



Forschung: Neue Methode für Freiformflächen

# Beton – tragfähig, doch formbar

**Obwohl der Materialmix am Bau immer vielfältiger wird,** sind freigeformte Betonflächen nach wie vor ein wichtiger Bestandteil in der modernen Architektur. Aufgrund der dabei benötigten aufwendigen Schalungen und der hohen Kosten für die erforderliche Unterkonstruktion wurde die Realisierung derartiger Flächen jedoch zunehmend unwirtschaftlicher. Das Institut für Tragkonstruktionen an der TU Wien arbeitet an der Entwicklung eines neuen Schalenbauverfahrens zur Herstellung von mehrfach gekrümmten Schalenträgwerken. Dabei im Einsatz: das vielseitige CPX-Terminal in Kombination mit dem Steuermodul CEC und hochpräzisen Proportionalventilen VPPM von Festo.



**Beton lässt sich im trockenen Zustand** gut formen – Innenraum einer fertiggestellten Schale.



„Mit unserem Verfahren eröffnen sich viele interessante und vor allem auch wirtschaftliche Anwendungen.“

Dipl.-Ing. Benjamin Kromoser, Universitätsassistent am Institut für Tragkonstruktionen an der TU Wien

gebaut werden können. Dipl.-Ing. Benjamin Kromoser, Universitätsassistent am Institut für Tragkonstruktionen an der TU Wien: „Beton ist ein unglaublich vielseitiger Baustoff – er ist gut formbar aber dennoch höchst tragfähig. Mit unserem Verfahren eröffnen sich interessante und vor allem auch wirtschaftliche Anwendungen, die bisher mit einem großen Kostenaufwand verbunden waren. Zudem wollen wir mit der neuen Methode einen Beitrag der Baubranche zur Einsparung von Energie und Ressourcen leisten.“

#### **Vorbild Natur**

Räumlich gekrümmte Flächentragwerke weisen durch ihre Form ein besonders günstiges Tragverhalten auf. Ein äußerst geringer Materialverbrauch ist die Folge

der im Vergleich zu anderen Strukturen überlegenen Lastabtragung. In der Natur finden sich zahlreiche Beispiele für doppelt gekrümmte Schalentragwerke wie beispielsweise Eier- oder Nusschalen und Schneckenhäuser. Auch die Schalen einzelliger Planktonorganismen, wie beispielsweise Kieselalgen oder Radiolarien, sind in Bezug auf das Tragverhalten optimierte Leichtbaukonstruktionen – sie haben sowohl eine tragende als auch eine raumabschließende Funktion.

#### **Verformung von trockenem Beton**

Die Möglichkeit der freien Gestaltung und die Herstellung von flächenhaft ausgebildeten Strukturen, charakterisieren die Betonbauweise seit mehr als einem Jahrhundert, denn Beton ist ein gießfähiger Baustoff, der jede beliebige →

**W**irtschaftlichkeit ist in der Baubranche das Um und Auf – im Zusammenspiel mit der Tragfähigkeit und architektonischen Ansprüchen hinsichtlich Gestaltung, sind am Bau immer wieder neue Ideen gefragt. Die TU Wien lässt in diesem Zusammenhang mit einem interessanten Forschungsprojekt aufhorchen. Ein innovatives Verformverfahren zeigt eine neue Möglichkeit auf, wie mit Beton leichte Flächentragwerke



#### **Zweifach im Einsatz:**

Das CPX-Terminal mit dem Steuerblock CEC und jeweils acht VPPM-Proportionalventilen und einer Wartungseinheit.



**Schalung** für die ebene  
Betonplatte.



Form im Erstarrungsprozess konservieren kann. Ein Forschungsprojekt des Instituts für Tragkonstruktionen der Technischen Universität Wien geht nun jedoch noch einen Schritt weiter und setzt auf die Verformung von getrocknetem Beton. Im Zuge der innovativen Baumethode (Patentanmeldung erfolgte durch die TU Wien im Jahr 2011) werden zunächst in der ebenen Ausgangsform mit Luft gefüllte Pneus angebracht. Durch Einblasen von Luft zwischen zwei unter der Betonplatte angeordnete und am Plattenrand abgedichtete Folien, bei gleichzeitigem Vorspannen von am Plattenumfang angeordneten Spanngliedern, wird aus der bereits getrockneten, ebenen Stahlbetonplatte eine Schale mit der Form eines Kugelabschnitts gebildet.

#### **Anspruchsvoller Umformprozess**

Die Herausforderungen bei der Anwendung der neuen Schalenbaumethode liegen in erster Linie im Umformungsprozess. Unterschiedliche Luftdrücke im Raum zwischen den beiden Folien und den radial angeordneten Pneus sowie die Vorspannkräfte in den Ringzuggliedern müssen stufenweise so erhöht werden, dass das Kaltverformen der Segmente ohne Zerstörung gelingt. Ein Fall für das modulare CPX-Terminal von Festo, das mit Hilfe des an Bord befindlichen Steuerblocks CEC die gesamte Steuerung der Anlage übernimmt. Die Drücke werden dabei von den ebenfalls modular an CPX angeordneten Druckeingangssensoren CPX-4AE-P-B2 zuverlässig erfasst. Die Kommunikation auf der innovativen Anlage

erfolgt über Ethernet IP, die komfortable Bedienung und Überwachung über ein 7" Touch-Display CDPX.

#### **Präzise abgestimmt Druckerhöhung**

Damit es zu keiner unerwünschten Rissbildung im Beton kommt und die Tragfähigkeit der Formfläche gewährleistet ist, waren intensive Versuche und Berechnungen notwendig. Im Herbst 2012 wurde der Verformprozess erstmals im Rahmen eines Großversuchs realisiert (Bilder). Nach einer Wartezeit von etwa einem Monat bis zum vollständigen Aushärten des Betons startete der eigentliche Versuch – die Verkrümmung der ebenen Betonplatte zu einer zweifach gekrümmten Schale. Die Druckregelung der 16 pneumatischen Keile stellte eine





**Fertig betonierte Platte** mit eingedrückten Sollbruchstellen.

besondere Herausforderung dar, da die zu regelnden Drücke im Vergleich zum atmosphärischen Luftdruck mit rund 100 mbar sehr gering sind. Hier spielt das vielseitige Proportional-Druckregelventil VPPM seine Stärken aus, bei dem die passende Regelcharakteristik aus drei Presets (schnell, universell, präzise) einfach per Knopfdruck ausgewählt werden kann. Zudem ist dieses Proportional-Druckregelventil temperaturkompensiert – der Druck bleibt also auch bei Temperaturwechsel exakt und stabil.

#### **Kaskadenregelung mit integrierter Multi-Sensor-Control**

Nur VPPM-Proportionalventile von Festo verfügen über eine Kaskadenregelung mit Multi-Sensor-Control. Bei dieser intelli-

genten Regelungstechnologie werden mehrere Regelkreise ineinander verschachtelt. Die Gesamtregelstrecke untergliedert sich dadurch in kleinere, aufgabenspezifisch besser regelbare Teilstrecken. Entscheidender Effekt: Zusätzlich zum Ausgangsdruck wird auch der Membrandruck im Ventil überwacht. Gemeinsam beobachtet und ausgewertet führt dies zu einem äußerst stabilen und präzisen Regelverhalten. Überschwingungen gehören damit der Vergangenheit an – auch im Kleinsignalbereich. VPPM kann somit selbst über größere Distanzen den Druck exakt, flexibel und präzise regeln – ideal zur Ansteuerung der Pneus zwischen den Betonsegmenten.

#### **Schritt für Schritt bis in 4 m Höhe**

Der Hebeprozess erfolgte mithilfe von zwei Seitenkanalverdichtern. Zur Abdichtung des zentralen „Hebepneus“ wurde die unter der Betonplatte verlegte Silofolie in einem Abstand von 40 cm zur Betonkante abgeschnitten, aufgeklappt und anschließend durch das Verspannen von Spannlitzen abgedichtet. Dann konnte die Betonplatte mit diesem „Hebepneu“ von der Mitte ausgehend bis zu einer Höhe von 0,9 m angehoben werden. Anschließend wurde dieser Prozess durch zusätzliches Vorspannen von zwei in Umfangrichtung verlegten Spannlitzen unterstützt und die Schale bis zu einer Höhe von rund 4 m angehoben und verkrümmt. Um dabei einem ungleichmäßigen Verkrümmen der einzelnen Elemente entgegenzuwirken, wurde der Druck der 16 pneumatischen Keile zwischen 30 und 150 mbar variiert – perfekt angesteuert von den CPX-CEC gesteuerten VPPM-Ventilen.

#### **Nächste Schritte**

Das Forscherteam arbeitet bereits an der Weiterentwicklung der Methode und am Entwurf von neuen Formen sowie der Verwirklichung einer kürzeren Aushärtzeit. Ein weiterer Großversuch dazu hat mit einer ovalen Form bereits im Juni dieses Jahres stattgefunden. Die Versuche wurden im Rahmen des FFG Branchen- Forschungsprojektes „Freiformflächen aus Beton“ in Zusammenarbeit mit der Österreichischen Bautechnikvereinigung durchgeführt. ■

[www.betonbau.tuwien.ac.at](http://www.betonbau.tuwien.ac.at)  
[www.festo.at](http://www.festo.at)



**Freigeformte Betonschale** – deutlich zu erkennen: die Pneus zwischen den einzelnen Segmenten.