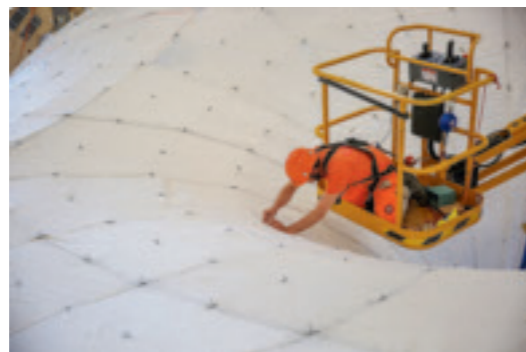


Flexible Mehrwegschalung

Ein Netz aufspannen, ein Textil darüberlegen und darauf eine doppelt gekrümmte Betonschale gießen. Forscher der ETH Zürich experimentieren mit leichten, wiederverwertbaren Schalungen.



Das Kabelnetz wird in einer Konstruktion aus einem herkömmlichen Gerüstsystem und einem individuell gefertigten Randträger aufgespannt. Die Knotenpunkte sind zugleich Messpunkte, deren Position im Raum mittels GPS überprüft und gegebenenfalls nachjustiert werden kann. Die eigentliche Betonschalung ist ein Textil aus Polymer.



Forschung zur digitalen Fertigung ist immer auch Materialforschung. So musste eine Betonmischung entwickelt werden, die flüssig genug ist, um durch die Maschen der Carbon-Bewehrung zu laufen, und zäh genug, um an den steilen Stellen nicht abzurutschen. Fotos: Naida Iljazovic; Michael Lyrenmann (Foto unten)

Entwurf und Tragwerk

Block Research Group, ETH Zürich – Tom Van Mele, Dave Pigram, Tomás Méndez Echenagucia, Andrew Liew, Ioannis Mirtsopoulos, Philippe Block supermanoeuvre, Sydney Bollinger + Grohmann

Mitarbeit

Institut für Massivbau, RWTH Aachen
Mathematische und Physikalische Geodäsie, ETH Zürich
Institut für Automatik, ETH Zürich

Beteiligte Firmen

Jakob, Bruno Lehmann, Blumer Lehmann, Dafotech, Bieri, Marti Construction, Bürgin Creations, Solidian, Proserve, Doka, Holcim Schweiz

Betonschalen – so elegant und materialsparend sie sind, der Aufwand, eine doppelt gekrümmte Schale herzustellen, ist enorm. Im Grunde baut man ein Schalen-Bauwerk zweimal. Zuerst als Schalung (aus Holz oder Hartschaum), auf die im zweiten Schritt die eigentliche Betonschale gegossen wird. Die Schalung herzustellen, das ist aufwendige Handwerksarbeit, was die Bauweise in Regionen, in denen Arbeitskraft teuer ist, unwirtschaftlich macht. Vor allem aber: Die Schalung ist normalerweise nur ein einziges Mal zu verwenden. So entsteht, obwohl die Betonschale selbst aus extrem wenig Material gefertigt ist, über die Maßen viel Abfall.

Um diesen Widerspruch aufzulösen, muss man folglich das Schalungsproblem in den Griff kriegen. Eben das ist einer der Forschungsschwerpunkte der von Philippe Block und Tom Van Mele geleiteten Block Research Group an der ETH Zürich. Gemeinsam mit Partnern aus der Industrie haben die Forscher ein neuartiges, mehrfach verwendbares Schalungssystem entwickelt. Dabei wird ein Netz aus Stahlseilen in eine Gerüstkonstruktion gespannt; ein auf diesem Netz ausgebreitetes Textil aus Polymer dient dem Beton als Schalung.

Umfassend erprobt wurde das System an einem Prototyp für das Dach von „HiLo“, einer Wohneinheit auf dem NEST-Forschungsgebäude, das die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) in Dübendorf bei Zürich errichtet (Bauwelt 14.2018). HiLo ist ein zweigeschossiges Penthouse unter einer doppelt gekrümmten, siebeneinhalb Meter hohen Dachschale, die eine Fläche von 162 Quadratmetern überspannt. Das Dach soll zweischalig mit dazwischenliegender Dämmschicht ausgeführt werden. Als Prototyp wurde im Robotic Fabrication Lab der ETH Zürich die untere Schale dieses Daches im Maßstab 1:1 gebaut.

Das Seilnetz wiegt nur 500 Kilo, das Textil 300 Kilo, zusammen trugen sie 20 Tonnen nassen Beton. Die Herausforderung dabei: Bringt man eine solche Menge Beton auf ein flexibles Gebilde aus Kabeln und Textil auf, wird die Konstruktion irgendeine Form annehmen – nur nicht die zuvor berechnete. Die aber ist für das Tragverhalten der fertigen Schale unabdingbar. Deshalb musste es gelingen, das Kabelnetz so vorzuspannen, dass es sich unter dem Gewicht des nassen Betons exakt in die vorbestimmte Form verformt. Erreichen ließ sich das durch eine ungleichmäßige

Verteilung der Kräfte in den Stahlkabeln, die mittels einer von der Block Research Group entwickelten Berechnungsmethode bestimmt wurde.

Trotz aller digitaler Berechnungs- und Fertigungsmethoden, die in einzelnen Schritten bei der Herstellung der Seilnetz-Textil-Schalung Anwendung fanden, steckt im Aufbau der Schalung und im Betonieren der Schale eine Menge Handwerk. Das ist durchaus im Sinn der Forscher: Schließlich sollen digitale Fertigungsmethoden vor allem die Qualität des Bauens verbessern und das Spektrum an Möglichkeiten erweitern – und nicht zwangsläufig alle menschliche Arbeit am Bau durch Roboter ersetzen. Die Präzision, die hier nötig war, würde sich jedoch etwa ohne digitale Messmethoden nie erreichen lassen. Ein Beispiel: Um nach Aufbau des Seilnetzes überprüfen zu können, ob es tatsächlich exakt die berechnete Form hat, sind alle Knotenpunkte des Netzes Messpunkte. So kann über GPS die Position jedes Knotens kontrolliert werden, Abweichungen lassen sich nachjustieren.

Mit den Erkenntnissen, die aus dem Prototyp gewonnen wurden, soll 2019 das HiLo-Dach auf dem NEST-Forschungsbau realisiert werden. **fr**

Rückkehr der Gewölbedecke

Forscher der ETH Zürich haben sich von der Baugeschichte inspirieren lassen und mithilfe digitaler Berechnungs- und Simulationswerkzeuge eine Alternative zur Stahlbetonflachdecke entwickelt.



Stahlbetonflachdecken, wie sie üblicherweise im Geschossbau zum Einsatz kommen, finden vor allem deshalb massenhafte Verwendung, weil sie sich einfach herstellen lassen. Sie sind aus finanzieller Sicht meist die wirtschaftlichste Variante einer Geschossdecke. Betrachtet man Wirtschaftlichkeit aber aus dem Blickwinkel von Ressourceneffizienz, schneiden Stahlbetonflachdecken eher schlecht ab. Sie haben zu viel Masse – viel zu viel Beton und Stahl werden benötigt, deren Herstellung Unmengen Energie verbraucht und tonnenweise CO₂ freisetzt.

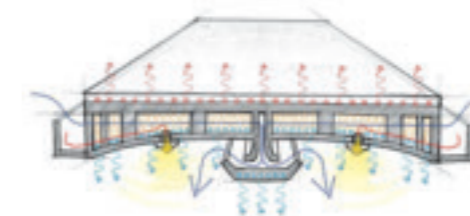
Ein Blick in die Baugeschichte beweist: In früheren Zeiten wurden Räume wesentlich sparsamer und oftmals raffinierter überspannt, weil man der Herausforderung großer Spannweiten nur mit geometrischen Lösungen begegnen konnte und nicht mit immer größeren Mengen an Stahlbewehrung. Philippe Block, Leiter der Block Research Group am Institut für Technologie in der Architektur an der ETH Zürich, beginnt Vorträge über seine Arbeit nicht umsonst mit einem Foto vom eindrucksvollen Deckengewölbe der 1515 fertiggestellten Kapelle am King's College in Cambridge. Der Ansatz der Forschergruppe: aus Konstruktionsprinzipien der Vergangenheit lernen, um daraus mittels heutiger digitaler Analyse-, Berechnungs- und Fertigungsmethoden ein besseres, und vor allem ressourceneffizientes Bauen für die Zukunft zu entwickeln.

So forscht Blocks Team u.a. an einer Alternative zur Flachdecke. Entwickelt wurde der Prototyp einer weitgehend auf Druck belasteten Rippengewölbekonstruktion, bei der man zum einen auf die Stahlbewehrung verzichten kann, zum anderen durch eine dem Kraftverlauf optimal angepasste Ausbildung der Rippen – die sich mit entsprechender Software simulieren lässt – eine Menge Material spart. Tatsächlich ist der aus faserbewehrtem Beton gegossene Prototyp 70



Die Herstellung der Decke im Betonguss mit doppelseitiger Schalungsmatrix aus Hartschaum ist aufwendig (oben und oben rechts). Deshalb wurde eine Variante zur segmentierten Fertigung im 3D-Sanddruckverfahren entwickelt (rechts Mitte und unten).

Links: Auf- und Untersicht des 3D-gedruckten Deckenelements. Unten: Das Element im Belastungstest. Rechts: Skizze zur Integration von Gebäudetechnik in die Rippenstruktur. Alle Abb.: Block Research Group; Foto links unten: Anna Maragkoudaki



Forschung und Entwicklung

Block Research Group,
ETH Zürich
Masoud Akbarzadeh,
Philippe Block, Ursula Frick,
Andrew Liew, David López
López, Tom Van Mele,
Tomás Méndez Echenagucia,
Matthias Rippmann,
Diederik Veenendaal



Prozent leichter als eine herkömmliche Decke vergleichbarer Tragfähigkeit; nur zwei Zentimeter Materialstärke für die Decke und die Rippen sind nötig. Führt man sich vor Augen, dass etwa bei einem Hochhaus 70 Prozent des Gewichts aus den Decken eingespart werden können, stellt sich die Frage nach der rein finanziellen Wirtschaftlichkeit noch einmal ganz anders.

Gleichwohl ist der Aufwand, ein solches Deckenelement zu gießen, groß. Deshalb wurde eine Variante entwickelt, bei der sich das Element in Segmente unterteilen und im 3D-Sanddruckverfahren herstellen lässt. Zurzeit sind die Forscher dabei, die Konstruktion in Bezug auf den Schallschutz zu optimieren – auch diesbezüglich stellte sich heraus, dass die Rippenaussteifung trotz geringer Masse gute Dienste leistet. Des Weiteren wird gerade daran gearbeitet, Gebäudetechnik in die Elemente zu integrieren.

Notabene: Die Untersicht der Decken hat auffallende Ähnlichkeit mit dem Gewölbe der Kapelle des King's College in Cambridge. **fr**