



Edoardo Mentegazzi | E M A + Joyce Kuiken | EGGWORKS

In the Freestyle series of the The Royal Institute of Dutch Architects (BNA), architects unveil their fascination. In this fourth edition, *Behind Gridshells*, Edoardo Mentegazzi and Joyce Kuiken share their passion for gridshells. This remarkable and light building method enables the design and assembly of freeform structures while using sustainable materials. With it's many shapes and sizes, a gridshell can perform beautifully as a temporary pavilion, an exhibition space, or as a workshop.

But how is a gridshell built? What has already been built, and how? What role can gridshells play in a contemporary architecture that is both sustainable and uses digital design and production methods? In 12 case studies, we take you on a journey across the world in search of the most striking examples of gridshell architecture and the answers to these questions.

In de serie Freestyle van de Bond van Nederlandse Architecten (BNA) schrijven architecten openhartig over hun geheime fascinaties. In deze vierde editie, *Behind Gridshells*, verkennen Edoardo Mentegazzi en Joyce Kuiken hun passie voor gridshells. Deze bijzondere en lichte manier van bouwen maakt verleidelijke vormen mogelijk met gebruik van duurzame materialen. In zijn vele verschijningsvormen kan een gridshell dienen als tijdelijk paviljoen, expositieruimte of werkplaats.

Hoe bouw je een gridshell? Wat is er al gebouwd, en hoe? Wat is de betekenis ervan voor de hedendaagse architectuur die duurzaam is en gebruikmaakt van digitale ontwerpen productiemethoden? In 12 case studies wordt een reis over de wereld gemaakt op zoek naar de meest aansprekende voorbeelden en antwoorden op bovenstaande vragen.



BNAonderzoek

Postbus 19606 / 1000 GP Amsterdam
T 020 555 36 66
bna-onderzoek@bna.nl
www.bna-onderzoek.nl



E. Mentegazzi & J. Kuiken

Edoardo Mentegazzi graduated from the Polytechnic of Turin on the subject of the digital formfinding of gridshells. His office *EMA* operates in the field of architecture and design and includes research and critical writing on digital architecture.

Joyce Kuiken is a hybrid engineer-architect. In her company *eggworks* she is fascinated with adaptability, textile and lightness in architecture. She focuses on lightweight structures like gridshells as a way of dealing with a digital and individual yet sustainable and affordable architecture.

BEHIND GRIDSHELLS

morphogenetic and parametric design strategies
morfogenetische en parametrische ontwerpstrategieën



Like

We like Gridshells

In times of crisis beauty often falls victim to efficiency or costs.

Instead of looking at the mass production of architecture as a way of incorporating design into our buildings at an affordable level, the gridshell gives us another way of looking at contemporary, efficient and sustainable architecture.

It gives us an architecture that is not only highly individual and still affordable, but one that celebrates abundance and beauty in flowing surfaces and spaces. The structure of a gridshell is simple and highly efficient. It means doing more with less material, less waste and less energy. Low-grade materials such as timber and bamboo work together and are transformed into great structural elements. Not by shear force, but by making use of smart and natural systems, using a minimum of materials and energy to make wonderful things happen.

With gridshells, being sensible, economical and sustainable is in sync with creating beautiful architecture.

Wij houden van Gridshells

In tijden van crisis wordt schoonheid vaak opgeofferd aan efficiency of kostenbeheersing; massaproductie als een manier om betaalbaar architectuurontwerp in onze gebouwen te incorporeren. Gridshells bieden echter een andere kijk op moderne, efficiënte en duurzame architectuur.

Gridshells zijn heel eigen en toch betaalbaar; en ze leveren een zeer rijke architectuur op van prachtige vloeiende oppervlakken en ruimten. De constructie van een gridshell is eenvoudig en uiterst efficiënt. Het komt neer op meer doen met minder materiaal, minder afval en minder energie. Laagwaardige materialen zoals hout en bamboe vormen samen draagkrachtige structuren. Niet met louter kracht, maar door gebruik te maken van slimme en natuurlijke systemen. Met een minimum aan materialen en energie kunnen grootse dingen worden gemaakt.

Met gridshells gaat verstandig, economisch en duurzaam bouwen samen met het creëren van bijzondere architectuur.





WHAT IS A GRIDSHELL?
-
WAT IS EEN GRIDSHELL?

The term 'gridshell' commonly describes a structure with the shape and strength of a double curvature shell, but consisting of a grid rather than a solid surface. These structures can span great widths using very little material of just about any kind: steel, aluminium, wood or even cardboard tubes. When covering a curved surface, a widely used approach is triangulating the surface using short straight elements, thus defining a faceted geometry. The complexity of this geometry requires the development of many unique and expensive parts and assemblies.

A gridshell handles the issue of double curved surfaces in a very different way. In classical gridshells, long, slender and flexible elements are used and assembled on the ground into a regular grid. Each crossing node is connected to allow rotation but prevent sliding along the elements. The absence of plane shear rigidity in this stage – caused by the rotation of the nodes and flexibility of the elements – allows for great deformations to shape the flat surface into a three dimensional shell. The grid is deformed

De term 'gridshell' beschrijft een constructie met de vorm en sterkte van een dubbel gekromde schaal, die is opgebouwd uit een grid in plaats van een dicht oppervlak. Deze constructies kunnen grote overspanningen maken met een minimum aan materiaal, variërend van staal, aluminium, hout tot zelfs kartonnen kokers. Wanneer een gekromd oppervlak overspannen moet worden, is het gebruikelijk dit onder te verdelen in driehoekige vlakken met korte rechte elementen: een gefacetteerde geometrie. De complexiteit van een dergelijke oplossing vraagt echter om de ontwikkeling van veel unieke – en dus kostbare – onderdelen en ingewikkelde constructiemethoden.

Een gridshell gaat anders om met de vorming van een dubbel gekromd oppervlak. In klassieke gridshells worden lange, dunne, flexibele elementen op de grond samengevoegd tot een regelmatig grid. Op de kruispunten worden de delen verbonden om draaiing mogelijk te maken, maar schuiven te voorkomen. Dankzij de draaibare knopen en flexibele elementen is het platte vlak niet stijf en kan het bewerkt worden tot een



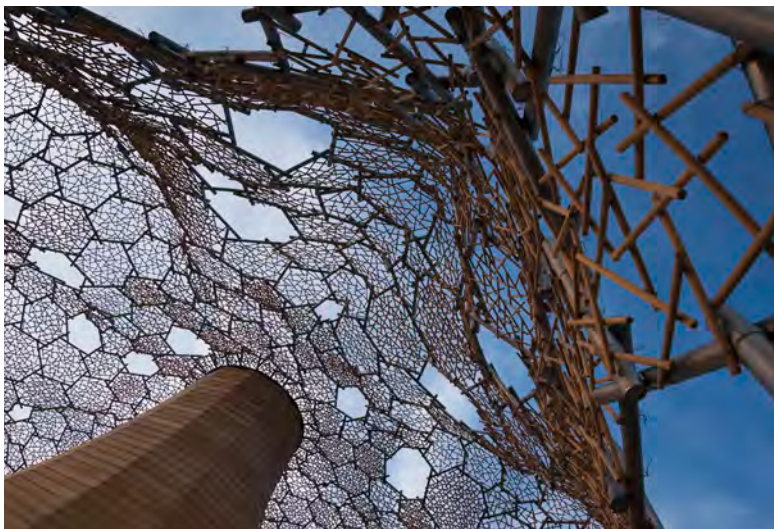
WEALD & DOWNLAND MUSEUM, Sussex

elastically by bending until the desired form is obtained and then rigidified. Three important gridshells that were built using this method are the Mannheim Multihalle (Frei Otto, 1975), the Weald and Downland Museum (E. Cullinan, Happold, 2002) and the Japanese pavilion for the Hanover 2000 Exhibition (Shigeru Ban, Happold).^[1]

driedimensionale schaalvorm. Wanneer het grid soepel in vorm is gebogen, wordt het stijf gemaakt. Drie belangrijke gridshells die volgens deze methode zijn gebouwd, zijn de Multihalle in Mannheim van Frei Otto in 1975, het Weald and Downland Museum van E. Cullinan en Buro Happold in 2002, en het Japanse Paviljoen op de Hannover Expo in 2000.^[1]



MULTIHALLE, Mannheim



ROKKO SHIDARE OBSERVATORY, Kobe



RESEARCH PAVILION '11, Stuttgart

In the meantime, digital designing and calculation methods have enabled the development of the classical gridshell and the evolution into new kinds of structures. The principles of covering a double curved surface with a grid rather than a solid surface are upheld, as is the use of low-grade building materials that are transformed into structural shells. However, these next generation gridshells explore endless and exciting possibilities, and are therefore well represented in this book.

Intussen hebben digitale ontwerpen en rekenmethoden een doorontwikkeling van de klassieke gridshell en verschillende nieuwe verschijningsvormen mogelijk gemaakt. Het principe van een dubbel gekromde schil in de vorm van een grid in plaats van een dicht oppervlak is hierbij gehandhaafd, net als het inzetten van laagwaardige bouwmaterialen als structurele elementen. Deze nieuwe generatie gridshells verkent een ongekend en boeiend potentieel aan mogelijkheden en is daarom ruimschoots vertegenwoordigd in dit boekje.

Gridshell design methods:
Formfinding techniques

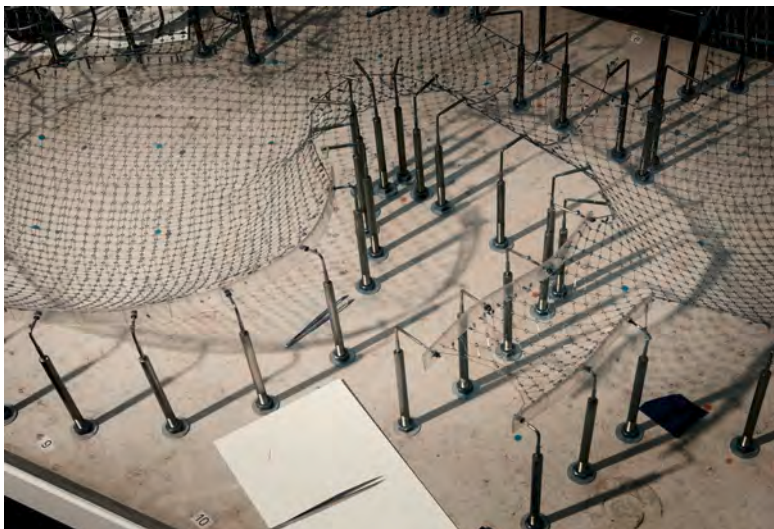
Gridshell ontwerpmethoden:
Formfinding technieken

In architecture, formfinding is the search for an optimal shape with respect to the desired appearance or functionality of the enclosed space. Architectural formfinding can be viewed as shape finding where the optimum is sought, for instance, for a specific use of the space. In structural design, the shape itself is not optimized, but the optimum is found in an optimal structural behaviour.

By evolution, nature has developed ways to transmit forces with a minimal use of energy and material. A spider's web, the shape of soap bubbles and radiolarians (single-cell oceanic organisms) are examples of highly efficient structures made by nature in a variety of shapes and sizes. The principles of formfinding can be translated into physical, analogue and digital design methods for buildings. In this book, four different families of gridshells are discerned based on the formfinding technique used to create them. These four families are each described in the following pages.^[2]

In architectuur is *formfinding* de zoektocht naar een optimale vorm in uiterlijk of functie van de besloten ruimte. Bij ruimtelijke formfinding wordt de beste vorm voor bijvoorbeeld een bepaalde functie gezocht, terwijl in constructieve formfinding een optimale constructie het doel is.

In de natuur zijn talloze voorbeelden te vinden waarbij krachten met een minimum aan energie en materiaal overgebracht kunnen worden, en tegelijkertijd een grote variatie aan vormen mogelijk blijft. Spinnenwebben, zeepbellen en radiolariën (eencellige zeeorganismen) zijn voorbeelden van zeer efficiënte structuren in de natuur met een grote verscheidenheid aan vormen en maten. De principes van formfinding kunnen vertaald worden naar fysieke, analoge en digitale methoden om zo toegepast te worden in het ontwerp van gebouwen. In deze publicatie worden op basis van de verschillende formfinding-technieken vier families van gridshells onderscheiden en afzonderlijk beschreven.^[2]



MULTIHALLE MANNHEIM, hanging chain model



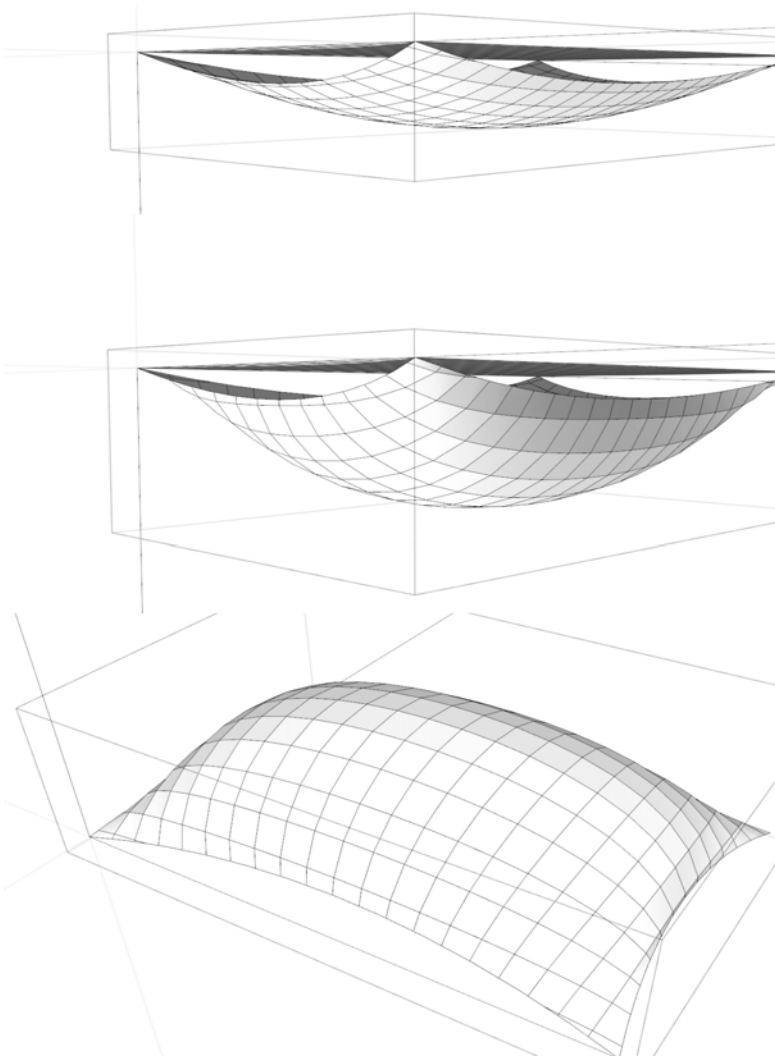
MULTIHALLE MANNHEIM, erecting process from the ground

CLASSIC *physical*

In this method, the geometry of a design is determined by a physical model. Hanging chain models represent the inverted process of erecting a flat grid from the ground into its three-dimensional shape. The tension in the hanging model is inverted into compression when turned upside down in the real structure. However, the hanging chain or net does not take into account the stiffness and other bending properties of the used material. During the installation process and lifetime of the gridshell, this discrepancy can cause elements to fail, if the model allowed for curvatures that the actual material couldn't take. Frei Otto used this method in his Multihalle in Mannheim. While being installed, many of the elements broke and had to be rejoined or replaced on site. The classical gridshell is a very labour-intensive design and building method.

KLASSIEK *fysiek*

In deze ontwerpmethodede wordt de geometrie van een ontwerp bepaald door een fysiek model. Hangende netmodellen zoals linksboven afgebeeld, vertonen het omgekeerde proces van het platte grid dat vanaf de grond in zijn driedimensionale vorm wordt opgericht. De trekkracht in het hangende model verandert in duwkracht als het model wordt omgekeerd. Een hangend netmodel houdt echter geen rekening met stijfheid en andere buigeigenschappen van het gebruikte materiaal. Er kunnen dus fouten ontstaan tijdens de installatie en levensduur van een gridshell, als het model in krommingen voorziet die het materiaal niet aankan. Frei Otto gebruikte deze methode bij zijn Multihalle in Mannheim. Tijdens de bouw braken vele houten elementen die ter plekke vervangen moesten worden. De klassieke gridshell is een zeer arbeidsintensieve methode in zowel ontwerp als bouw.

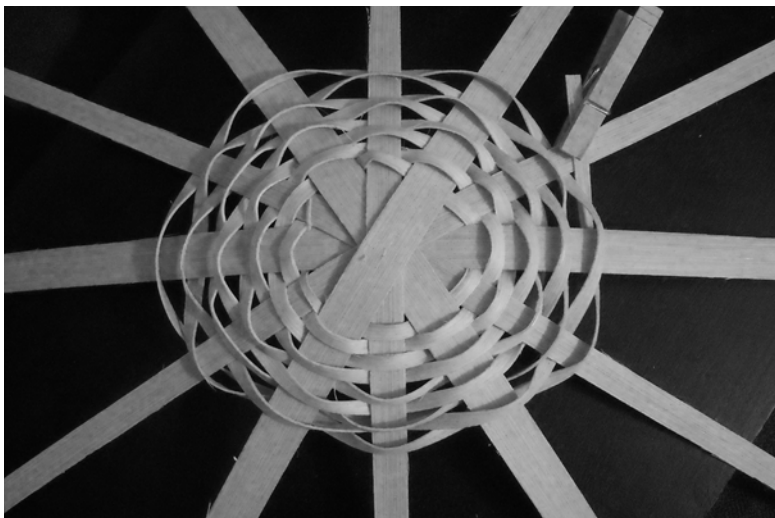


CLASSIC *digital*

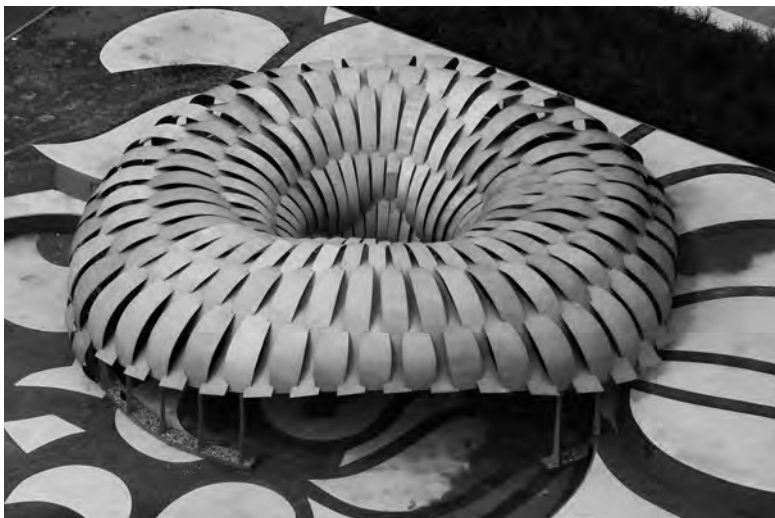
This method can be seen as a digital translation of the classical physical formfinding technique. The geometry of a design is determined by using the mathematical method called Dynamic Relaxation Method. This method involves applying movement to each node of a structure and waiting until each node achieves a structural equilibrium with all other nodes in the system and other present external forces. Currently developed and developing digital simulation models enhance the level of reality by adding the actual material mechanical properties to the equation, thereby predicting the allowable curvature and possible shape of the structure. The designing process of digital classical models is far less labour-intensive than physical form-finding, and the results are more reliable. Combined with digital production methods, the execution of gridshells can be greatly simplified.

KLASSIEK *digitaal*

Deze methode kan beschouwd worden als een digitale vertaling van de klassieke fysieke formfinding-techniek. De geometrie van een ontwerp wordt bepaald door een wiskundige methode genaamd Dynamic Relaxation. Bij deze methode wordt elke knoop van een structuur in beweging gebracht en wordt gewacht tot een structureel evenwicht bereikt is met alle andere knooppunten en aanwezige externe krachten. Huidige en in ontwikkeling zijnde digitale simulatiemodellen verhogen het realiteitsniveau doordat hierin rekening wordt gehouden met werkelijke materiaaleigenschappen. Hiermee kunnen de mogelijke krommingen en vormen zeer nauwkeurig worden voorspeld. Het ontwerpproces van de digitale klassieke gridshells is aanzienlijk minder arbeidsintensief dan die van fysieke modellen, en de uitkomst is betrouwbaarder. Ook op productie kan tijd en geld bespaard worden door digitale productiemogelijkheden.



Weaving round basket structure



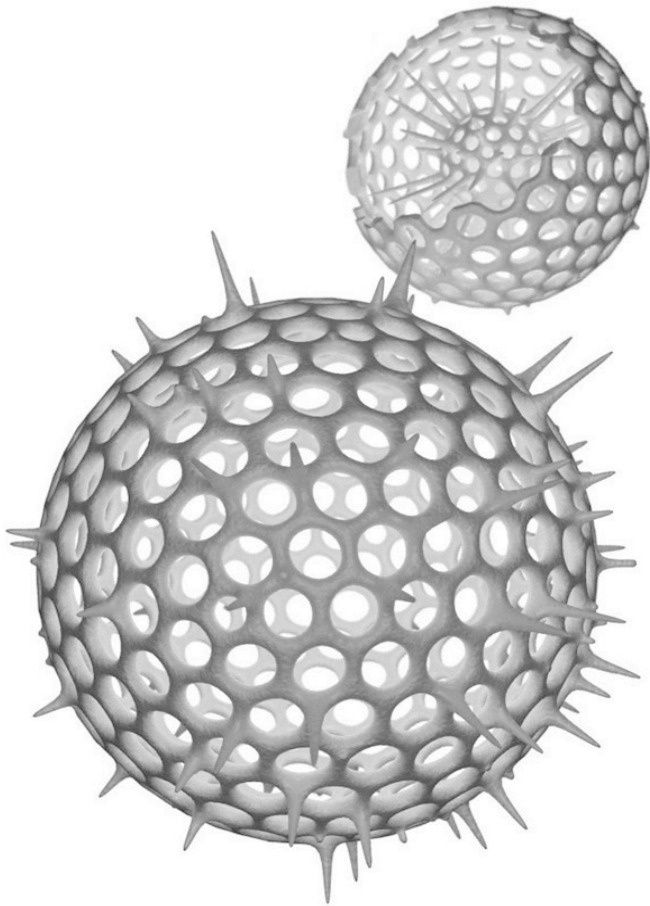
RESEARCH PAVILION 2010

WEAVING *digital*

Weaving is an evolved way of making a grid. The elements are woven together and run over and under each other. Instead of having to rigidly connect every crossing node separately, the continuous elements are held together by slots, flexible joints or purely by friction. This way of weaving, based on traditional handcraft techniques, opens up a whole new field of possibilities in creating gridshells and can be applied in various forms. Digital production methods enable varied sizes and shapes of the continuous elements used, and make it possible to apply the handcraft technique of weaving to the larger scale of buildings.

WEVEN *digitaal*

Weven is een afgeleide manier om een grid te maken. De elementen worden met elkaar verweven en lopen onder elkaar door en over elkaar heen. Niet elke knoop hoeft hierbij stijf verbonden te worden; de delen kunnen op hun plaats gehouden worden door inkepingen, flexibele verbindingen of puur door wrijving. Deze weefmethode, gebaseerd op traditionele handwerktechnieken, biedt nieuwe mogelijkheden voor gridshells en kan in in veel variaties worden toegepast. Digitale ontwerp- en productiemethoden maken verschillende afmetingen en vormen mogelijk en zorgen dat de handwerktechniek van het weven kan worden toegepast op de grotere schaal van gebouwen.



GENERATIVE ALGORITHM

digital

This is a self-organizing method of surface and spatial optimization, relying on random selection factors and external parameters. The basic mathematical principle is extracted from nature and its selection method, based on the principle of generation, mutation and crossover, and is translated into digital code. Charles Darwin showed that nature uses random mutation in a way that creates a huge variety of designs.

The principle of self-organization used in generative algorithms is derived from a microorganism with an efficient and varied structure: the radiolaria. Different factors, such as overall size, cell size, the relation between cells and the distance to the nucleus, are simultaneously optimized. When these algorithmic rules are applied as a design method, designs are created in which skin, structure, space and form are integrated and optimized in a varied way.^[3]

GENERATIEF ALGORITME

digitaal

Dit is een zelforganiserende methode om oppervlak en ruimte te optimaliseren, gebruikmakend van willekeurige selectiecriteria en externe parameters. Het onderliggende mathematische principe is afgeleid van de natuurlijke selectiemethoden op basis van generatie, mutatie en kruisbestuiving. Charles Darwin toonde al aan dat in de natuur door willekeurige mutatie een grote variëteit aan ontwerpen ontstaat. Het principe van zelforganisatie in een generatief algoritme is afgeleid van de radiolariën, micro-organismen met een efficiënte en gevarieerde structuur. Verschillende factoren als grootte, samenhang en afmetingen van cellen en afstand tot de kern, worden tegelijkertijd geoptimaliseerd. Wanneer deze algoritmische regels op de ontwerpmethodiek van gebouwen worden toegepast, kunnen ontwerpen ontstaan waarin huid, constructie, ruimte en vorm optimaal zijn geïntegreerd.^[3]

Gridshell materials
-
Gridshell materialen

Gridshells have the unique ability to transform low-grade materials into great structural elements. Therefore they are a sustainable approach to building structures with large spans. The materials chosen should have the same properties. Not only from an idealistic point of view, but also from a practical one, since the mechanical properties required for gridshells are often found in natural and sustainable materials. This book therefore focuses on gridshells made with low-grade and often sustainable materials, such as wood, bamboo, plastic and composites.

Gridshells hebben het unieke vermogen laagwaardige materialen tot sterke structurele elementen te transformeren. Ze bieden daarmee een duurzame oplossing voor structuren met grote overspanningen. Ook de gebruikte materialen zouden duurzaam moeten zijn. Niet alleen vanuit een idealistisch perspectief, maar ook vanuit praktisch oogpunt; het zijn vaak juist natuurlijke en duurzame materialen die de benodigde eigenschappen bezitten. In deze publicatie ligt de nadruk dan ook op gridshells die gemaakt worden met laagwaardige en in veel gevallen duurzame materialen, zoals hout, bamboe, kunststof en composieten.



wood | plywood

Widely used, cheap and readily available, this material lends itself beautifully to both classic gridshells and more evolved structures.

bamboo

A CO₂-negative material that can be used both as unprocessed culms and manufactured strips. The flexibility and strength of bamboo makes this material particularly suitable for gridshells.

plastic

Although plastic is usually not considered a sustainable material, Its efficiency and recycling possibilities are very sustainable properties. Various application methods are possible when plastic is applied as a structural material for gridshells (foils, tubes, etc.).

composite

Composite materials, or composites, can be engineered according to the required properties of the application. Constant and manageable quality is a big advantage of this material, since these properties avoid the usage of excess material.

hout | multiplex

Veel gebruikt, goedkoop en makkelijk verkrijgbaar; dit materiaal leent zich bijzonder goed voor zowel klassieke gridshells als de afgeleide structuren.

bamboe

Een CO₂-negatief materiaal dat zowel onverwerkt als verwerkt in strips gebruikt kan worden. De flexibiliteit en sterkte van bamboe maakt het bijzonder geschikt voor gridshells.

kunststof

Hoewel kunststof meestal niet als een duurzaam materiaal wordt beschouwd, maken de efficiëntie ervan en de mogelijkheid tot hergebruik het wel degelijk duurzaam. Het kan bovendien in vele varianten toegepast worden (folie, buizen, etc.).

composiet

Samengestelde materialen of composieten kunnen ontwikkeld worden al naar gelang de specifieke toepassing. Een groot voordeel is de constante en beheersbare kwaliteit van het materiaal, waardoor het zuinig is in gebruik.

CASE STUDIES

The different types of gridshells introduced in the previous chapter will be presented here in a selection of 12 chosen case studies from all parts of the world. These 12 appealing and unique case studies are classified in a matrix of the four previously described formfinding categories. Each case study description is composed of the parties involved in the design process or construction, the specific function and the concept behind the design. The used materials, construction method and the developed design strategy are also highlighted per case study. The resulting compact 'catalogue' is intended to give an overview of gridshells in terms of shape, technique, structure, lightness, materials, efficiency and the evolution of gridshells during the past decades.

De verschillende typen gridshells die in het voorgaande hoofdstuk beschreven zijn, worden in 12 casestudies van over de hele wereld gepresenteerd. Deze bijzondere en unieke projecten zijn ingedeeld in een matrix van de vier eerder beschreven formfinding categorieën. Per casestudy wordt toegelicht welke partijen betrokken zijn geweest bij ontwerp en bouw, wat de functie is, en wat het concept achter het ontwerp is. Ook het toegepaste materiaal, de constructie en ontwerpstrategie komen aan de orde. De zo ontstane compacte 'catalogus' is bedoeld als overzicht op het gebied van vorm, techniek, constructie, lichtheid, materiaalgebruik, efficiëntie, en de ontwikkeling van gridshells gedurende de afgelopen decennia.

A map of Europe with several black dots indicating specific locations. The dots are located in Germany (Stuttgart), Germany (Mannheim), Germany (Hannover), Finland (Helsinki), France (Metz), United Kingdom (Windsor), Hong Kong, Japan (Kobe), and the Netherlands (Amsterdam).

● Stuttgart
Research Pavilions

● Mannheim
Multihalle

● Hannover
Japanese Pavilion

● Helsinki
Kupla Lookout Tower

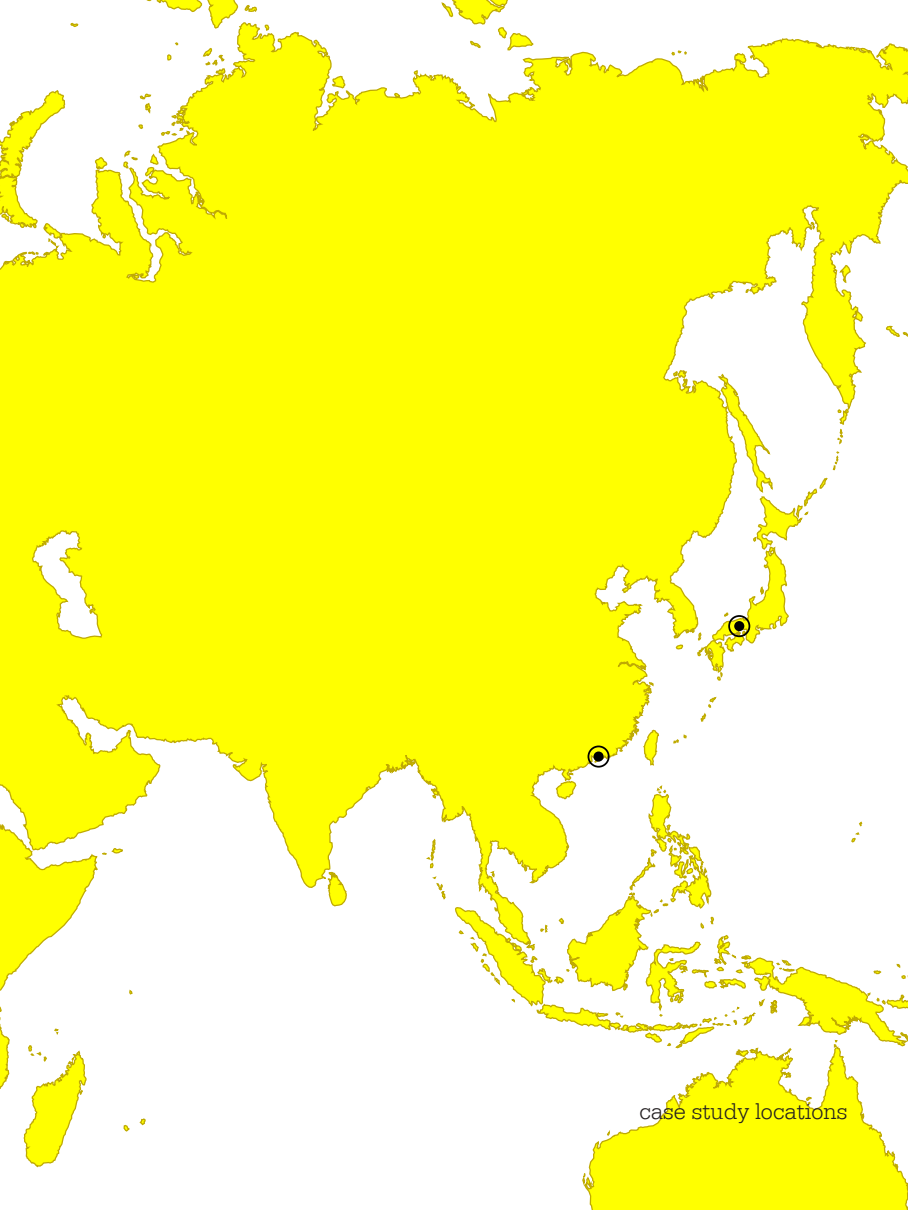
● Metz
Centre Pompidou

● Windsor
Savill Building

● Hong Kong
Shellstar Pavilion

● Kobe
Rokko Shidare

● Amsterdam
Favelous 963

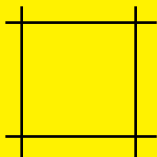


case study locations

FORMFINDING

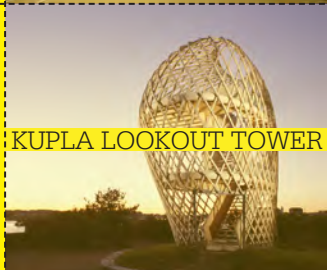
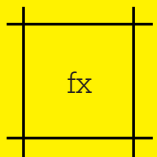
PHYSICAL

classic



MULTIHALLE

classic



KUPLA LOOKOUT TOWER

DIGITAL

weaving



CENTRE POMPIDOU

generative algorithm



ROKKO SHIDARE



JAPANESE PAVILION



FAVELOUS 963



SAVILL BUILDING



PLUSMINUS



RESEARCH PAVILION '10



RESEARCH PAVILION '12

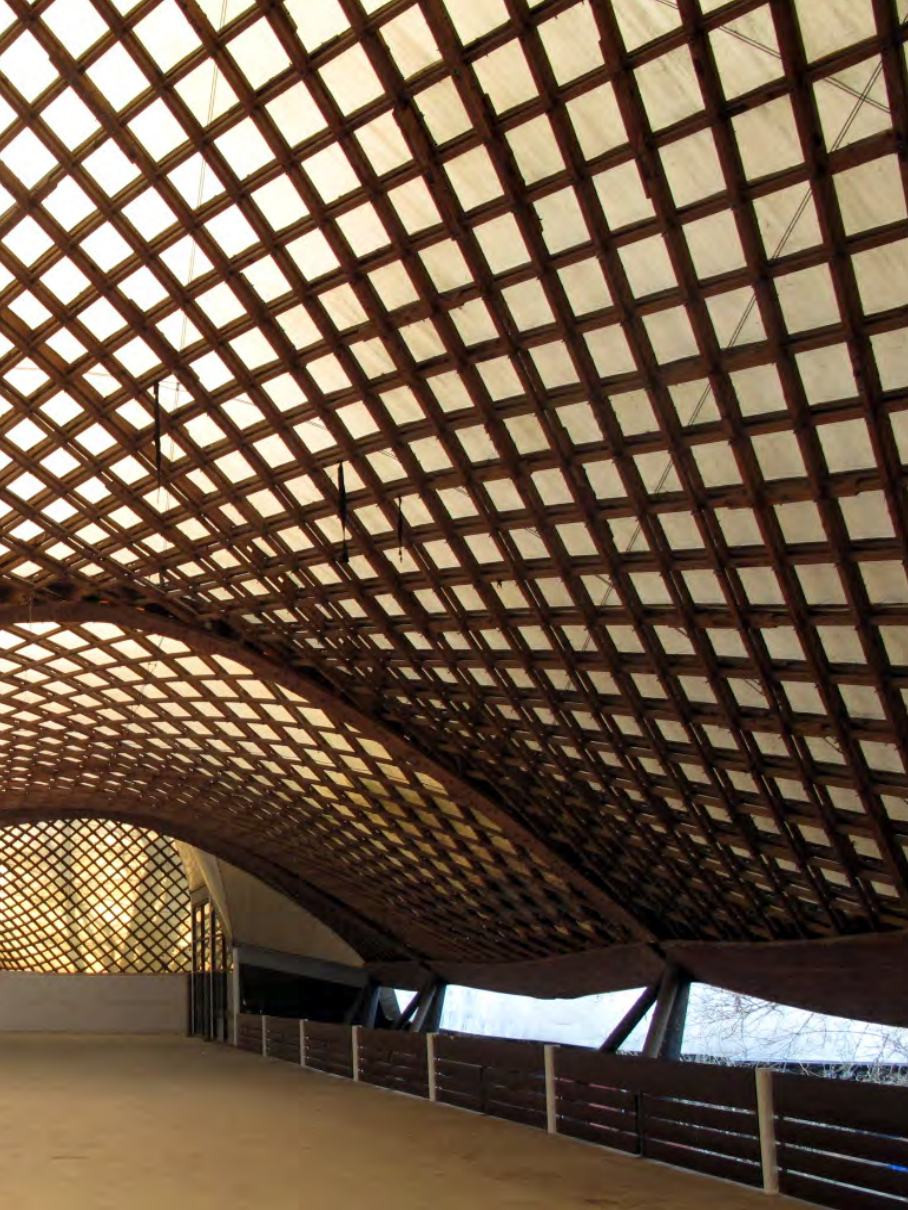


RESEARCH PAVILION '11



SHELLSTAR PAVILION

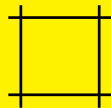




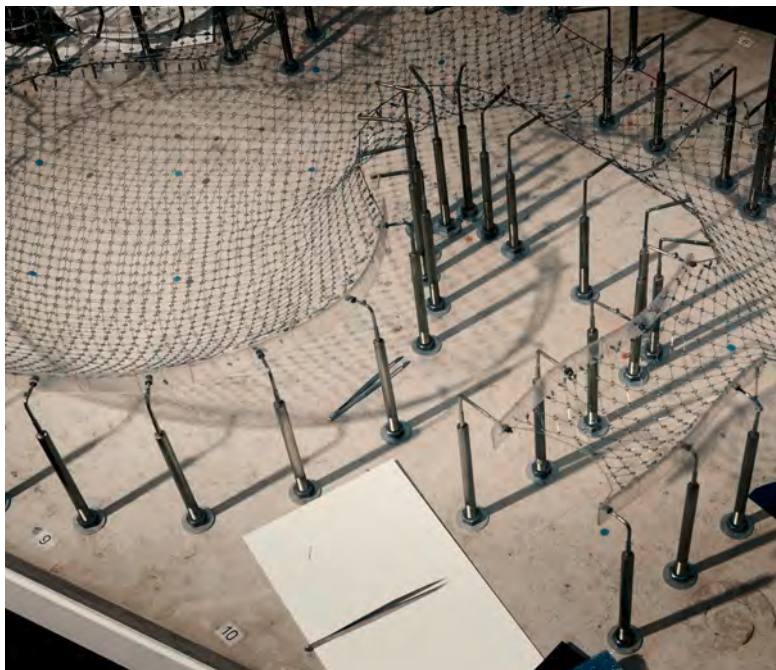


project | location
completed | in use until
function
architect | engineer
dimensions
elements

Multihalle | Mannheim DE
1975 | present
Temporary Exhibition Pavilion
Frei Otto | Ove Arup
20m (h) | 60x60m span
50x50mm hemlock wood



CLASSIC
WOOD



Project

The Mannheim Pavilion is the result of a design competition that was held for the main building of Germany's Bundesgartenschau. Originally, the building was meant for temporary use, but to the present day the Multihalle is in use as an exhibition space and restaurant.

Project

Het Mannheim Paviljoen is het resultaat van een ontwerpwedstrijd die uitgeschreven werd voor het hoofgebouw van de Bundesgartenschau, een Duitse variant van de Floriade. Oorspronkelijk zou de constructie tijdelijk in gebruik zijn, maar de Multihalle bestaat nog steeds en wordt gebruikt als expositieruimte en restaurant.



Design

The design process of the Mannheim Pavilion involved using physical models as the primary method of formfinding, in particular a hanging chain model. The node locations were determined using geodesic measurements taken by stereoscopic cameras. The Mannheim Pavilion is impressive not only for its unique construction process, but also for its design durability – despite the technological limits of the time in which it was envisaged and realized.

Form and Space

One of the lightest structures ever built, the Multihalle initially served as an exhibition space in 1975.

Ontwerp

Bij het ontwerpproces van het Mannheim Paviljoen werd gebruik gemaakt van fysieke hangende netmodellen voor formfinding. De locaties van de knooppunten werden bepaald met behulp van geodetische metingen met een stereoscopische camera. Het Mannheim Paviljoen is niet alleen indrukwekkend door het unieke bouwproces, maar ook door het duurzame ontwerp, dat ondanks de technische beperkingen van die tijd gerealiseerd kon worden.

Vorm en ruimte

Als een van de lichtste structuren ooit gebouwd, werd het Paviljoen in 1975 in gebruik genomen als expositieruimte. De opmerkelijke



However, the remarkable structure in the Herzogenried Park is still in use today.

Construction

At every joint, four layers of wooden laths were connected. The connection had to allow the members to rotate during the erection process, creating the parallelograms that were necessary to form the structure's organic shape. Once the final shape was achieved, the laths and the structure were fixed by tightening the pin joints and adding steel cables as bracing.

constructie in het Herzogenried Park wordt nog altijd goed benut.

Constructie

Bij elk knooppunt zijn vier lagen houten latten met elkaar verbonden. De verbinding moest tijdens de oprichting en montage rotatie toestaan, zodat het vierkante grid kon vervormen naar parallelogrammen, om de vloeiende vorm van de structuur mogelijk te maken. Toen de uiteindelijke vorm bereikt was, werden de knooppunten strak aangedraaid en werd de structuur met stalen kabels gefixeerd.



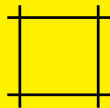
JAPAN





project | location
completed | in use until
function
architect | engineer
dimensions
elements

Japanese Pavilion | Hannover DE
2000 | 2000
Exhibition Pavilion
Shigeru Ban | F. Otto | Happold
72m (l) | 15.5m (h) | 35m (w)
Ø 120mm, 40m (l) cardboard tubes



CLASSIC
COMPOSITE



Project

As an expression of sustainable architecture – a central theme of the Expo 2000 in Hannover – the Japanese Pavilion was made of recycled and recyclable materials. A second theme in the pavilion was to make the structure as low-tech as possible.

Design

The pavilion was a great leap forward in the field of paper architecture. Shigeru Ban designed a curvy paper tunnel supported by a matrix of recycled paper tubes with joints that were

Project

Omwille van duurzaamheid – een centraal thema van de Expo 2000 in Hannover – werd het Japanse Paviljoen geconstrueerd met gerecycleerde en recycleerbare materialen. Het tweede thema van het paviljoen was om de structuur zo lowtech mogelijk te maken.

Ontwerp

Het paviljoen is een grote sprong voorwaarts op het gebied van papierarchitectuur. Shigeru Ban ontwierp een gekromde papieren tunnel waarbij de structuur gevormd wordt door een grid van







affixed with metal tape. The first design was a tunnel-shaped gridshell made of lengthy paper tubing without joints.

The most critical factor was lateral strain along the long side, so instead a wavy gridshell was designed with three-dimensionally curved lines.

Form and Space

The wavy shape of the pavilion consisted of an approach zone, offices and an exhibition space that is spacious and flooded with natural light. The materials that were won in the demolition of the

gerecyclede kartonnen kokers, verbonden door metalen tape. Het eerste ontwerp was een tunnel-vormige gridshell opgebouwd uit lange kokers zonder verbindingen. Om stabiliteit in de lengterichting te verkrijgen, werd de vorm echter veranderd in een welvende gridshell met driedimensionaal gekromde lijnen.

Vorm en ruimte

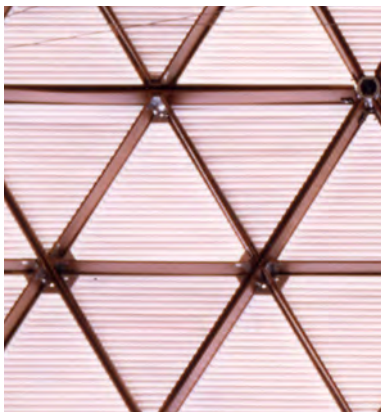
De welvende vorm van het paviljoen omvat een entreegebied, kantoren en een ruime, natuurlijk verlichte expositieruimte. Zoals bedoeld, zijn de na de sloop



pavilion were largely reused as building materials, as was intended.

Construction

The structure consists of a lattice-gridshell of cardboard tubes with a secondary timber structure on top of that. The roof skin consists of a five-layer fire- and waterproof paper membrane to allow natural light to enter the space. Due to regulations, an additional PVC membrane had to cover the paper one. The secondary timber structure also had to be reinforced with curved timber ladder girders, which, together with steel stays, form the real load-bearing elements of the pavilion.



resterende materialen na afloop van de expo grotendeels hergebruikt.

Constructie

De constructie bestaat uit een raamwerk van kartonnen kokers, waar een secundaire houten structuur overheen ligt. De dakbedekking bestaat uit een vijf-laags papieren, brand- en watervast membraan dat het daglicht binnenlaat; het dak werd afgewerkt met een extra laag PVC in verband met regelgeving. Ook werd de houten structuur versterkt met gekromde ladderspanten, om zo samen met stalen windverbanden de draagstructuur te vormen.



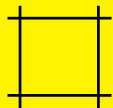




project | location
completed | in use until
function
architectural team

engineer
dimensions
elements

FAVELOUS 963 | Amsterdam NL
2013 | 2013
Pop-up Restaurant
Ifigeneia Dilaveraki, Elena Goray,
Andrea Sossi, Christoph Toenges
Christoph Toenges | CONBAM
12m (l) | 6.0m (w) | 6.0m (h)
900m¹ split bamboo



CLASSIC
BAMBOO



Project

Favelous 963 is an initiative by an interdisciplinary and multinational group of people with the aim to create a platform for food-related events. The mission was to create a flexible space in a vacant building, which was originally used for the production of train wagons. The structure was to be lightweight, easy to assemble and made of natural and second-hand materials.

Design

The gridshell was designed in a physical model, which gave a direct feedback and precise control over the architectural implications

Project

Favelous 963 is een initiatief van een interdisciplinaire en internationale groep mensen om een platform te creëren voor voedsel-evenementen. Het doel was een flexibele ruimte te maken in een leegstaand gebouw dat voorheen gebruikt werd voor de productie van treinwagons. De constructie moest lichtgewicht zijn, eenvoudig op te bouwen, en gemaakt van natuurlijke en tweedehands materialen.

Ontwerp

De gridshell is met behulp van een fysiek model ontworpen, wat tijdens het ontwerpproces garant



of the structure and its surrounding space, in an intuitive way.

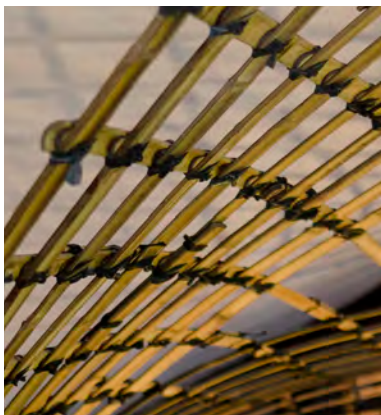
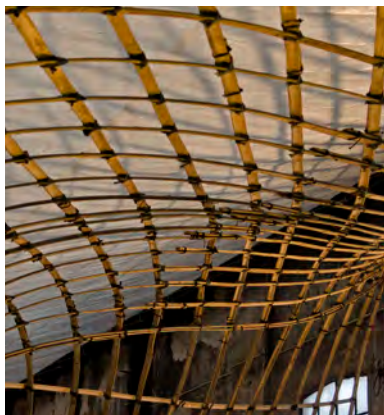
Form and Space

Main architectural themes are material and space continuity, view variation, exposure and enclosure. Bamboo elements interlace in different directions and densities in order to address those themes and correspond to structural and daylight requirements. During the daytime, the structure is only

stood for direct feedback and exact control over the architectonische implicaties van de gridshell en zijn context.

Vorm en ruimte

Architectonische hoofdthema's zijn de continuïteit van materiaal en ruimte, gevarieerde uitzichten, openheid en beslotenheid. Bamboe elementen zijn in verschillende richtingen en dichtheden vervlochten en geven zo vorm aan



present in a subtle way while shaping the space, but because of the gridshell, the atmosphere changes dramatically at night, when a dialectic play of light and shadow emerges that shapes the enclosed and surrounding space.

Construction

In the search for renewable materials, bamboo was chosen because of its comparable strength and flexibility. The structure was realized in three days using 900m of split bamboo, 600m of black rope and 300m of damaged bicycle tires collected from local stores.

deze thema's, rekening houdend met eisen ten aanzien van constructie en daglicht. Overdag is de structuur alleen op subtiele wijze aanwezig; 's nachts verandert de sfeer drastisch wanneer het spel tussen licht en schaduw ruimte in en om de gridshell definieert.

Constructie

In de zoektocht naar hernieuwbare materialen is bamboe gekozen vanwege de bijzondere sterkte en flexibiliteit. De structuur werd in drie dagen opgebouwd uit 900m gesplitst bamboe, 600m zwart touw en 300m kapotte binnenbanden uit lokale fietsenwinkels.

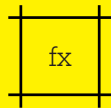






project | location
completed | in use until
function
architect | engineer
dimensions
elements

Kupla Lookout Tower | Helsinki FI
2002 | present
Lookout Tower for Korkeasaari Zoo
Ville Hara, Avanto Architects | Nuvo
8,22m (l) x 6,02m (w) x 9,78m (h)
60x60mm laminated wood



CLASSIC
WOOD

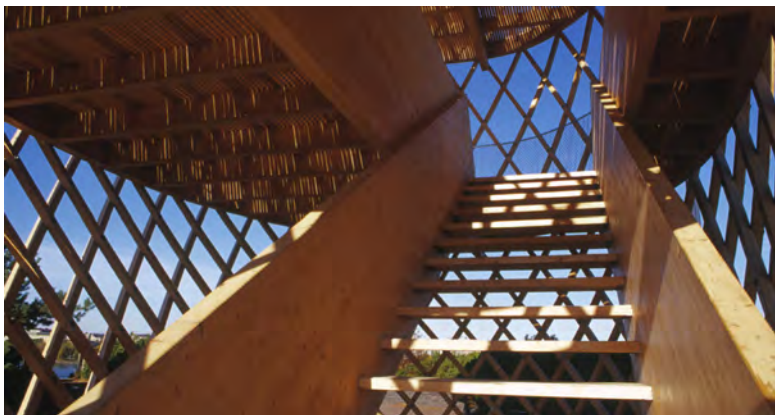


Project

Situated on a cliff 18m above sea level, with spectacular views of the sea and the city of Helsinki, this 10m-high tower is a delicate and transparent landmark on the island of Korkeasaari, on which the Helsinki zoo is located. The tower is the result of an international design contest for students and Ville Hara's graduation project.

Project

Gesitueerd op een klif 18m boven zeeniveau, met spectaculaire uitzichten over de zee en Helsinki, is deze 10m hoge toren een fijnzinnig, transparant landmark op het eiland Korkeasaari, waar de dierentuin van Helsinki is gevestigd. De toren is het afstudeerproject van Ville Hara, waarmee hij meedeed aan een internationale ontwerpwedstrijd.



Design

In order to avoid problems during construction, there was a protracted trial phase with 3D-simulation and models. The internal platforms and stairs were built of solid laminated timber, thereby forming independent spatial entities within the overall tower space.

Form and Space

The free form of the tower is inspired by the natural flowing surroundings, has a great affinity to man and nature and is also more economical than a rectilinear form. The extraordinary shape of the tower enables visitors to view the surroundings while being protected by the light and transparent structural skin,

Ontwerp

Om problemen tijdens de bouw te voorkomen, werd een uitgebreide testperiode met 3D-simulatie en modellen ingelast. De platforms en trappen werden in massief gelamineerd hout uitgevoerd, en vormgegeven als zelfstandige ruimtelijke eenheden van de toren.

Vorm en ruimte

De vrije vorm van de toren is geïnspireerd op de natuurlijk glooiende omgeving, verbonden met mens en natuur, en bleek goedkoper dan een rechtlijnige vorm. Door de uitzonderlijke constructie van de toren kunnen bezoekers de omgeving bekijken, terwijl ze beschermd worden door de lichte, transparante huid die



which folds around the interior spaces.

Construction

The finely articulated, self-supporting net-like structure of the tower consists of 72 curved timber strips. After extensive testing, it was decided to have these 60x60mm laminated members bent to seven different radii at the factory and to shape them to their final curvature by steam treatment on site. The members were assembled in situ by bolting and thus fixing the entire construction.

zich om de binnenruimte heen vouwt.

Constructie

De zorgvuldig gedetailleerde, zelfdragende net-achtige constructie van de toren bestaat uit 72 gebogen houten latten. Na uitvoerig testen werd besloten om de gelamineerde elementen van 60x60mm in de fabriek te laten buigen in zeven verschillende radiussen en ze vervolgens op de bouwplaats hun finale vorm te geven met behulp van stoom. Daarna zijn ze ter plekke in elkaar gezet en gefixeerd met bouten.

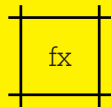






project | location
completed | in use until
function
architect | engineer
dimensions
elements

Savill Building | Windsor Park GB
2006 | present
Visitors Gateway
Glenn Howells Architects | Arup
90m (l) x 25m (w) x 8.0m (h)
46m (l) larch



CLASSIC
WOOD



Project

Set within Great Windsor Park, Surrey, a contemporary building was built to serve as a visitor centre and entrance to the Savill Gardens. A limited competition was written out that prescribed a contemporary building, an eye-catcher, with the use of local timber as the core building material. Glenn Howells Architects won the competition with a gridshell design.

Design

The main design is a full shell structure, which is lifted 5m off the

Project

Voor een bezoekerscentrum en toegang tot de Savill Gardens in Great Windsor Park in Surrey werd een besloten ontwerpwedstrijd uitgeschreven. Randvoorwaarden waren dat het gebouw modern en een eyecatcher moest zijn, en dat lokaal hout als basismateriaal zou dienen. Glenn Howells Architects won de wedstrijd met een ontwerp van een gridshell.

Ontwerp

Het ontwerp bestaat uit een driedimensionale structuur die 5m



ground by sloped steel columns and a steel edge beam. The steel elements are used to preserve the architectural concept of a thin, undulating shell with clean edges. Although organically shaped, the roof is very flat compared to earlier built gridshells, and the slim futuristic, leaf-like shape gives a slick and contemporary feel.

Form and Space

Once inside, the visitor's gaze is pulled towards the beginnings of the park. Between the end beam of the gridshell and the ground, glass panels enclose the visitor area with windows between 5 to 8.5m in height, providing a degree of protection along with dramatic first views of the gardens.

boven het maaiveld is opgetild, op schuin geplaatste stalen kolommen en een stalen randbalk. Hiermee kon het architectonische concept van een dunne, golvende schil zonder randen in stand gehouden worden. Hoewel organisch gevormd, is de kromming van het dak zeer flauw vergeleken met eerder gebouwde gridshells, en heeft de bladachtige vorm een gladde, moderne, zelfs futuristische uitstraling.

Vorm en ruimte

Eenmaal binnengekomen wordt de blik van de bezoeker vanzelf naar het begin van het park getrokken. Tussen de randbalk van de gridshell en de grond is de bezoekersruimte omsloten door



Construction

The construction consists of double diagonal laths made of larch. The nodes are formed by bolts that connect the different layers. One bolt connects the upper, and one the lower grid. Assisted by shear blocks, the two separate grids are joined together and act as a net of beams. The grid is then covered by constructive plywood panels and is clad with locally sourced green oak.

glazen panelen die variëren in hoogte van 5 tot 8,5m. Dit geeft een zeker mate van beschutting en biedt tegelijkertijd een eerste blik op de indrukwekkende tuinen.

Constructie

De constructie bestaat uit dubbele diagonale latten van lariks. De knopen worden gevormd door bouten die de afzonderlijke lagen verbinden: een bout voor de bovenste en een bout voor de onderste laag. Door middel van blokken worden de twee grids met elkaar verbonden en werken ze als een net van spanten. Het grid is verder afgewerkt met constructieve multiplex panelen en bekleed met lokaal geoogst eikenhout.

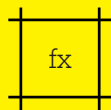






project | location
completed | in use until
function
architect | engineer
dimensions
elements

PlusMinus | Stuttgart DE
2010 | 2010
Experimental temporary canopy
Studio LTA | ILEK
16.50m (l) | 10.40m (w) | 3.60m (h)
2-layer polyamide tubes, inflatable
2 layers of polyethylene covering



CLASSIC
PLASTIC



Project

PlusMinus is a project initiated by students of the University of Stuttgart, at the Institute for Lightweight Structures and Conceptual Design, in cooperation with the Bionic Learning Network of Festo; a company specialized in automation technology. This research experiment was initiated to develop the lightest possible gridshell.

Design

This pneumatic gridshell goes one step further than classic gridshells

Project

PlusMinus is als project geïnitieerd door studenten van de universiteit van Stuttgart, van het Instituut voor Lichtgewicht Structuren en Conceptueel Ontwerp, samen met het Bionic Learning Network van Festo, een bedrijf in automatiseringstechniek. Het experiment is opgezet om de lichtst mogelijke gridshell te ontwikkelen.

Ontwerp

Deze pneumatische gridshell gaat verder dan het klassieke model,



by using new materials and construction methods, producing an ultra-efficient gridshell. Optimization resulted in a low self-weight of the construction with a maximum span and load-bearing capacity.

Form and Space

PlusMinus subtly combines efficiency, aesthetics and spatial awareness. The lightness of the structure is visually emphasized through the choice of a transparent plastic film for both the tubes and the cover. As a physical manifestation of the search for the lightest possible gridshell, this temporary pavilion was taken down after a period of exposition.

doordat met nieuwe materialen en constructietechnieken een ultra-efficiënte structuur is ontwikkeld. Het lage eigen gewicht van de constructie wordt gecombineerd met een maximale vrije overspanning en draagkracht.

Vorm en ruimte

PlusMinus combineert op subtiele wijze efficiëntie, esthetiek en ruimtelijke beleving. De lichtheid van de structuur is zichtbaar gemaakt door een transparant plastic folie voor zowel de buizen als de bekleding te kiezen. Als onderdeel van het onderzoek naar een zo licht mogelijke gridshell is dit tijdelijke paviljoen na expositie weer afgebroken.



Construction

The latticework is formed by inflated polyamide tubes, which are flexibly connected to each other via the joints. By inflating the tubes, the structure erects itself easily and quickly. The loadbearing capacity of the gridshell depends on the amount of air pressure in the tubes; the tubes are continually supplied with an air pressure of approximately 0.5-0.7 bar, thus creating a rigid structure.

Reinforcement is achieved through two shell films that are vacuum-sealed above and below the tube latticework, thus pressing the air-filled tubes to the joints and fixing them in place.

Constructie

De gridstructuur wordt gevormd door opblaasbare polyamide buizen, die via de knooppunten flexibel met elkaar zijn verbonden. Door de buizen op te blazen, komt de structuur zelfstandig en snel in vorm. De draagkracht van de gridshell wordt bepaald door de luchtdruk in de buizen; de buizen worden continu voorzien van ongeveer 0.5-0.7 bar om de structuur stijf te houden. De structuur wordt versterkt door middel van twee lagen vacuüm getrokken folie aan beide zijden van het buizenframe; zodoende worden de met lucht gevulde buizen tegen de knooppunten aan gedrukt en op hun plaats gehouden.







project | location
completed | in use until
function
architects
engineer
dimensions
elements

Centre Pompidou | Metz FR
2010 | present
Cultural Institution
Shigeru Ban, Jean de Gastines
Arup
10,700m² surface x 77m (h)
glue-lam spruce/beech/larch



WEAVING
WOOD



Project

The Centre Pompidou-Metz is intended as a unique experience; a place for visitors to engage with artistic creation in all its forms. In December 2003, following an international competition, Shigeru Ban and Jean de Gastines were appointed as prime contractors with their design for a gridshell.

Design

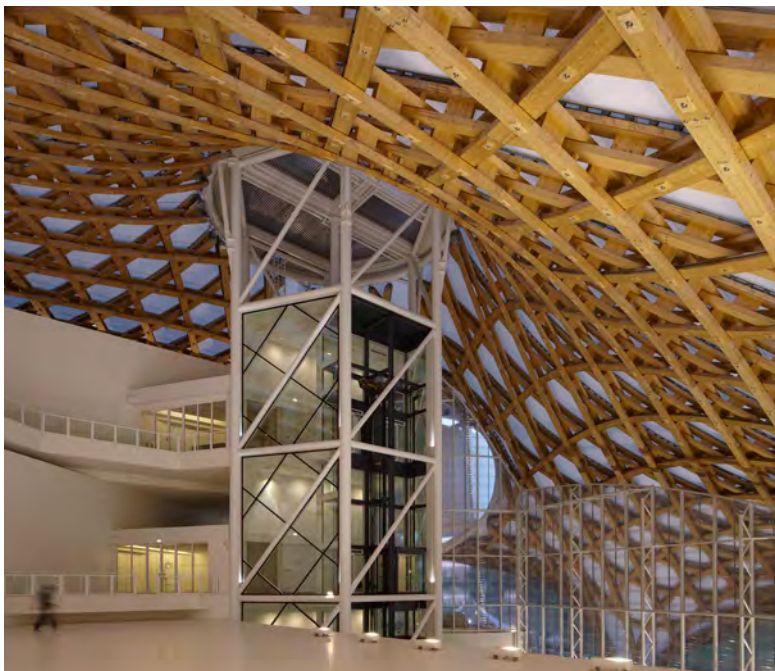
The entire geometry was modelled using formfinding software. The architects chose wood because it is an inexhaustible and easily recycled material. The architecture thus meets the environmental quality and sustainable development criteria that were set by the municipality for this area.

Project

Het Centre Pompidou in Metz wil bezoekers een unieke ervaring bezorgen; hier kunnen zij in aanraking komen met kunst in al haar vormen. Bij een internationale ontwerpwedstrijd werd de gridshell van Shigeru Ban en Jean de Gastines in december 2003 aangewezen als winnend ontwerp.

Ontwerp

De gehele geometrie is gemaakt met behulp van formfinding software. De architecten kozen voor hout, omdat het hernieuwbaar en goed te recycleren is. Hiermee voldoet het ontwerp aan de omgevingseisen en duurzaamheids-criteria die de gemeente voor dit gebied had gesteld.



Form and Space

In the words of the architects: "visitors [...] will see a bright, luminous building that appears to be both strong yet light, and which seems to invite them to take shelter under its protecting roof. We wanted the architecture to convey a sense of well being, openness and multi-cultural mix in a building that has a direct, sensory relationship with its surroundings."

Vorm en ruimte

In de woorden van de architecten: "Bezoekers [...] zien een helder en verlicht gebouw met een sterke en tegelijkertijd luchtige uitstraling, dat hun uit lijkt te nodigen om te schuilen onder het beschermende dak. We wilden dat de architectuur een gevoel van welbehagen, openheid en multiculturaliteit zou uitstralen en een directe en gevoelsmatige relatie met de omgeving aangaat."



Construction

The roof consists of a modular woven pattern composed in the form of a Chinese bamboo-woven hat around a central spire. It is covered with translucent fibreglass PTFE-coated textile canopy. The structure was assembled by weaving six beams into a hexagon, and connecting the hexagons to each other. Every single beam was digitally manufactured to unique proportions and shapes, thus enabling the complex undulating form of the structure.

Constructie

Het dak is een modulair geweven structuur in de vorm van een gevlochten Chinese bamboe hoed met een punt in het midden. Het geheel is bekleed met een doorzichtig glasvezeltextiel met PTFE coating. De structuur werd verkregen door zes spanten tot een hexagoon te weven en deze met elkaar te verbinden. Elk spant afzonderlijk is met behulp van computergestuurde freesmachines uitgewerkt; het nauwkeurige digitale ontwerp- en productieproces maakte de complexe golvende vorm mogelijk.







project | location
completed | in use until
function
architect | engineer
dimensions
elements

Research Pavilion '10 | Stuttgart DE
2010 | 2010
Temporary pavilion
ICD/ITKE University of Stuttgart
Ø 10.0m | 3.50m (h)
6.5mm beech plywood strips



WEAVING
PLYWOOD



Project

Constructed as a temporary research pavilion, this innovative structure demonstrates the latest developments in material-oriented computational design and production processes in architecture.

Design

Students from both the Institute for Computational Design (ICD) and the Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE), set out to investigate the bending behaviour and other mechanical

Project

Gebouwd als een tijdelijk onderzoekspaviljoen, toont deze innovatieve structuur de laatste ontwikkelingen in materiaal-georiënteerd digitaal ontwerpen en digitale productieprocessen.

Ontwerp

Studenten van het Instituut voor Computergestuurd Ontwerpen (ICD) en het Instituut voor Gebouwstructuren en Constructief Ontwerpen (ITKE) testten het buiggedrag en andere mechanische



properties of plywood, in order to form constructive parameters for the design. These parameters were in turn used in the process of digital formfinding to achieve an optimized construction in terms of material, technique and shape.

Form and Space

The result is a bending-active dome made of extremely thin, curved panels, with an impressive architectural effect. The 'torus' form ensures that one cannot observe the space all at once from any position, while the woven construction causes a variable play

eigenschappen van multiplex, om zo de constructieve randvoorwaarden voor het ontwerp te kunnen bepalen. Vervolgens werden deze randvoorwaarden bij de digitale formfinding gebruikt om tot een optimalisatie in materiaal, techniek en vorm te komen.

Vorm en ruimte

Het resultaat is een op buigspanning gebaseerde koepel gemaakt van extreem dunne, gebogen panelen, met een buitengewone architectonische uitstraling. De donutvorm zorgt ervoor dat de gehele ruimte nergens volledig te



of light and shadow. The pavilion was temporarily used as a folly, and was taken down within a year of construction.

Construction

The construction consists of 80 different strips of beech plywood, manufactured by a robotic arm from industrial plywood sheets, connected on site by finger joints. Small slots in the sides cause the strips to interlock.

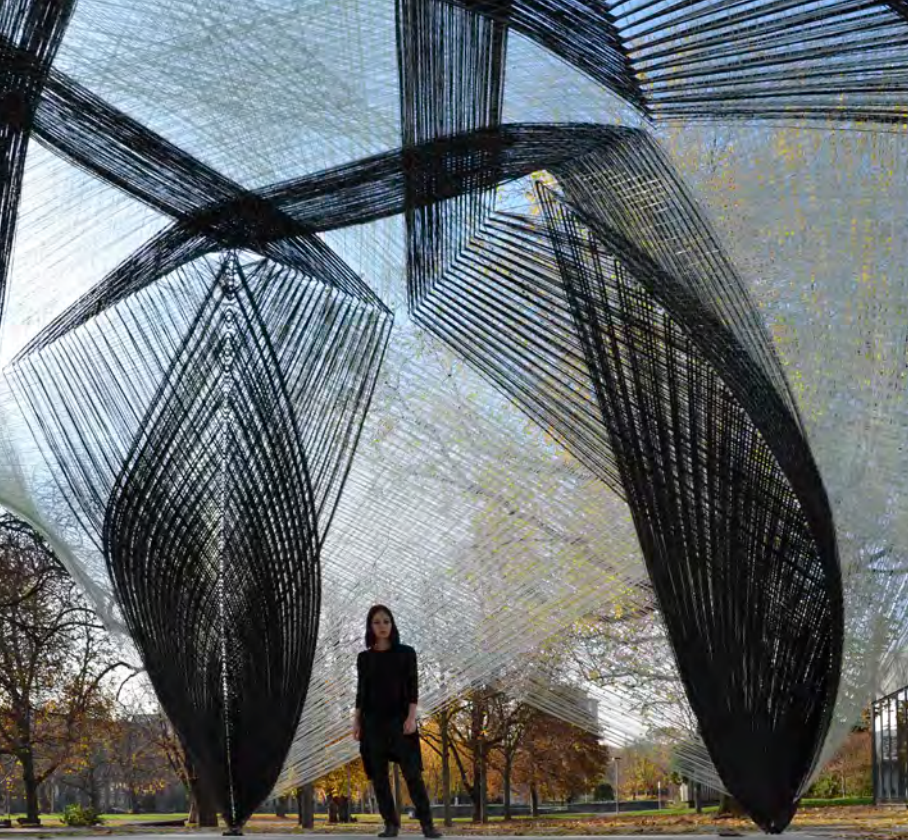
overzien is, terwijl de geweven constructie een bijzonder licht- en schaduwspel oplevert. Na een periode in gebruik te zijn geweest als folie, werd het paviljoen ook weer afgebroken.

Constructie

Het paviljoen bestaat uit 80 verschillende, met vingerlassen samengestelde strips, gesneden uit industriële multiplex platen door een robotarm. De strips sluiten op elkaar aan door inkepingen in de zijkanten.





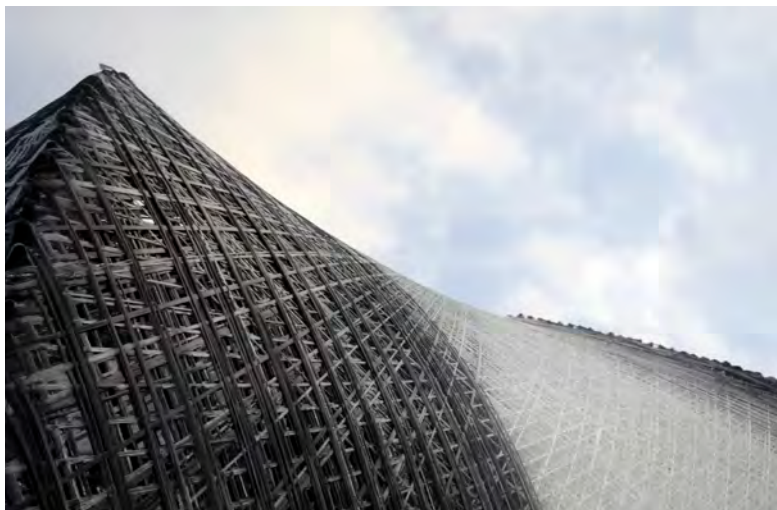


project | location
completed | in use until
function
architect | engineer
dimensions
elements

Research Pavilion '12 | Stuttgart DE
2012 | 2012
Temporary pavilion
ICD/ITKE University of Stuttgart
Ø 7.80m | 3.60m (h)
glass, carbon fibre | resin



WEAVING
COMPOSITE



Project

This pavilion is the result of an interdisciplinary project, which investigates the possible interrelation between biomimetic (imitation of biological systems) design strategies and novel processes of robotic production. Arthropod exoskeletons are used as a source of inspiration for the development of new composite constructions.

Design

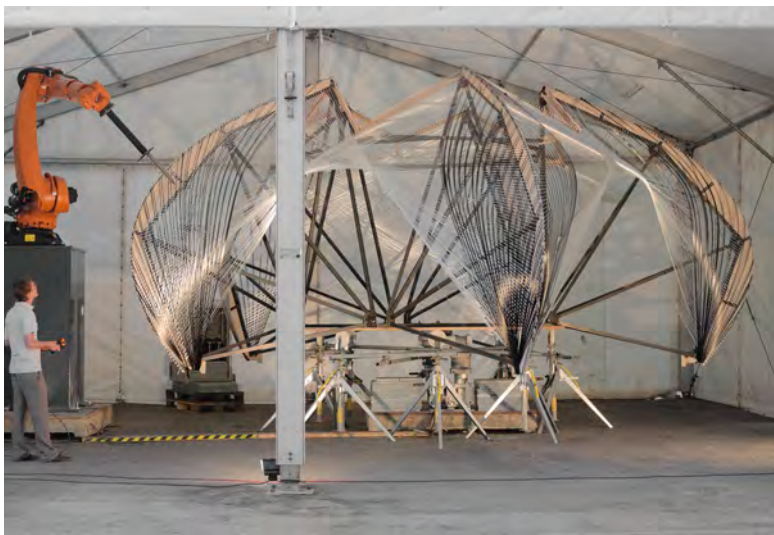
A key aspect of the project was to integrate fibre-reinforced composite materials in computer-based design processes in order to

Project

Dit paviljoen is het resultaat van een interdisciplinair project waarin de mogelijkheden onderzocht worden van biomimetische ontwerpstrategieën (imitatie van biologische systemen), gecombineerd met nieuwe productie-methoden van robotarmen. Arthropoda (geleedpotigen) met een exoskelet zijn gebruikt als bron van inspiratie voor nieuwe vormen van composietstructuren.

Ontwerp

Een centraal thema in het project is het verbinden van vezelversterkte composieten in digitale



achieve new tectonic possibilities. The optimization of the fibre and layer arrangement allowed the development of a highly efficient structure with minimal use of material. Formfinding, material and structural design were directly integrated from the beginning of the design process.

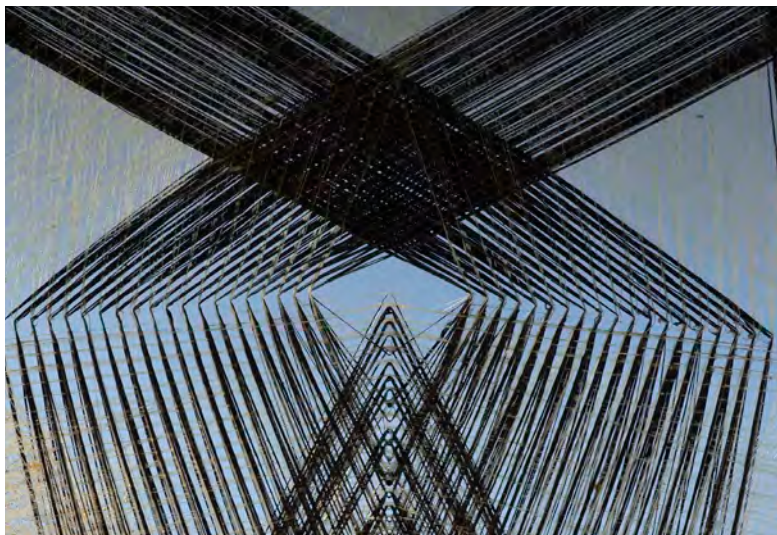
Form and Space

The structure of 7,8m in diameter and 3.5m in height is made by continuously winding more than 60km of fibre strands around a temporary steel structure.

ontwerpprocessen, om zo tot nieuwe tektonische mogelijkheden te komen. Door de vezels en lagen optimaal te schikken, is met zo min mogelijk materiaal een zeer efficiënte structuur ontwikkeld. Vanaf het eerste begin zijn form-finding, materiaal en constructie in het ontwerpproces geïntegreerd.

Vorm en ruimte

De structuur heeft een diameter van 7,8m met een hoogte van 3,5m, en is opgebouwd door meer dan 60km vezelbundels om een tijdelijke stalen hulpconstructie te winden.



Construction

The pavilion is based on a fibre composite system in which the epoxy resin-saturated glass and carbon fibres were continuously laid by a robot. After the completion of the winding process and the subsequent tempering of the fibre-resin composite, the temporary steel frame was disassembled and removed. The remaining, extremely thin shell of just 4mm thickness constitutes an automatically fabricated, but locally differentiated structure.

Constructie

Het paviljoen heeft als basis een vezelcomposiet, waarbij de glas- en koolstofvezels zijn verzadigd met hars en door een robot in een continue beweging gewikkeld werden. Nadat het vezelversterkte hars was uitgehard kon de stalen hulpconstructie verwijderd worden. Wat overblijft, is een extreem dunne schil van slechts 4mm dik, gecreëerd in een geautomatiseerd proces, die toch een lokaal gedifferentieerde structuur heeft.







project | location
completed | in use until
function
architect | engineer
dimensions
elements

Rokko Shidare | Kobe JP
2010 | present
Public Observatory
Sambuichi Architects | Arup
Ø 16m | 9.88m (h)
Steel tubes | Timber sticks



GENERATIVE
ALGORITHM
WOOD



Project

A design competition was held for a new observation point built at an altitude of some 900m on a peak of the Rokko Mountains near Kobe, Japan. Sambuichi Architects won the competition with a design for a building with a delicately woven exterior skin, in which the intimate relationship between architecture and nature is emphasized.

Design

The design concept is to illustrate the transition of water from solid to liquid to vapor. A delicate skin is to facilitate the formation of ice

Project

Voor een nieuw uitkijkpunt op een 900m hoge top in het Rokko gebergte bij Kobe, Japan, werd een ontwerpwedstrijd uitgeschreven. Sambuichi Architects won met een ontwerp van een gebouw met een transparant geweven buitenhuid, die de intieme relatie tussen architectuur en natuur verbeeldt.

Ontwerp

Het concept laat zien hoe water overgaat van vast naar vloeibaar naar damp. De delicate huid is zo ontworpen dat er in de winter



crystals during winter. The digital formfinding of the structure is created by a bespoke algorithmic solver called 'shift frame geometry' (SFG) developed by Arup. The interwoven 'shifted frame' results in a self-supporting and organically differentiated structure.

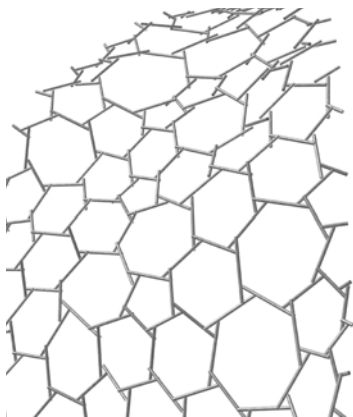
Form and Space

The observatory's key visual feature is its intricately meshed dome, 16m in diameter, which serves to enhance and display the specific natural phenomena of the site. By making use of natural principles, the indoor climate is controlled. Winter ice that freezes in water paddies around the building is transported in blocks into ice storages under the core

ijskristallen op worden gevormd. Het digitale formfinding-proces bestaat uit een algoritmische methode die 'shift frame geometry' (SFG) genoemd wordt, en waarbij een 'verschoven raamwerk' een sterke en organisch gedifferentieerde constructie oplevert.

Vorm en ruimte

Het meest opvallende onderdeel van het observatorium is de fijnmazige koepel met een diameter van 16m, die de specifieke kenmerken van het landschap extra tot hun recht laat komen. Door gebruik te maken van natuurlijke bouwphysische principes wordt het binnenklimaat beheerst. In de winter bevriest het water in de poelen rond het gebouw; dit wordt



tower of the building, which is shaped so as to induce air movement for natural ventilation from the ice storages during the summer. This ensures a comfortable climate for visitors to enjoy the stunning surroundings in.

Construction

Like a bird's nest, the observatory looks simple yet the actual geometry is profoundly complex. From the 3D-model that was created, each individual tube's geometry was extracted and tabulated to facilitate fabrication. The final construction was transported to the building site and assembled according to the very specific and precise design into its final shape.



als ijsblokken onder de toren opgeslagen. De kern en open huid zijn zo ontworpen dat er in de zomer passieve ventilatie ontstaat. Dit zorgt voor een aangenaam binnenklimaat bij het bewonderen van de spectaculaire omgeving.

Constructie

Net als een vogelnest ziet het uitkijkpunt er simpel uit, terwijl het in feite om een zeer complexe constructie gaat. In het ontwikkelde 3D-model is de geometrie van elke buis exact vastgelegd om ze precies zo te kunnen produceren. Het geheel is op de bouwplaats in elkaar gezet volgens het nauwkeurig gedetailleerde ontwerp.







project | location
completed | in use until
function
architect | engineer
dimensions
elements

Research Pavilion '11 | Stuttgart DE
2011 | 2011
Temporary Structure
ICD/ITKE University of Stuttgart
Ø 10.0m | 4.20m (h)
6.5mm plywood sheets



GENERATIVE
ALGORITHM
PLYWOOD



Project

Made by the Institute for Computational Design (ICD) in collaboration with the Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE) and the students of the University of Stuttgart, this temporary pavilion is meant to investigate methods of modular bionic construction using freeform surfaces, digital design and computer-controlled manufacturing methods.

Project

Dit tijdelijke paviljoen is ontwikkeld door het Instituut voor Computergestuurd Ontwerpen (ICD) samen met het Instituut voor Gebouwstructuren en Constructief Ontwerpen (ITKE), en studenten van de Universiteit Stuttgart. Het doel was om modulaire bionische constructiemethoden te onderzoeken met gebruikmaking van vrije vormen, digitaal ontwerp en digitale productiemethoden.







Design

The project aims at integrating the self-organizing capacity of biological structures into architectural design and at testing the resulting spatial and structural material systems in full scale. Structural design and formfinding are closely linked and ensure optimization of material use, construction, space and form.

Form and Space

The form is inspired by the sea urchin Echinoidea. A two-layer system encloses a large interior space with a big opening towards the public square. The inner layer is porous and reveals the constructive logic of the double-layer shell. The project is

Ontwerp

Het project richt zich op de integratie van de zelforganiserende eigenschappen van biologische structuren in architectonisch ontwerp, en het op ware schaal testen van ruimtelijke en structurele materiaalsystemen. Constructief ontwerp en formfinding zijn hierin nauw met elkaar verbonden, en zorgen voor een optimalisatie in materiaalgebruik, constructie, ruimte en vorm.

Vorm en ruimte

Geïnspireerd door een zee-ezel Echinoidea, omvat het paviljoen een grote binnenruimte met een grote opening naar het openbare plein. De binnenste laag is poreus en maakt de constructieve logica



developed to gain insight into digital production methods, and was therefore taken down within a year of its construction. In the meantime the pavilion was used as a folly.

Construction

First, a computer-controlled robotic arm processed plywood sheets into flat elements, which enabled the economical production of more than 850 geometrically different components. These elements were then finger-jointed together to form a single cell. Finally, a simple screw connection was employed to join the individual cells together into the final structure.

van de tweelaagse structuur zichtbaar. Het project was bedoeld om inzicht te krijgen in digitale productiemethoden. Daarom is het, na tijdelijk gebruik als folie, binnen een jaar weer afgebroken.

Constructie

Eerst zijn multiplex platen tot platte elementen verwerkt door een digitaal aangestuurde robot, die het mogelijk maakte de meer dan 850 geometrisch verschillende onderdelen economisch te produceren. Met vingerlassen zijn de multiplex platen samengevoegd tot 'cellen'. Tot slot zijn de cellen met een eenvoudige schroefverbinding aan elkaar bevestigd.







project | location
completed | in use until
function
architect | engineer
dimensions
elements

Shellstar Pavilion | Hong Kong CN
2012 | 2012
Temporary Pavilion
Matsys, Riyad Joucka
8.0m (l) | 8.0m (w) | 3.0m (h)
Twin-wall polypropylene sheets



GENERATIVE
ALGORITHM
PLASTIC



Project

Commissioned for Detour, an art and design festival in Hong Kong, the pavilion was designed to be an iconic gathering place for the festival attendees.

Design

The design emerged from a desire to create a spatial vortex where visitors would feel drawn into the pavilion centre and subsequently drawn back out into the larger festival site. Working fully within a parametric modelling environment, the design was developed, fabricated and assembled in just six weeks.

Project

In opdracht van Detour, een kunst- en ontwerpestival in Hong Kong, werd dit paviljoen ontworpen als iconische ontmoetingsruimte voor de festivalgangers.

Ontwerp

Het ontwerp komt voort uit de wens een ruimtelijke draaikolk te creëren die bezoekers het paviljoen in zou trekken, om ze vervolgens te laten uitzwermen over het festivalterrein. Doordat de voorbereiding volledig in een digitale omgeving plaatsvond, kon het ontwerp in zes weken de cyclus van ontwikkeling, productie en constructie doorlopen.



Form and Space

The form emerged from a digital formfinding process based on the classic techniques developed by Antonio Gaudí and Frei Otto, among others. Using computer programs like Grasshopper and the physics engine Kangaroo, the form self-organizes into catenary-like thrust surfaces that are naturally flowing and structurally optimized.

Construction

The structure is composed of nearly 1500 individual cells that are all slightly non-planar. Each cell is digitally cut from a flat plastic sheet, to be folded and tied into place. Using a custom-built digital

Vorm en ruimte

De vorm ontstond met een digitaal formfinding-proces, gebaseerd op klassieke technieken ontwikkeld door onder andere Antonio Gaudí en Frei Otto. Met open source computerprogramma's als Grasshopper en Kangaroo, organiseert de vorm zichzelf in kettinglijn-achtige oppervlakken die natuurlijk golvend en structureel geoptimaliseerd zijn.

Constructie

De constructie bestaat uit bijna 1500 individuele cellen, die allemaal net niet helemaal vlak zijn. Iedere cel wordt digitaal uit platte kunststof platen gesneden, en



script, each cell is optimized in order to create a seamless connection in spite of the large number of unique cells and the curved surfaces that were created with flat cells. After its use during the festival the structure was completely dismantled, to be shipped and rebuilt at a new site.

vervolgens in vorm gevouwen en vastgebonden. Met een zelf-ontwikkeld digitaal script is elke cel geoptimaliseerd, waardoor alle onderdelen naadloos op elkaar aansluiten, ondanks het grote aantal unieke cellen en de gekromde oppervlakken. Na afloop van het festival werd het paviljoen ontmanteld, om op een nieuwe locatie herbouwd te kunnen worden.

TO BE CONTINUED...

-

WORDT VERVOLGD...

We hope that with this publication about our fascination with gridshells, the building industry is inspired to consider the application of this remarkable building method.

Although gridshells are very specific objects, we feel that they fit beautifully into the current debate about individual yet affordable and sustainable architecture. They are light, easy to construct of natural materials, and create beautiful flowing spaces that can be built using simple construction methods. They are useful as a pavilion or temporary canopy, in emergency relief, at temporary cultural manifestations, but also in permanent, luxurious and large buildings. Gridshells offer architects the possibility to explore and expand their role as a designer into one of a well-informed creative expert.

We will continue to develop our fascination for gridshells and deepen our knowledge so that we will be able to build one ourselves in the end. Join us and build your own gridshell!

Wij hopen met deze publicatie over onze fascinatie voor gridshells, de bouwwereld te inspireren om deze bijzondere constructie-methode te gaan toepassen.

Hoewel gridshells hele specifieke objecten zijn, passen ze naar onze mening goed in het huidige debat over individuele, betaalbare en duurzame architectuur. Ze zijn licht, goed uit te voeren in natuurlijke materialen, en ze bieden mooie vloeiende ruimten die ook met eenvoudige constructietechnieken te maken zijn. Ze zijn geschikt als paviljoen of tijdelijke overkapping, in de noodhulp, bij tijdelijke culturele manifestaties, maar zeker ook in permanente, markante en grote gebouwen. Gridshells bieden architecten de mogelijkheid hun rol als vormgever te verdiepen en uit te breiden tot die van een goed geïnformeerde creatieve expert.

Wij zullen onze fascinatie voor gridshells blijven voeden om uiteindelijk in staat te zijn ze zelf te bouwen. Doe met ons mee en bouw straks een eigen gridshell!

Footnotes and References

- ^[1] Douthe, Baverel, Caron, *Form-finding of grid shell in composite material*, IASS, 2006.
- ^[2] Toussaint, *A Design Tool for Timber Gridshells*, MSc Thesis, Delft University of Technology, 2007.
- ^[3] Dim i, *Structural optimisation of Grid Shells, Based on Genetic Algorithms*, itke, Stuttgart, 2011.

MULTIHALLE MANNHEIM

Boyner, Ditchfield, Wahed. 'Mannheim Multihalle.' *Evolution of German Shells. Efficiency in Form.*

<http://shells.princeton.edu/Mann1.html>

JAPANESE PAVILION

Ban. 'Paper Tube Structures. Japan Pavilion.' www.shigerubanarchitects.com

FAVELOUS 963

Dilaveraki. 'Favelous 963, Amsterdam.' Professional Project, January 2013.

www.ifdil.com

KUPLA LOOKOUT TOWER

'Lookout Tower in Helsinki Zoo.' *DETAIL* serie 2004, p. 30

SAVILL BUILDING

Lowenstein. 'Gridshells roll on. The Savill Gardens Gridshell at Windsor Great Park.' *Building for a future*, vol 16, n° 3, winter 2006/7.

PLUSMINUS

Festo. 'Building with positive and negative pressures.' www.festo.com

CENTRE POMPIDOU

Etherington. 'Centre Pompidou-Metz by Shigeru Ban.' www.dezeen.com

RESEARCH PAVILION '10

Nuisijnk. 'Achim Menges and Jan Knippers. Use a little to make a lot.' *Mark Another Architecture* n° 29 (december 2010-january 2011), p. 206-209.



RESEARCH PAVILION '12

Menges, Knippers. 'ICD/ITKE Research Pavilion 2012.' *icd.uni-stuttgart.de*

ROKKO SHIDARE

Nuisijnk. 'Sambuichi & Arup. Wave an observatory.' *Mark Another Architecture* n°29 (december 2010-january 2011), p. 52-53. *The Arup Journal* 2, 2011

RESEARCH PAVILION '11,

Menges, Knippers. 'ICD/ITKE Research Pavilion 2011.' *icd.uni-stuttgart.de*

SHELLSTAR PAVILION

Matsys. 'Shellstar pavilion.' *matsysdesign.com*

Credits/Colofon

Text/Tekst: Edoardo Mentegazzi,
Joyce Kuiken

**Copy and image editing/Tekst- en
beeldredactie:** Jutta Hinterleitner,
BNA Onderzoek

Copy editing/Eindredactie: D'laine
Camp, Gerda ten Cate

Graphic design/Grafisch ontwerp:
Thonik

Photography/Fotografie:

cover, p.54-55, 57: Jussi Tiainen
p.2: E. Mentegazzi using Tagxedo.com
p.4-5, 38-45: Hiroyuki Hirai
p.8: The Green Oak Carpentry Ltd.
p.9, 14: from IL13 Mannheim Multihalle
collected by SMD Arquitectes BCN
p.10 top, 88-90: Katsuhisa Kida/
FOTOTECA
p.14 top, 35: Kai-Uwe Gundlach
p.16: Edoardo Mentegazzi
p.18 top: Nina Ranalli
p.10 b., 18 b.: ICD/ITKE Univ. Stuttgart
p.20: Michael Spaw
p.24: Moso International BV
p.32-37, 111: Joyce Kuiken
p.46-51: Arne Kuilman
p.52-53, 56: HUT Photolab
p.58-63: Warwick Sweeney
www.theroyallandscape.co.uk
p.64-69: Walter Fogel
p.70-75: Shigeru Ban Architects
p.76-87, 94-101: ICD/ITKE Univ. Stuttgart
p.91/92, 93: Sambuichi Architects/Arup
p.102-107: Dennis Lo

Publisher/Uitgever: Bond van
Nederlandse Architecten (BNA)
ISBN 978-94-6228-422-7
September 2014

This publication was made possible by
the BNA Research Fund/Deze uitgave
is mede mogelijk gemaakt door het
BNA Onderzoekfonds.



BNAonderzoek

Postbus 19606
1000 GP Amsterdam
T 020 555 36 66
bona-onderzoek@bona.nl
www.bna-onderzoek.nl



EDOARDO MENTEGAZZI ARCHITECT

www.emarchitect.nl

eggworks 
studio for architecture

www.eggworks.nl
The activities of eggworks for this
publication are supported by/ De
werkzaamheden van eggworks voor
deze publicatie zijn mede mogelijk
gemaakt door: Licht Bouwen Met
Bamboe