

Betonschale aus Stahlseilen und gestrickter Schalung

Concrete shell built using a cable-net and knitted formwork



Angelica Ibarra



Maria Verhulst



Mariana Popescu

Stricken statt 3D-Drucken: Ein Forschungsprojekt der Block Research Group (BRG) der ETH Zürich zeigt, dass sich gestrickte Textilien als Schalung für komplexe Betonstrukturen eignen und dazu noch Material, Kosten und Arbeitszeit reduzieren. KnitCandela ist eine geschwungene Betonschale, die aus einem ultraleichten Stahlseilnetz und einer gestrickten Schalung besteht. Die gestrickten Stoffbahnen wurden in lediglich zwei Koffern zur Baustelle transportiert. Der Prototyp im Museo Universitario Arte Contemporáneo in Mexiko-Stadt ist eine Hommage an den Meister des Betonschalensbaus Félix Candela (1910-1997). Um gerade Schalungselemente wiederzuverwenden, verwendete Candela hyperbolische Paraboloid-Oberflächen (kurz Hypars). Mit dem gleichen Ziel, den Materialverbrauch beim Schalungsbau zu reduzieren, erweitert das Stahlseilnetz- und Strickschalungssystem die Palette der antiklastischen - also gegenseitig gekrümmten - Geometrien um eine effiziente und wirtschaftlich zu realisierende Variante.

55 kg Schalung für 5 Tonnen Beton
KnitCandela's doppelt gekrümmte Betonschale umfasst eine Oberfläche von fast 50 m² und wiegt mehr als 5 t, obwohl die textile Schalung, die in einen temporären Schalgerüst-Rahmen gespannt wurde, nur 55 kg wog. Das Stahlseil- und Strickschalungssystem ist eine Weiterentwicklung des Prinzips des HiLo-Dachprototyps (High performance, Low energy), einem geschwungenen, ultraleichten Betondach (siehe DETAIL structure

01/2018). Der wesentliche Vorteil bei dem aktuellen Projekt ist, dass die leichte Vor-Ort-Schalung aus einem benutzerdefinierten 3D-gestrickten, technischen Textil besteht. Besprüht mit einer speziellen Zementbeschichtung, wurde eine ausreichende Steifigkeit für die Betonapplikation geschaffen. Im Vergleich zu gewebten Stoffen kann durch die Technik des Strickens der Bedarf an Schnittmustern zur Erzeugung komplexer Oberflächen minimiert und die Integration zusätzlicher Merkmale wie Kanäle und Öffnungen in einem nahtlosen Prozess ermöglicht werden.

Digitales 3D-Schnittmuster
Die Textilschalung besteht aus vier langen Streifen mit einer Länge von 15 bis 26 m, die in nur 36 Stunden durch eine industrielle Strickmaschine hergestellt wurden. Jedes der vier Elemente ist ein doppellagiges Textil, das in nur einem Arbeitsschritt erstellt wurde. Seine zwei Schichten erfüllen unterschiedliche Aufgaben. Die sichtbare, ästhetische Innenschicht zeigt ein buntes Muster. Die äußere, technische Schicht enthält Öffnungen zum Einfügen, Führen und Positionieren der Stahlseile und weiterer Schalungselemente. Zwischen den beiden Textilagen entstandene Taschen wurden mit Standard-Modellier-Luftballons aufgeblasen, deren Form durch die Verwendung unterschiedlicher Strickdichten der äußere Lage gesteuert werden kann. Nach der Fixierung der gestrickten Schalungsoberfläche mit einer schnell aushärtenden, zementösen Beschichtung, wurde von lokalen Handwerkern die Faserbetonschicht

von Hand aufgebracht. Die manuell mit Ballons gefüllten Taschen wurden zu Hohlräumen in der Betonschale und bildeten eine aussteifende Rippenstruktur. Das Projekt konnte in nur dreieinhalb Monaten realisiert werden. Dies war durch einen digitalen Berechnungs-, Konstruktions- und Fertigungsprozess möglich, der das individuelle Strickmuster automatisch generierte. Die ultraleichte Schalung von KnitCandela war einfach zu transportieren, der reduzierte Bedarf an zusätzlichen Tragstrukturen oder Gerüsten vor Ort vereinfachte die Logistik der Baustelle. Aufgrund des Zeitdrucks wurde zur Herstellung des Prototyps das äußere Baugerüst speziell für dieses Projekt entworfen und gefertigt. In Zukunft ist jedoch denkbar, die Montage vor Ort mit standardisierten Gerüstkomponenten zu realisieren. Abzüglich der Kosten für den Gerüstbau betragen die Gesamtkosten der 50 m² großen Konstruktion nur 1.600 EUR. Die BRG führte die computerbasierten Berechnungen, die Tragwerksplanung und die Herstellung der Schale und ihrer Konstruktion durch. Die spezielle Zementbeschichtung wurde am Lehrstuhl für Physikalische Bauchemie der ETH Zürich entwickelt. Die Computational Design Group (ZHCODE) von Zaha Hadid Architects gestaltete die architektonische Form und generierte das Farbmuster, während Architecture Extrapolated (R-Ex) das Baustellenmanagement übernahm.

Mariana Popescu, Matthias Rippmann, Andrew Liew, Tom Van Mele, Philippe Block
Block Research Group, ETH Zurich

Knitting instead of 3D printing: A research project by the Block Research Group (BRG) at ETH Zurich shows that knitted textiles are suitable as formwork for complex concrete shells and also reduce material, costs and working hours. KnitCandela is a sinuous concrete shell built on an ultra-lightweight cable-net and knitted formwork, with the knit brought to the site in two suitcases. Built at the Museo Universitario Arte Contemporáneo in Mexico City, the project is an homage to the shell builder Félix Candela (1910-1997). To reuse straight formwork elements, Candela used hyperbolic paraboloid surfaces (or "hypars"). With the same ambition to reduce construction waste, the cable-net and knitted formwork system expands the range of anticlastic geometries that can be built efficiently and economically.

55 kg formwork for 5 tons of concrete
KnitCandela's doubly-curved concrete shell has a surface area of almost 50 m² and weighs more than 5 tonnes, yet its stay-in-place formwork, which was tensioned in a falsework frame, weighed only 55 kg. An evolution of the tensioned cable-net and fabric formwork system used for the HiLo roof prototype (see DETAIL structure 01/2018), the significant advance in this case is that the lightweight, stay-in-place shuttering is a custom, 3D-knitted, technical textile. Coated with a special cement paste, a sufficiently rigid mould was created on-site for concrete application. Compared to woven fabrics, the use of knitting minimises the need for cutting patterns to

create non-developable surfaces and allows for the integration of additional features such as channels and openings in a seamless process.

Digital 3D pattern
The textile shuttering that comprises KnitCandela's formwork is made from four long strips ranging from 15 to 26 m in length, which took just 36 hours to knit. Each of the four pieces is a double-layered, weft-knitted textile produced in one manufacturing process. The two layers of the textile fulfill different tasks. The visible, aesthetic inner layer displays a colourful pattern. The outer, technical layer includes features for inserting, guiding and controlling the position of the cables and other formwork elements. The pockets created between the two layers were inflated using standard modelling balloons, controlling their depth using different knit densities for the outer layer. After fixing the knitted shuttering surface with the fast-setting, cementitious coating, local Mexican workers applied the fibre-reinforced concrete by hand. The inflated pockets became cavities in the cast concrete, forming a structurally efficient ribbed shell.

The project was realised in only 3.5 months. This was possible because of a custom-made computational design, engineering and fabrication pipeline, which allowed to automatically generate the sophisticated knit pattern. Also, the ultra-lightweight formwork of KnitCandela was easy to transport; it reduced the need for additional supporting structure or scaffolding and simplified the logistics on the construction site. Due to the time pressure, the external frame was designed and fabricated specifically for this project, but in the future, one can imagine that the edge conditions could be realised with standardised scaffolding components. Furthermore, excluding that falsework frame, the total material cost of the 50m² sophisticated formwork was only EUR 1600.

The BRG performed the computational structural design, engineering and fabrication of the shell and its formwork. The special cementitious coating was developed by the Chair of Physical Chemistry of Building Materials at ETH Zurich. Zaha Hadid Architects' Computational Design Group (ZHCODE) provided the shell topology and generated the intrados pattern and colours, while Architecture Extrapolated (R-Ex) handled the site management.

Mariana Popescu, Matthias Rippmann, Andrew Liew, Tom Van Mele, Philippe Block
Block Research Group, ETH Zurich

→ <http://block.arch.ethz.ch/brg/>
→ detail.de/research/produktion-prozesse/

structure research
DETAIL
Building the Future

Besuchen Sie unsere Online-Plattform
Visit our online platform
→ detail.de/research

Partner von / Partner of **structure research**:
Messe BAU 2019
Forschungsiniziativa Zukunft BAU