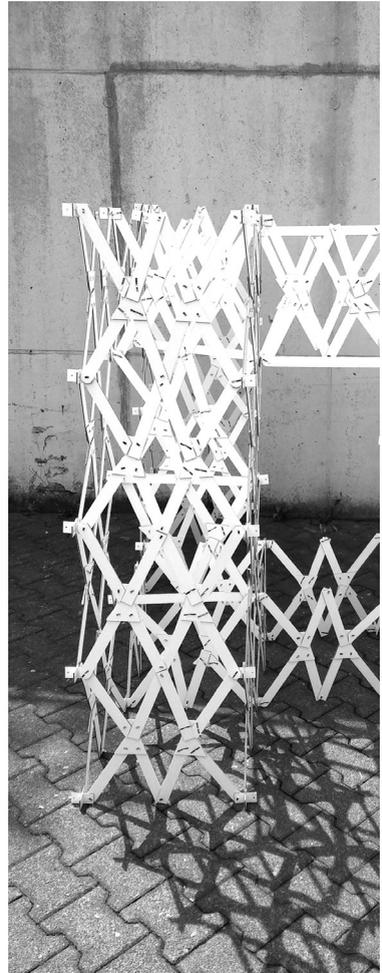
Fotos: Modell



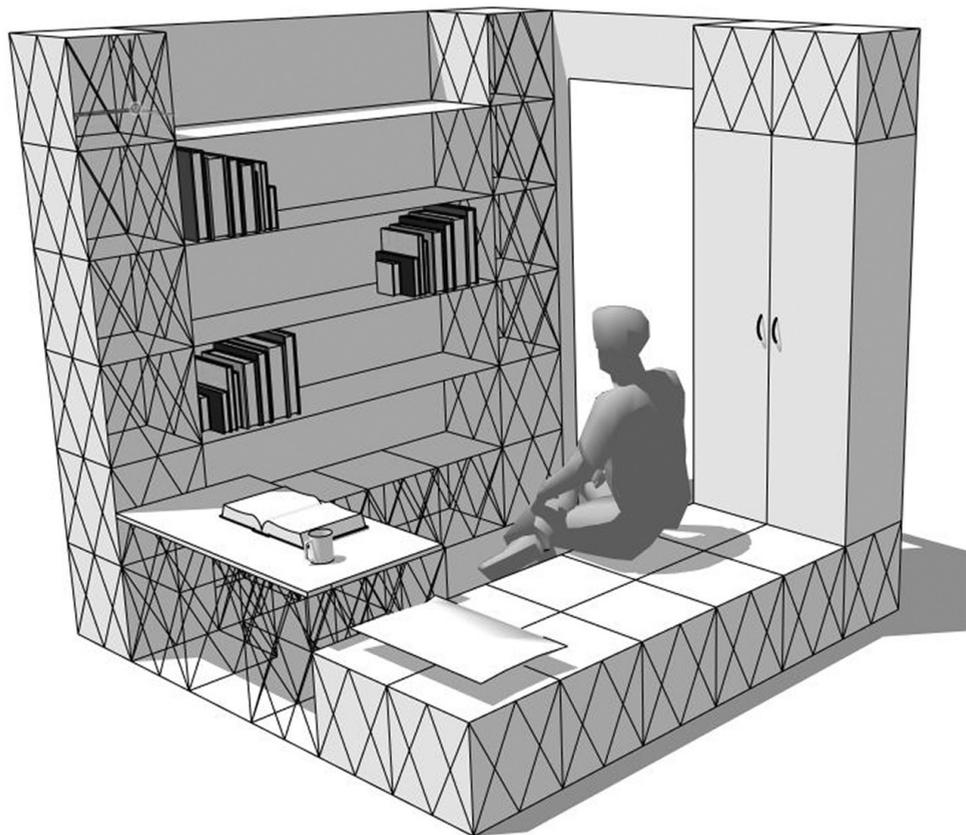
Zeichnung: Axonometrie Prototyp



Fotos: Aufgebautes Modell



Axonometrie



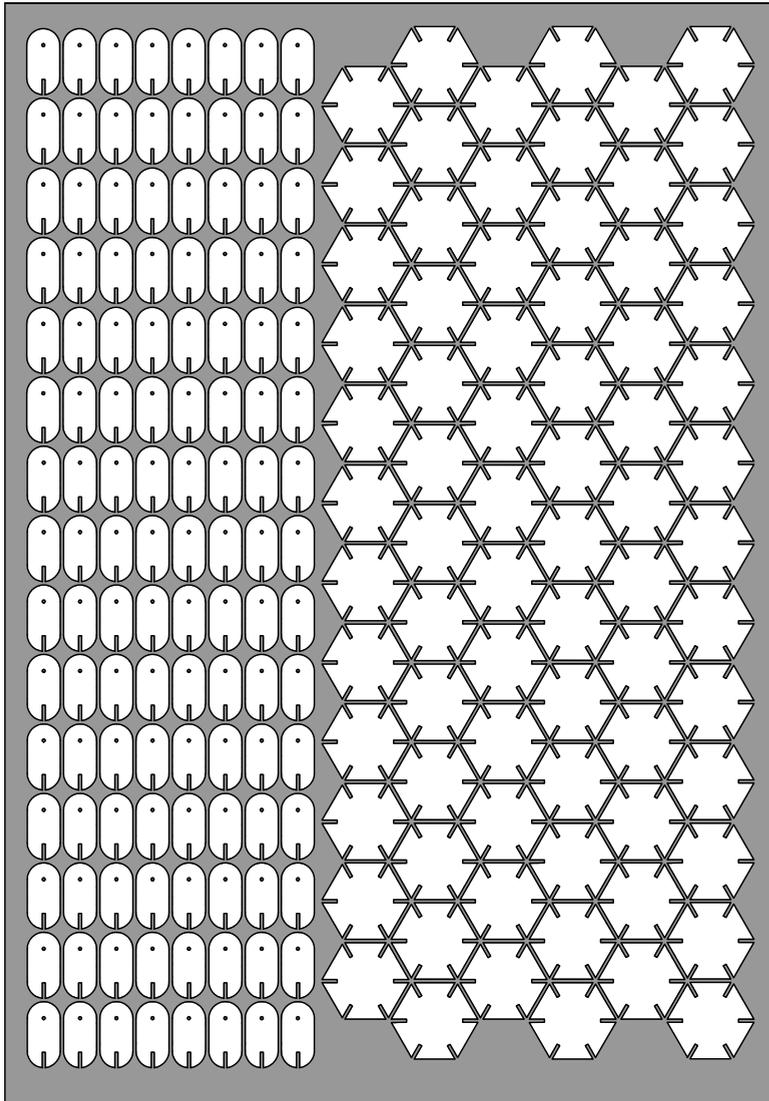
Zeichnung: Axonometrie Prototyp

Die Form ergibt sich aus regulären dreieckigen Prismen als Grundform für den Entwurf der Behausung. Als Nutzung ist ein Verkaufsraum für Getränke und Gerichte aus der kalten Küche vorgesehen. Hierfür sind ein kleiner Aufenthaltsraum sowie eine Theke zur Bewirtung der Gäste vorhanden. Eine sechseckige Bank bietet für die Gäste entsprechende Gelegenheit zum Sitzen. Der Verkaufsraum im Kiosk kann für Konzerte und andere Veranstaltungen im Rahmen von Festivals genutzt werden.

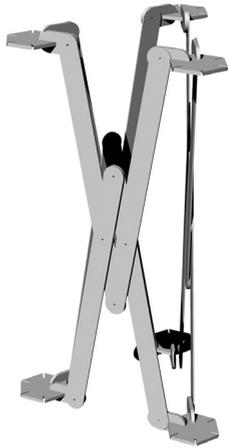
Typologie | Die Herstellung des Prototyps erfolgt aus regulären zusammengesetzten viereckigen Prismen, die Felix Escrig in seinem Patent von 1984 definiert. In jeder Fläche eines Prismas befinden sich insgesamt vier Stäbe, die sich in einem Scherensystem schneiden. Der Schnittpunkt liegt außerhalb der Stabmitten. Insgesamt sind es drei dieser Systeme, die das Falten und Entfalten ermöglichen. Der Knoten muss drei Stäbe bei einem einfachen Modul und bis zu sechs Stäbe bei der Fügung von sechs Modulen zu einem Sechseck aufnehmen können.

Stabilität | Der Prototyp weist eine hohe Stabilität auf, da das Dreieck und das Dreiecksprisma unverformbare Figuren darstellen. Um das Entfalten steuern zu können, werden weitere Stäbe entworfen, die in die Kanten des dreieckigen Sockels integriert sind und die Bewegungen begleiten. Deren Aufgabe ist es, die Verschiebung des Prototyps zu stoppen, sobald die endgültige Position erreicht ist. Diese Stäbe werden zum einen genutzt, um die Figur an den entscheidenden Stellen zu versteifen und zum anderen, um die höchsten Stellen zusammen zu klammern.

Materialität | Die Stäbe bestehen aus 3 mm dickem, recyceltem und verdichtetem Karton, auch als finnische Holzpappe bezeichnet. Die Fügung der Stäbe im Scherensystem erfolgt mit metallischen Musterbeutelklammern.



Zeichnung: Schnittplan



Zeichnung: reguläres dreieckiges Prisma

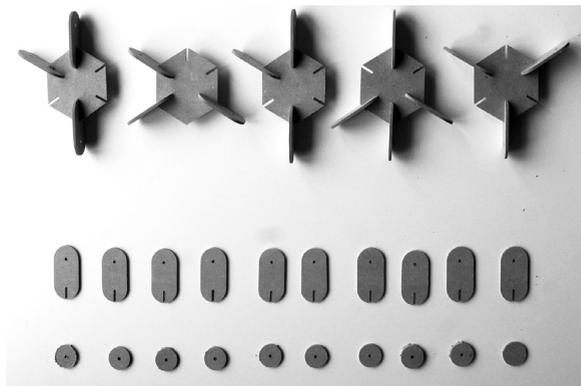
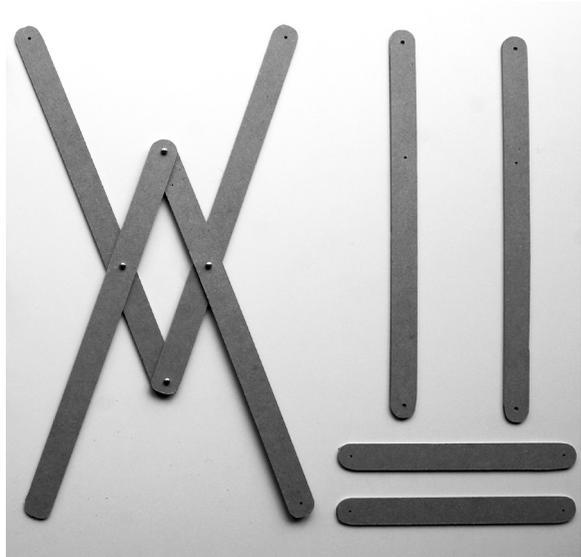


Foto: Modell gefaltet

Teilstücke |||||

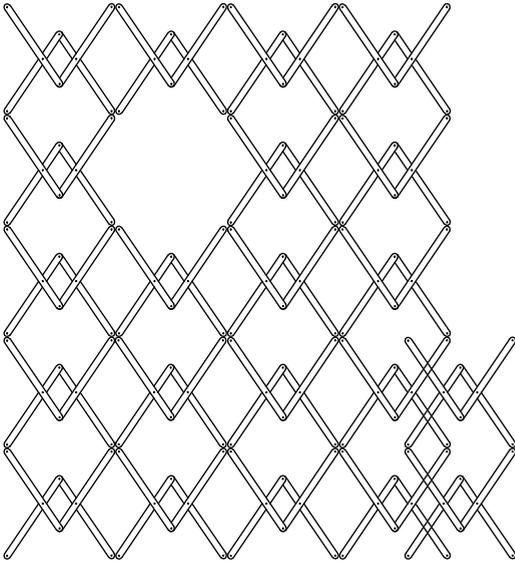


Foto: Modell entfaltet

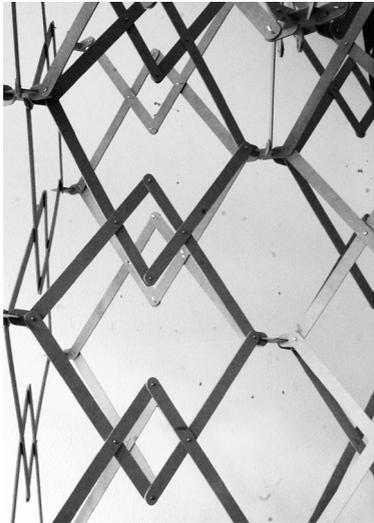


Fotos: Stäbe und Knoten

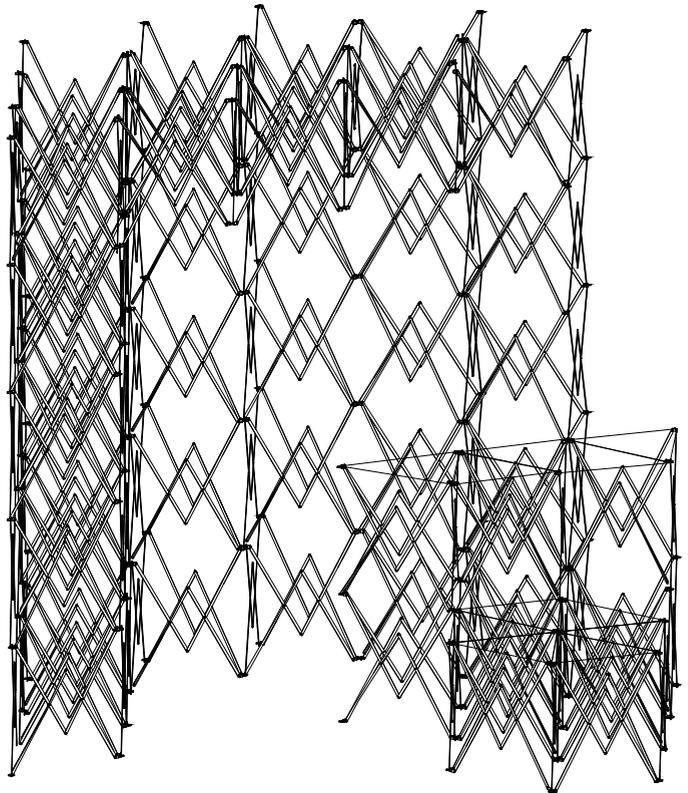
Ansicht



Zeichnung: Ansicht

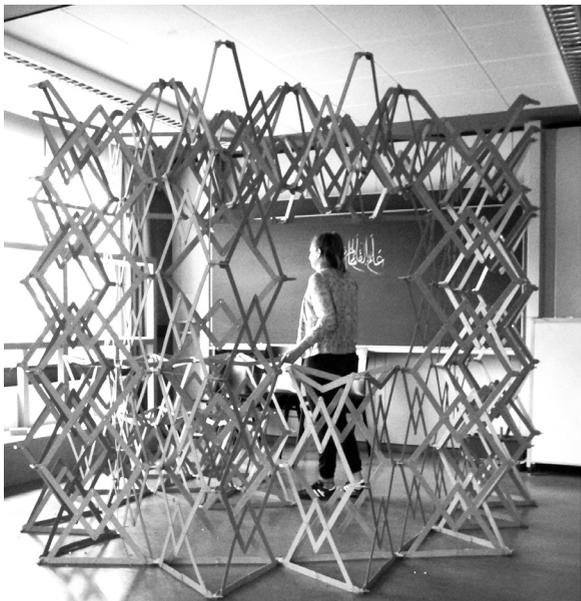


Fotos: Ausschnitte

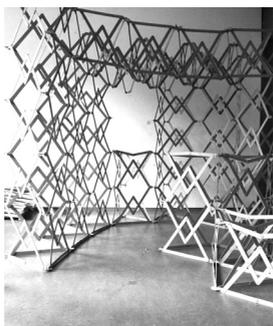


Zeichnung: Axonometrie

Bilder |||||

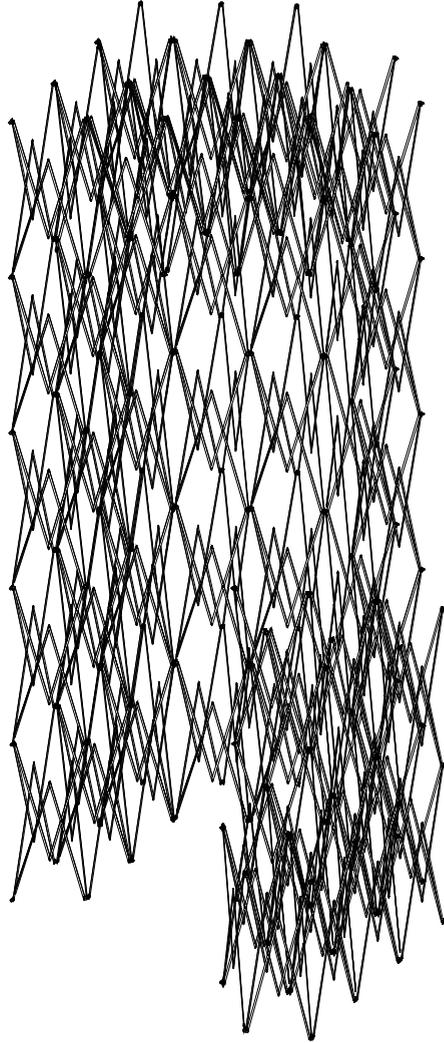
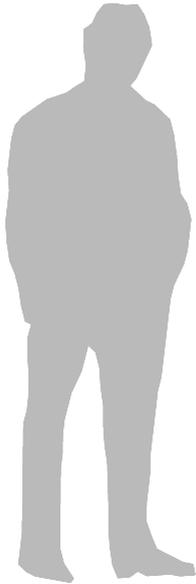


Fotos: Aufbau der Rauminstallation



Fotos: Prozess der Entfaltung

Axonometrie



Zeichnung: Axonometrie

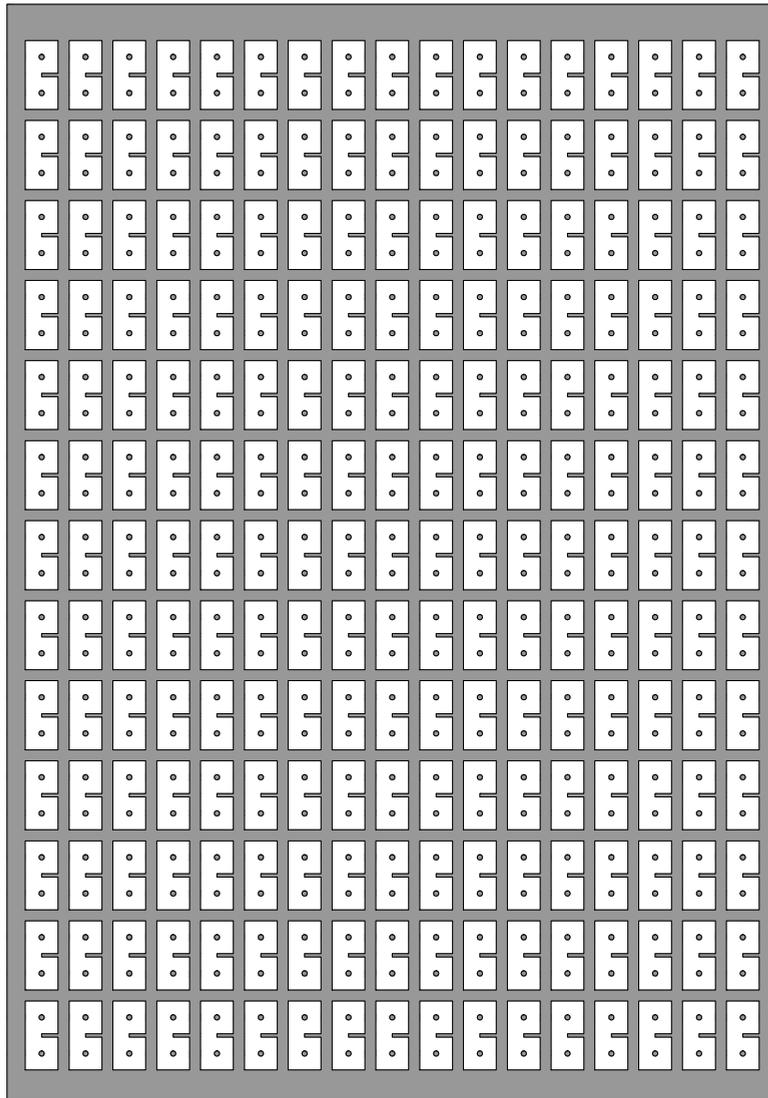
Die Form erfolgt aus regelmäßigen rechteckigen Prismen als Grundform für den Entwurf des Lebensraums. Vorgesehene Nutzungen des kleinen Aufenthaltsraumes mit rechteckigem Grundriss sind das Lesen, Studieren und Ausruhen. Die Addition zusätzlicher Module ermöglicht weitere sekundäre Nutzungen. Das gesamte Mobiliar ist im Faltsystem gefertigt, sodass es alle Falt- und Entfaltungsbewegungen begleitet.

Typologie | Zur Herstellung des Prototyps wird das 1984 von Felix Escrig patentierte reguläre viereckige Prisma verwendet. In jeder Fläche des Prismas befinden sich insgesamt zwei Stäbe, die sich in ihrem Mittelpunkt schneiden. Zur Aufnahme der äußeren Stäbe jeder Prismenfläche werden standardisierte Knoten entwickelt, die in der Lage sind, alle entstehenden Konditionen zu erfüllen. Auch zur Herstellung des Daches wird das regelmäßige rechteckige Prisma genutzt, allerdings mit kleineren Abmessungen. Die Verbindung des kleineren Moduls mit dem größeren Modul entspricht dem Gesetz der Faltbarkeit $a+b = c+d$.

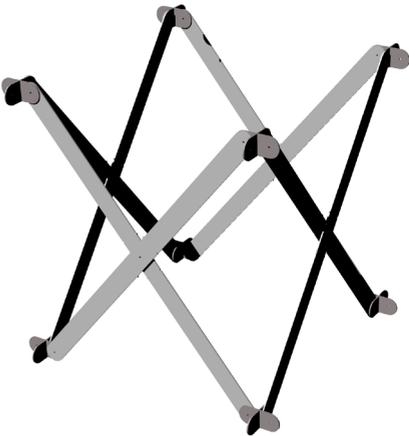
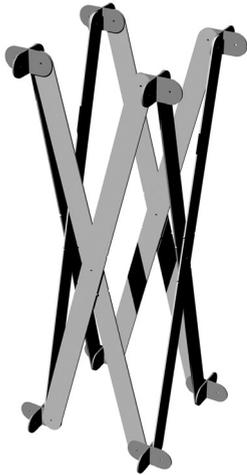
Stabilität | Die Stabilität des Prototyps ist wegen der viereckigen Module nicht sehr hoch. Daher wird eine zusätzliche Aussteifung durch Diagonalstäbe notwendig, die entlang der Kanten des Sockels eingebaut sind. Dies ist in den vorderen Reihen des Prototyps wichtig, da sich an den Stellen die Lasten konzentrieren. Bei maximaler Öffnung der kleineren Dachprismen werden die großen Basismodule in der Bewegung gebremst und dadurch zusätzlich stabilisiert.

Materialität | Die Stäbe bestehen aus 3 mm dickem, recyceltem und verdichtetem Karton, auch als finnische Holzpappe bezeichnet. Die Fügung der Stäbe im Scherensystem erfolgt mit metallischen Musterbeutelklammern.

Lebensraum



Zeichnung: Schnittplan



Zeichnungen: regelmäßiges rechteckiges Prisma

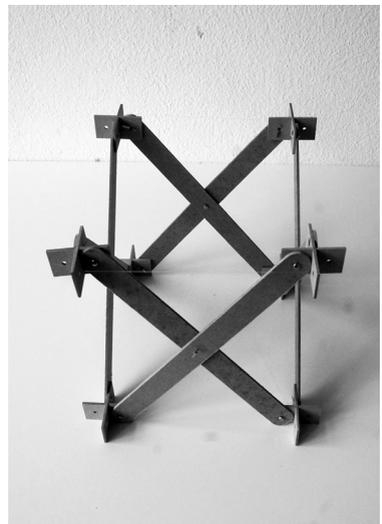
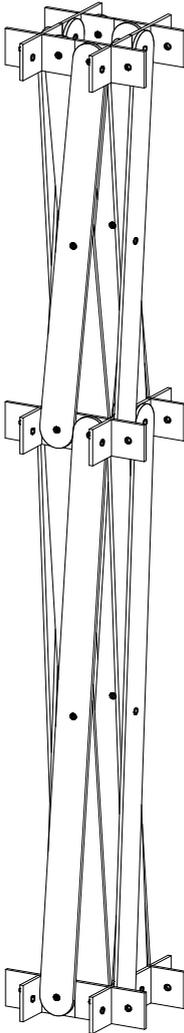
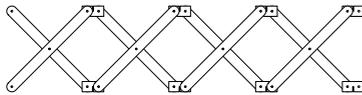
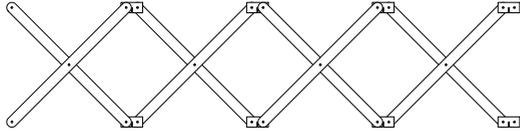


Foto: Modell entfaltet

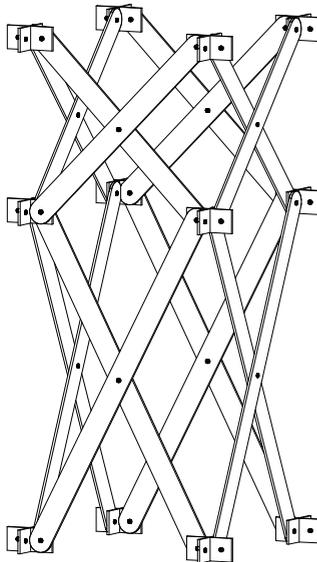
Teilstücke |||||



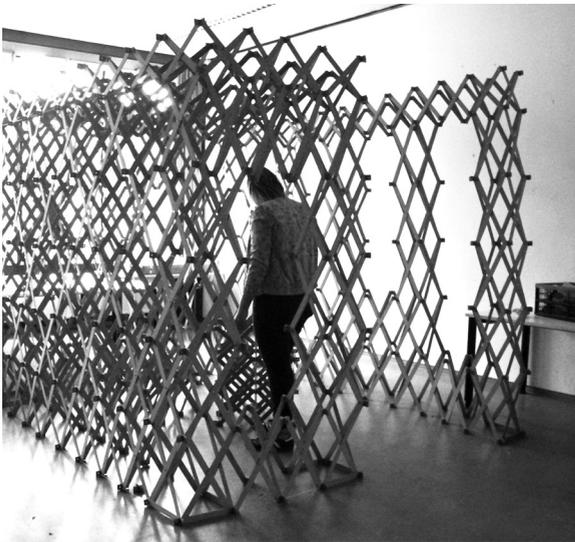
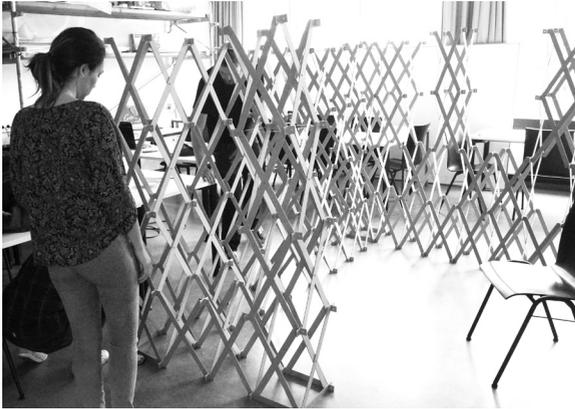
Zeichnung: Teilstück gefaltet



Zeichnung: Scherensystem



Zeichnung: Doppeltes regelmäßiges rechteckiges Prisma



Fotos der Rauminstallation

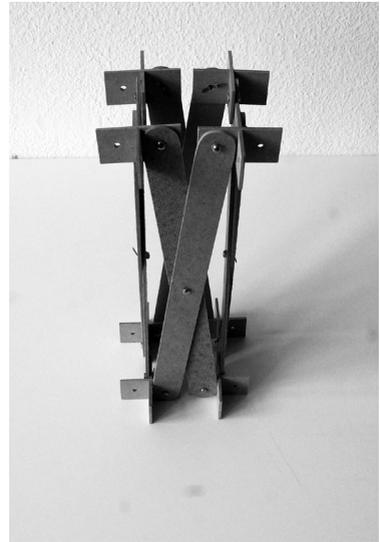
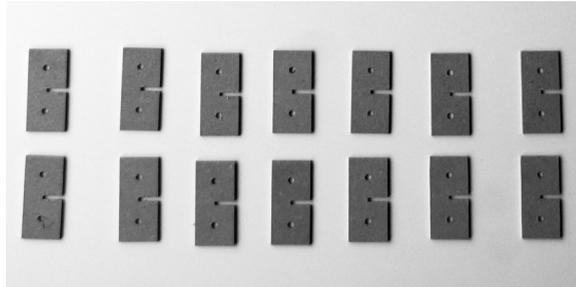
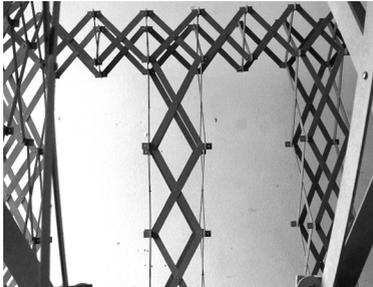


Foto: Modell gefaltet

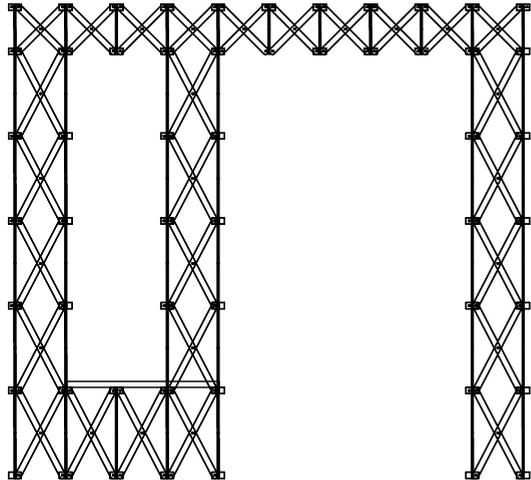
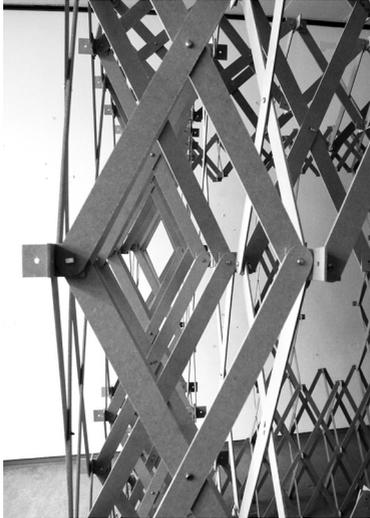
Teilstücke |||||



Fotos: Prototyp aufgebaut

Fotos: Stäbe und Knoten

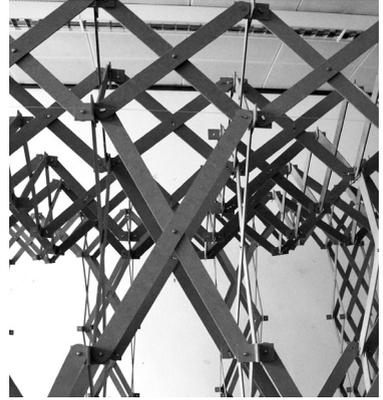
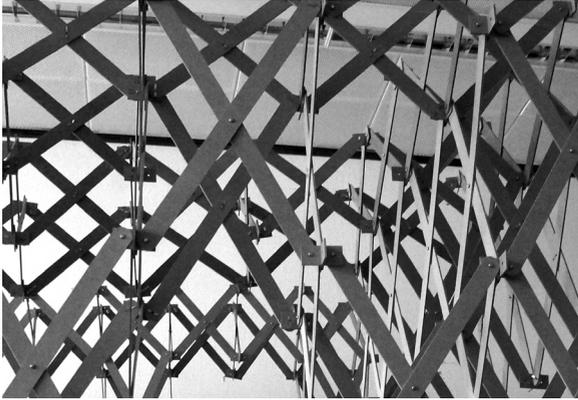
Ansichten



Zeichnung: Ansicht B

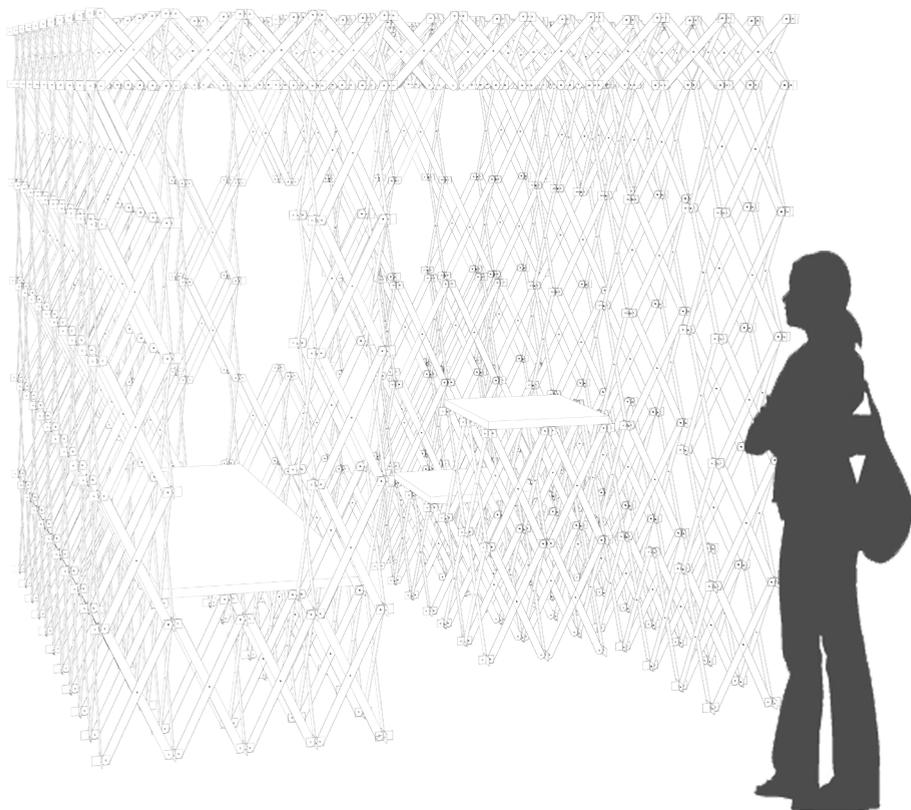


Fotos des Aufbaus

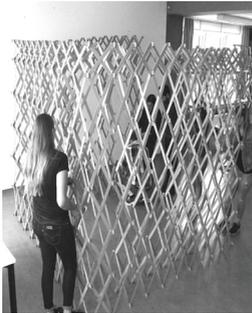


Fotos der Rauminstallation

Axonometrie

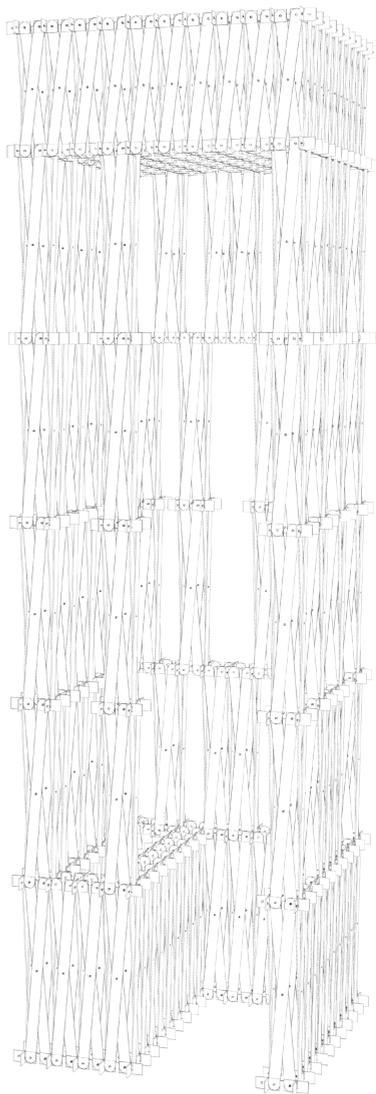


Zeichnung: Axonometrie



Prozess der Faltung

Axonometrie



Zeichnung: Axonometrie

Kuebra Kuzu
Aysem Akbas
Nicole Schmidt
Veronika Powel
Roberta Masciotra
Kuebra Sahin

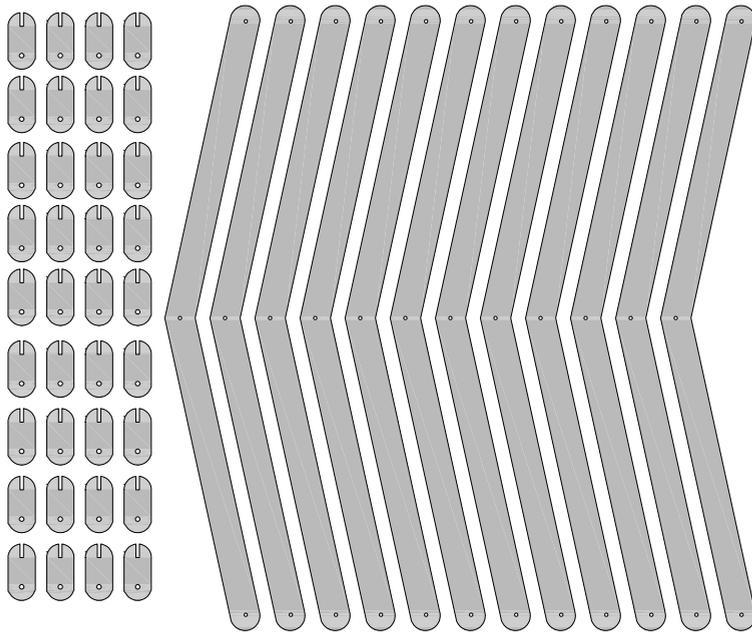
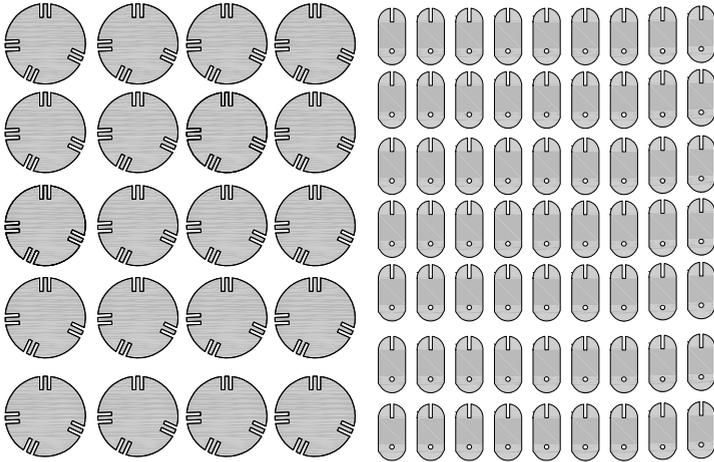
Im Sommersemester 2019 werden von allen Studierenden gemeinsam zwei Kugeln nach einem Patent von Chuck Hobermann aus dem Jahr 1990 konstruiert und gebaut. Der Titel lautet »Reversibly expandable doubly-curved truss structure«. Die beiden Kugeln sind in der Lage, sich durch Falten und Entfalten zu bewegen und sich in der Größe enorm zu verändern. Zu den Einsatzmöglichkeiten zählt die Verwendung als Leuchten- oder Behälterinstallationen sowie als Skulptur. Die optimale Lagerung dieser Kugeln ist die Aufhängung.

Typologie | Die Kugeln basieren auf der geometrischen Figur eines Rhombenikositododekaeders, einem Polyeder, der aus 12 Fünfecken, 30 Quadraten, 20 Dreiecken, 60 Knoten und 120 Kanten besteht und insgesamt 62 Flächen bildet. Die Kanten werden von einem Paar aus abgewinkelten Scheren entwickelt. Die Knoten befinden sich in den Scheitelpunkten der beiden abgewinkelten Scheren und bilden gleichzeitig die Schnittlinie der drei Module, die die Form (fünfeckig, quadratisch und dreieckig) ergeben. Diese Konfiguration ist selbsttragend und behält die Geometrie in allen Falt- und Abwicklungsbewegungen.

Stabilität | Die Struktur ist durch die Eigenschaften einer Kugel in sich stabil. Die ideale Lagerung entspricht der Aufhängung. Die Stabilität hängt daher von der Steifigkeit des abgewinkelten Scherenpaares ab. Bei den realisierten Kugeln ist die kleinere Kugel stabiler, da die einzelnen Stäbe bei gleichbleibender Geometrie kürzer sind und somit eine geringere Knicklänge aufweisen.

Materialität | Die Stäbe und Knoten sind aus MDF Platten mit einer Dicke von 3 mm. Für die Fügung der in der Schere verbundenen Stäbe werden Metallschrauben und Muttern verwendet, die eine ausreichende Steifigkeit und Stabilität gewährleisten.

Kugel

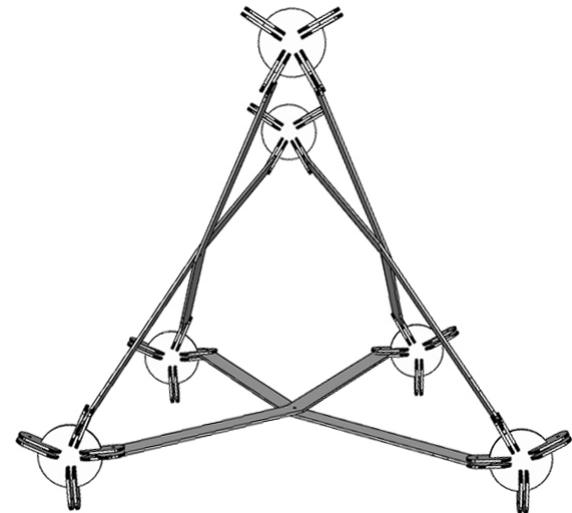
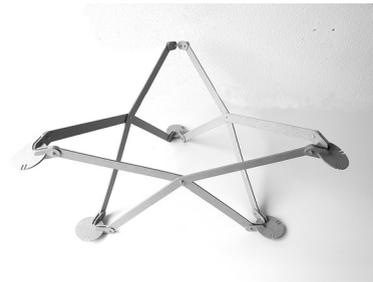
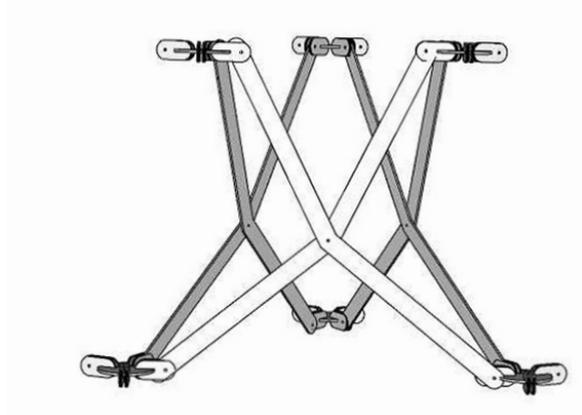


Zeichnung: Schnittplan



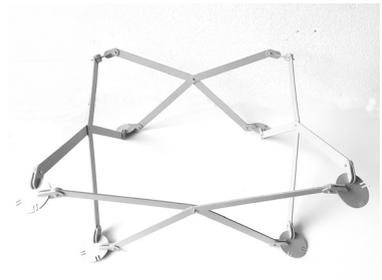
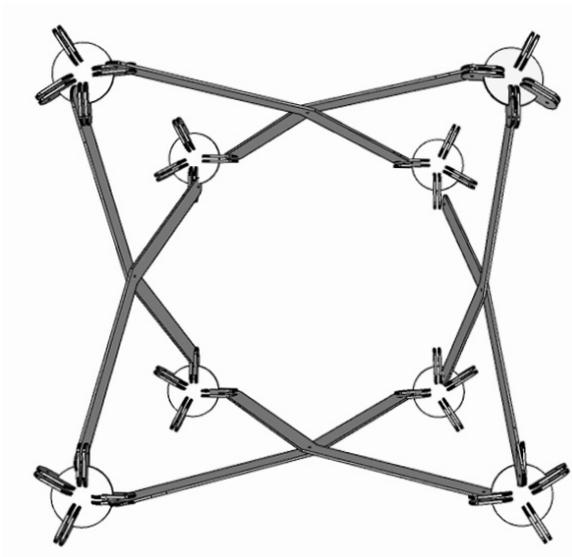
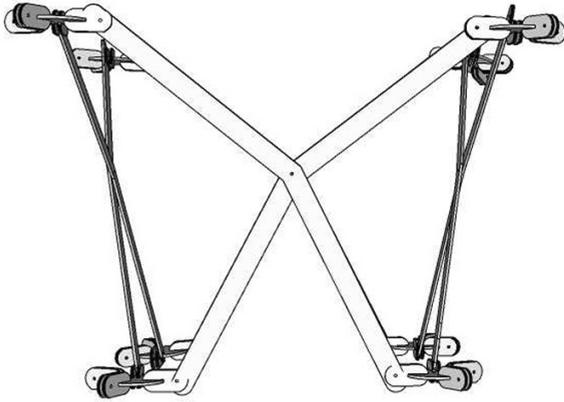
Realisierter entfalteter Prototyp, Foto: Christoph Lison

Modul A



Fotos: Modell

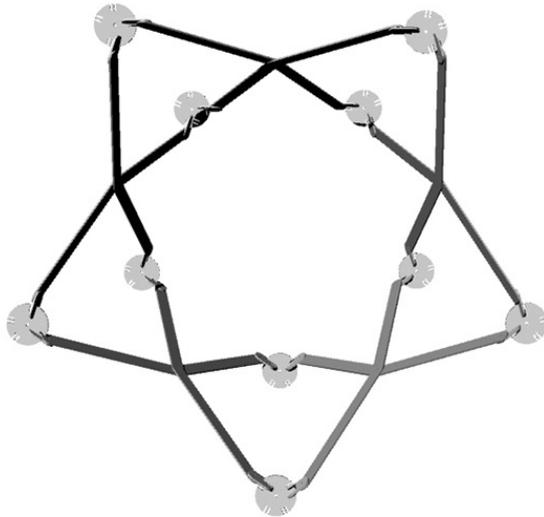
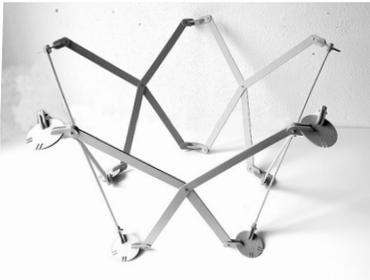
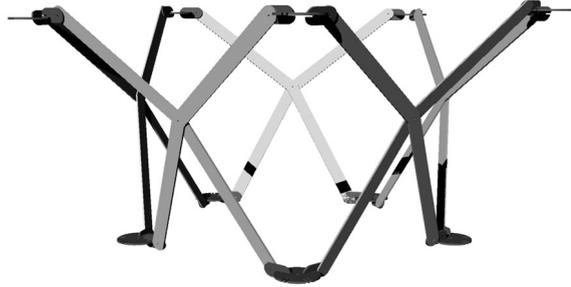
Zeichnungen: Dreieckiges Pyramidenmodul



Zeichnungen: Viereckiges Pyramidenmodul

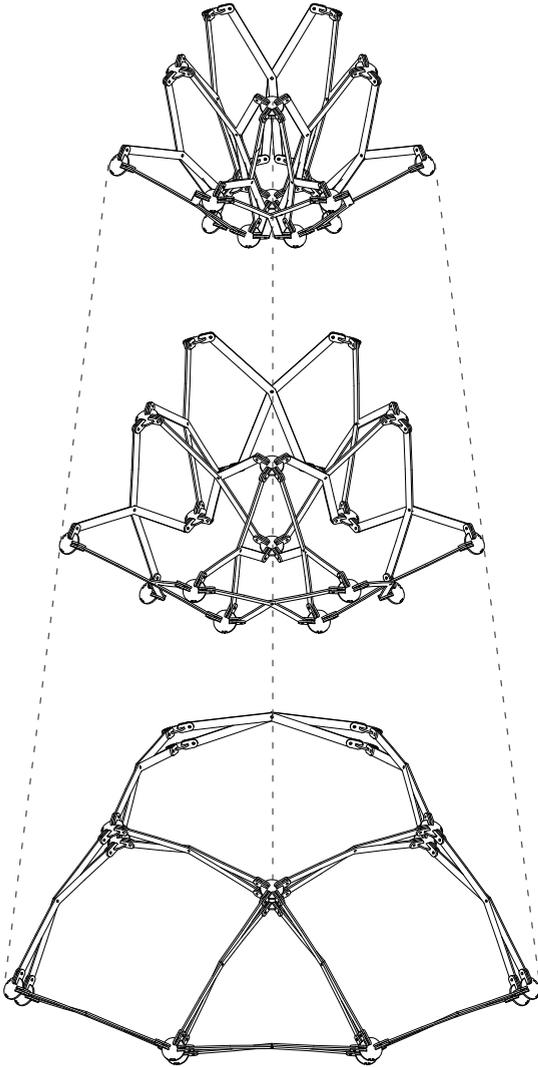
Fotos: Modell

Modul C



Fotos: Modell

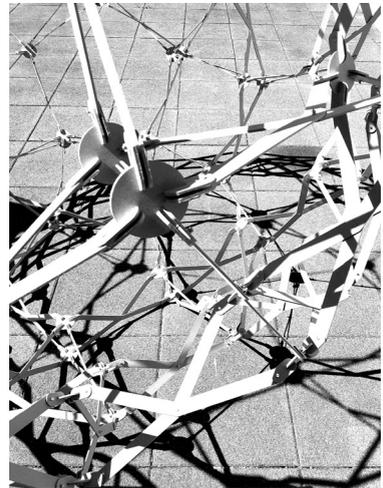
Zeichnungen: Fünfeckiges Pyramidenmodul



Explosionszeichnung der Fügung

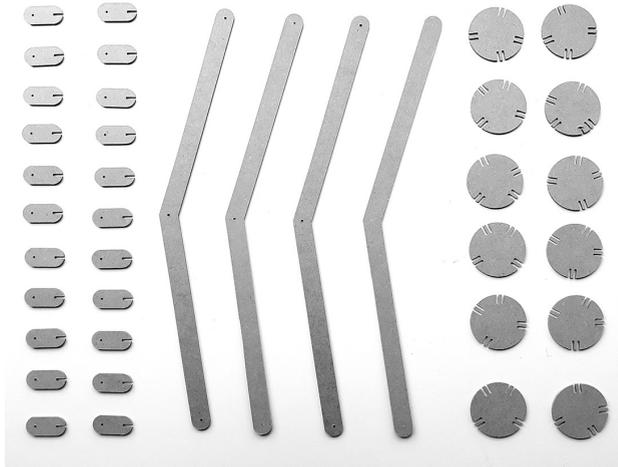


Detail des Modells, Foto: Christoph Lison

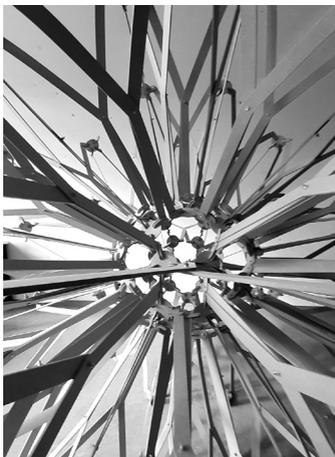


Detail des Modells

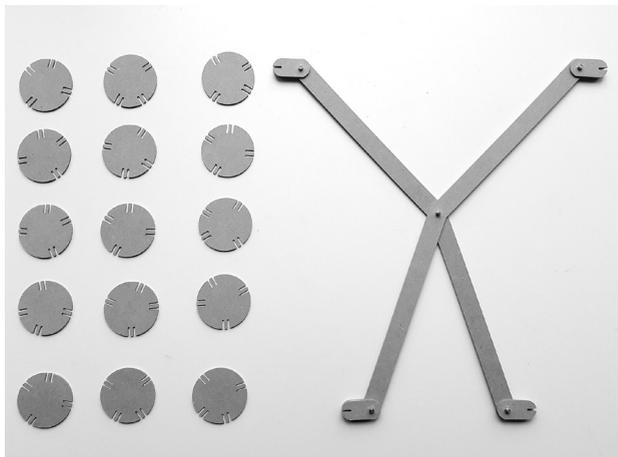
Teilstücke |||||



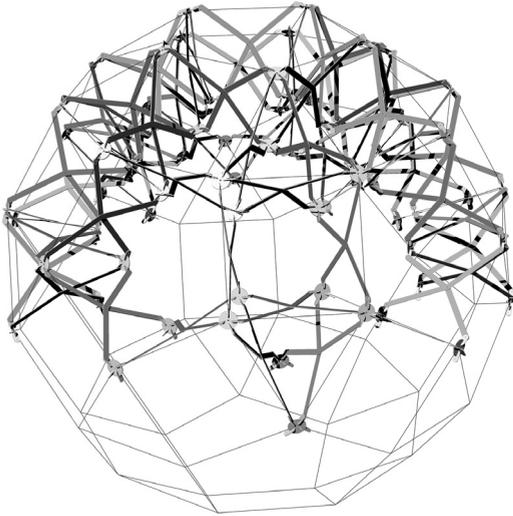
Zeichnungen des Knotens



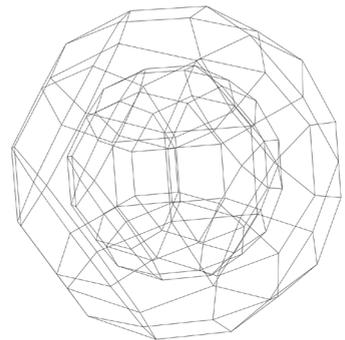
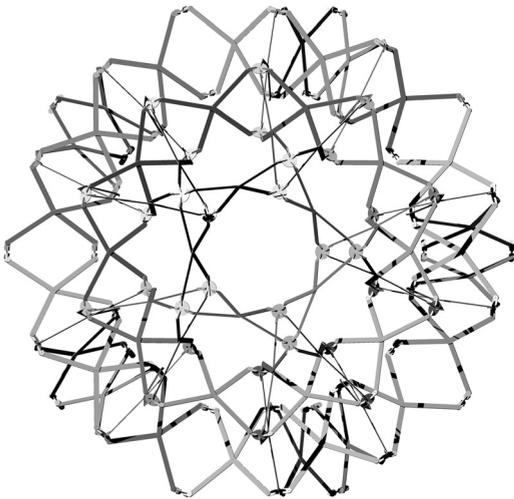
Detailfoto: Mittelpunkt des Modells



Stäbe und Knoten

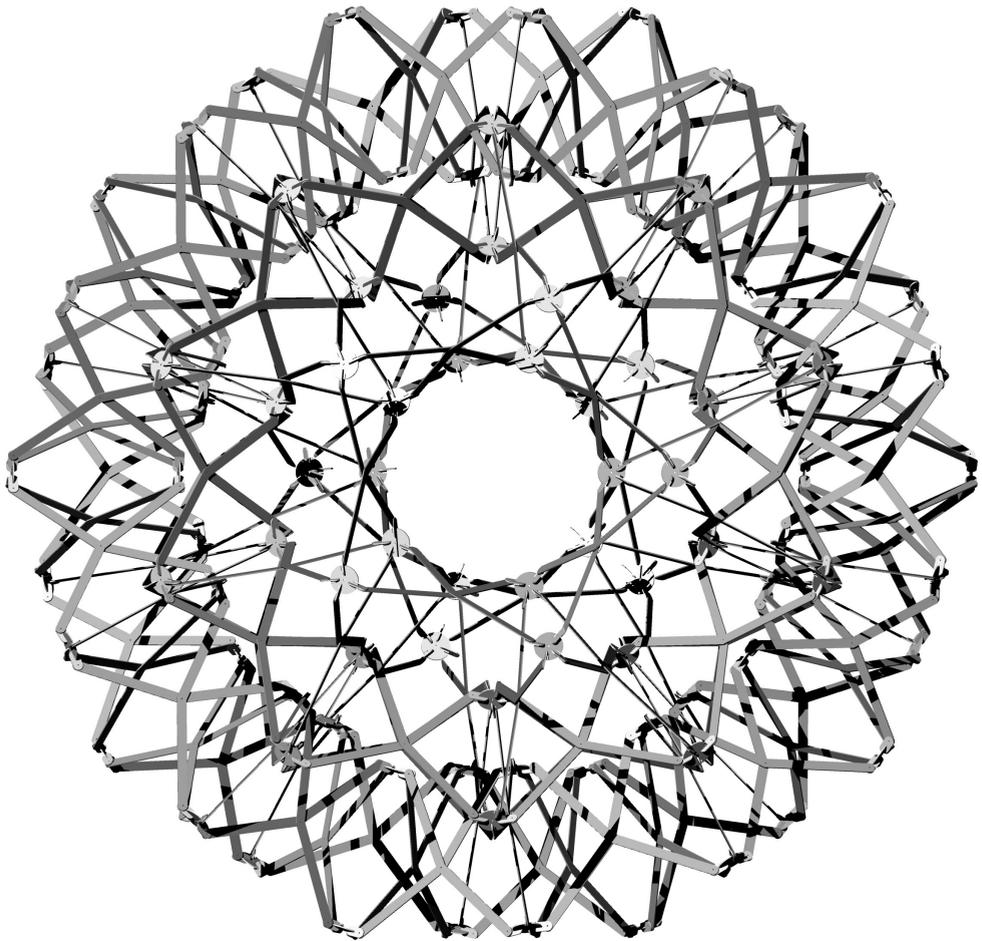


Halbkugel

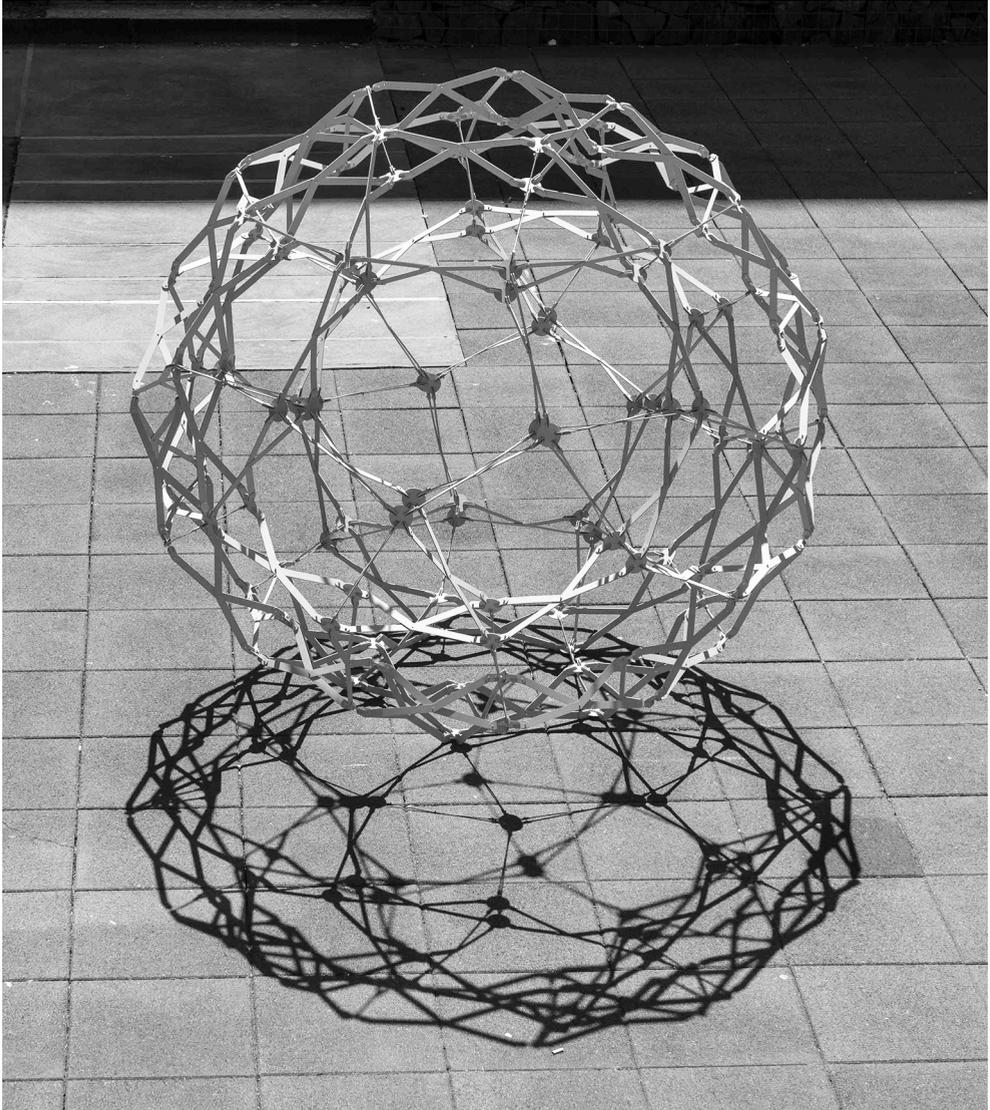


Geometrie

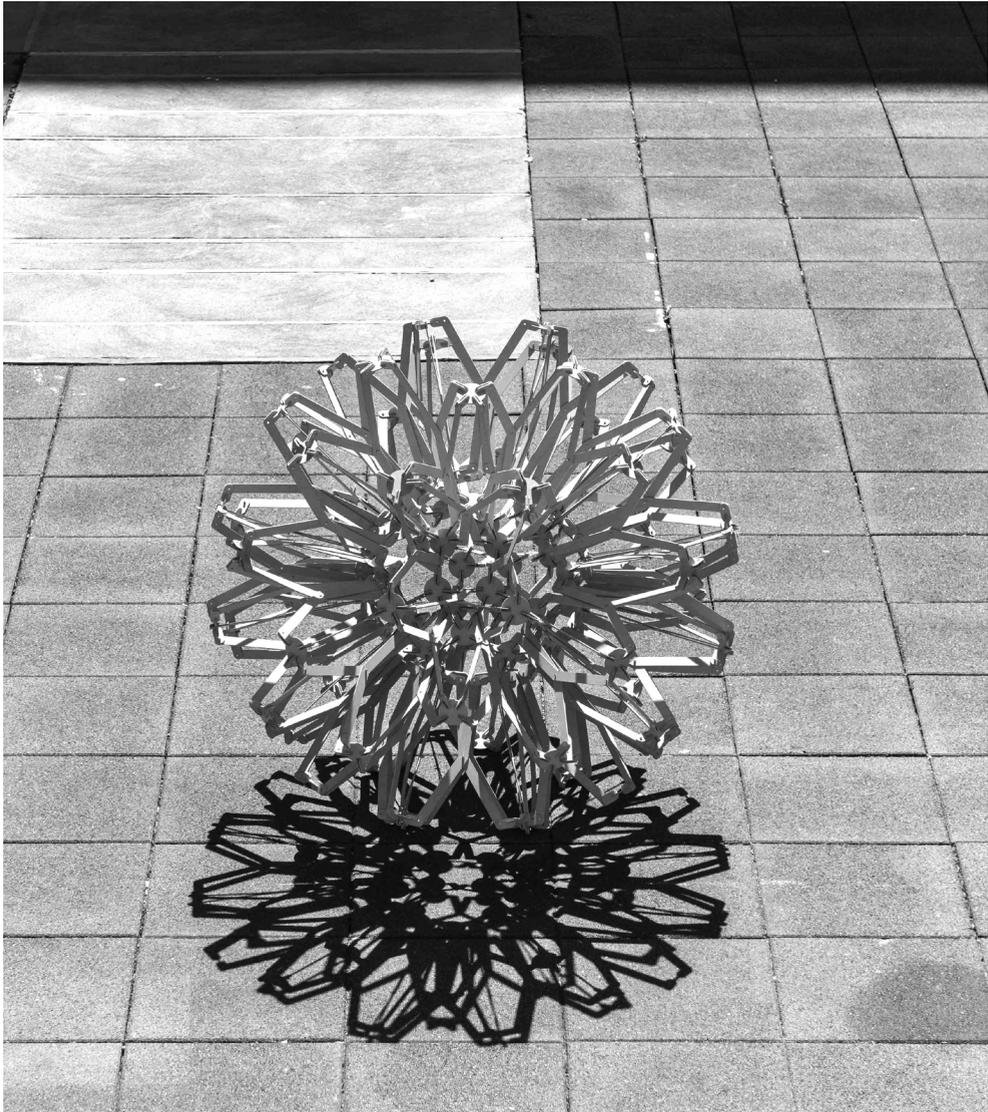
Zeichnung |||||



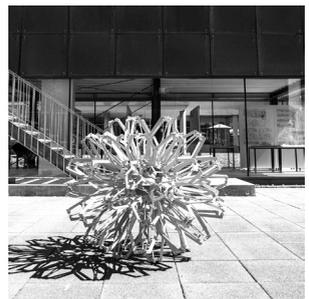
Grundriss



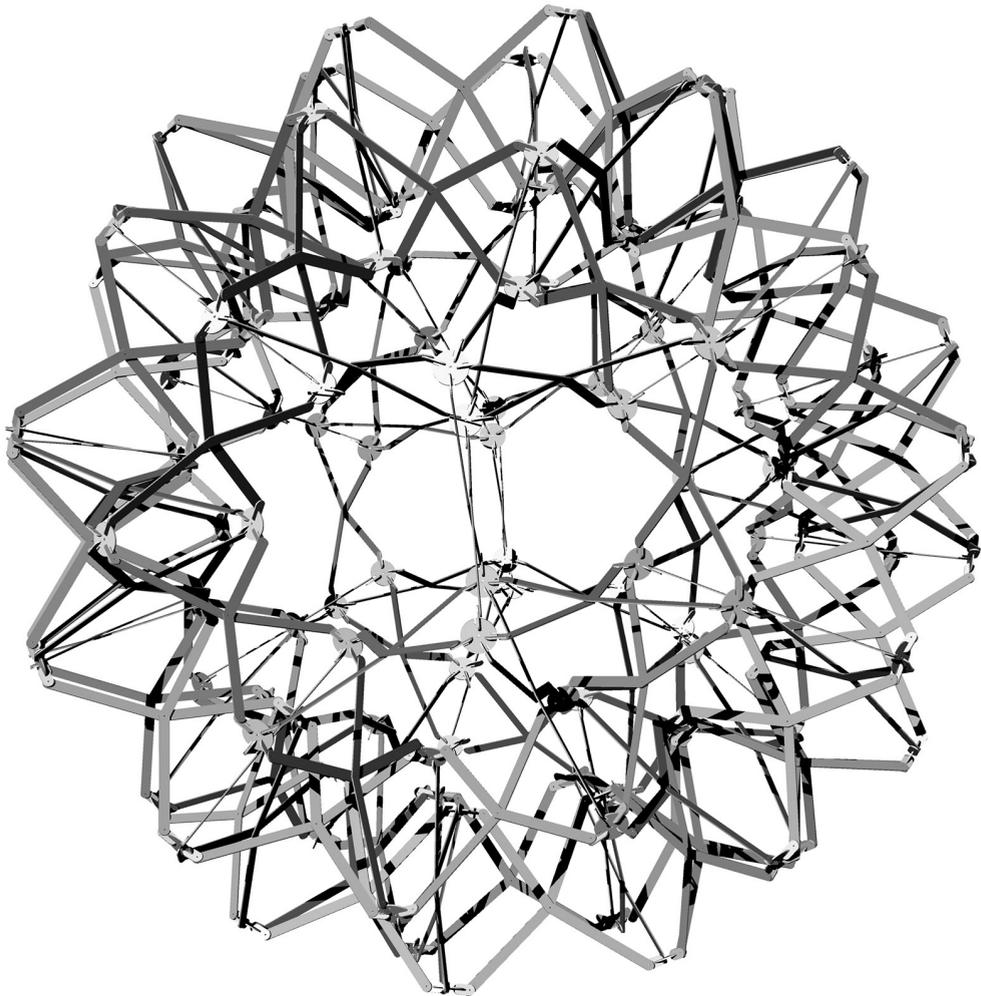
Prototyp entfaltet, Foto: Christoph Lison



Prototyp gefaltet, Foto: Christoph, Lison



Prozess der Faltung, Fotos: Christoph Lison



Axonometrie des Prototyps

