

uni-con² – universal concrete construction

► Daniel Busse¹, Lukas Ledderose²

► ¹ Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, FG Massivbau, TU Braunschweig

► ² Institut für Tragwerksentwurf, TU Braunschweig

1 Einleitung

Die Umsetzung der Ziele des DFG-Schwerpunktprogramms (SPP) 1542 „Leicht Bauen mit Beton – Grundlagen für das Bauen der Zukunft mit bionischen und mathematischen Entwurfsprinzipien“ erfordert eine Anpassung grundlegender, im Stahlbetonbau etablierter Konstruktionsformen. Ein Beispiel hierfür ist die Stahlbetonskelettbauweise. Aktuelle Konstruktionen weisen klare Strukturen aus Stützen, Unterzügen und Decken, im Regelfall mit rechteckigen, über die Bauteillänge konstanten Querschnitten auf. Um diese typischen Konstruktionen zu optimieren, können die im Rahmen des SPP 1542 an der TU Braunschweig entwickelten Bauteil-, Füge- und Herstellungstechnologien genutzt werden.

Um dies exemplarisch zu zeigen, wurde der Demonstrator uni-con² entwickelt und hergestellt. Der Demonstrator stellt einen Ausschnitt eines innovativen Tragwerks aus Hochleistungsbeton dar, das aus Platten- und Stabelementen, die nach dem Prinzip „form follows force“ an die einwirkenden Beanspruchungen angepasst werden, zusammengesetzt wird (Bild 1). Die vorgefertigten Elemente werden trocken gefügt. So kann der Aufbau beschleunigt und eine direkte Belastung ermöglicht werden. Die Verwendung von Trockenfugen erfordert eine hohe Präzision bei der Herstellung der Bauteile. Dies kann durch den Einsatz von hochpräzise hergestellten Schalungen sichergestellt werden. Der symmetrische Aufbau der Tragkonstruktion sowie die gleichbleibenden Spannweiten ermöglichen die multiple Verwendung der komplexen Schalungen. In Kombination mit der Reduktion des Zementverbrauchs ermöglicht dies zudem die Einsparung von natürlichen Ressourcen und Energie.

1 Introduction

The implementation of the objectives of the DFG Priority Programme (SPP) 1542 “Concrete light – Future concrete structures using bionic, mathematical and engineering formfinding principles” requires the modification of fundamental structural forms established in reinforced concrete construction. An example of this is the reinforced concrete framework construction. Current constructions show distinct structures consisting of columns, beams and slabs, usually having rectangular cross-sections that are constant over the entire length of the component. In order to optimise these standard structures, the construction, joining and manufacturing technologies developed within the scope of SPP 1542 at Technical University (TU) Braunschweig can be used.

The demonstrator uni-con² was developed and manufactured to exemplify this. The demonstrator represents a cutout of an innovative load-bearing structure made of high-performance concrete, which is composed of slab and beam elements designed according to the “form follows force” principle and adapted to the relevant stresses (Fig. 1). The prefabricated elements are joined dry. In this way the assembly can be accelerated and a direct loading can be made possible. The use of dry joints requires high precision in the production of the components. This can be achieved by high precision formwork. The symmetrical configuration of the structure and the constant spans allow the multiple use of the complex formwork. In combination with the reduction of cement consumption, this also enables the saving of natural resources and energy.

2 Umsetzung

Um den Demonstrator herstellen zu können, wurden folgende im Rahmen des SPP 1542 an der TU Braunschweig untersuchte Bauteil-, Füge- und Herstellungstechnologien genutzt:

- Für die Stütze wurden die im Projekt „Ultraleichte, dünnwandige Betonhohlbauteile“ entwickelten Betonhohlbauteile mit nur 30 mm Wandstärke bei einem Stützendurchmesser von 150 mm verwendet. Für die Bauteile wurde ein hochfester, selbstverdichtender Feinkornbeton basierend auf der Bindemittelmischung *Flowstone* verwendet. Die Stützen wurden mit einer mehrlagigen Mikrobewehrung mit Drahtdurchmessern von nur 1 mm ausgeführt (Bild 2 A).
- Die kraftflussoptimierte Ausformulierung der Stützenköpfe sowie der Plattenelemente wurde mit den im Projekt „Von der Bauteilfüugung zu leichten Tragwerken: Hybride, trocken gefügte Stab-, Flächen- und Raumtragelemente aus UHPFRC“ entwickelten Entwurfs- und

2 Realization

In order to produce the demonstrator, the following construction, joining and manufacturing technologies were used within the framework of SPP 1542 at the TU Braunschweig:

- For the column, the hollow concrete components developed in the project “Ultralight, thin-walled hollow concrete components” with only 30 mm wall thickness and a column diameter of 150 mm were used. A high-strength, self-compacting fine-grained concrete based on the cement mixture *Flowstone* was used for the components. The column was constructed with a multi-layer microreinforcement with wire diameters of only 1 mm (Fig. 2 A).
- The force-flow-optimized design of the column heads as well as the slab elements was developed using the design and calculation principles described in the project “From component joining to lightweight supporting structures: Hybrid, dry-jointed beam, surface and space supporting elements from UHPFRC” (Fig. 2 B-D).



Bild 1: Innovative Stahlbetonstruktur | Fig. 1: Innovative reinforced concrete structure | Source: Lukas Ledderose

Bemessungsgrundlagen dimensioniert (siehe Bild 2 B–D).

- Zur Verbindung der einzelnen Elemente fanden die im Rahmen desselben Projektes entwickelten Verbindungstechniken für geometrisch komplexe Flächen- und Stabtragwerke Anwendung. Mittels einer Stabverbindung wurden die beiden Stützenssegmente untereinander gefügt (Bild 2 C). Durch Flächenverbindungen wurden die acht Plattenelemente untereinander sowie mit den Stützenköpfen verbunden (Bild 2 E–F). Um die Stabilität der Konstruktion sicherzustellen, wurden die Bauteile mit einem innerhalb des Hohlrums der Stützen verlaufenden Stabspannglied verspannt (Bild 2 G).
- Die Plattenelemente weisen Dicken von nur 15 mm, im Bereich der Fügungen 35 mm auf und wurden aus einem ultrahochfestem Stahlfaserbeton basierend auf der Bindemittelmischung *Nanodur* hergestellt (Bild 2 B). Um eine ausreichende Passgenauigkeit der Trockenfugen sicherzustellen, wurden die verzahnten Kanten der Platten mit dem Verfahren des 5-Achs-Wasserstrahlschneidens bearbeitet (Bild 2 E).
- Die Herstellung der freigeformten Stützenköpfe sowie der verzahnten Anschlussbereiche der Stützenköpfe erforderte den Einsatz einer hochpräzise gefrästen Schalung. Hierzu wurde die im Projekt „Non-Waste-Wachsschalungen: Neuartige Präzisions-Schalungen aus 100 % recycelbaren Industrie-Wachsen zur Herstellung von geometrisch komplexen Beton-Bauteilen“ entwickelte Wachs-Schalungstechnologie angewendet (Bild 2 H).

Die einzelnen Bauteile wurden zunächst unabhängig voneinander hergestellt. Bild 3 zeigt das Schalungskonzept sowie die Betonage der Stützen inkl. der angeformten Stützenköpfe. Während die Stützelemente nach dem Ausschalen direkt verwendet werden konnten, war bei den Platten eine Nachbearbeitung der Fügebereiche erforderlich (Bild 4). Zum Fügen der Bauteile wurden eine Holzrahmenkonstruktion sowie ein Kran genutzt. Aufgrund der hohen Präzision der Trockenfugen konnten die Elemente ohne den Einsatz zusätzlicher Werkzeuge zusammengesetzt werden (Bild 5).

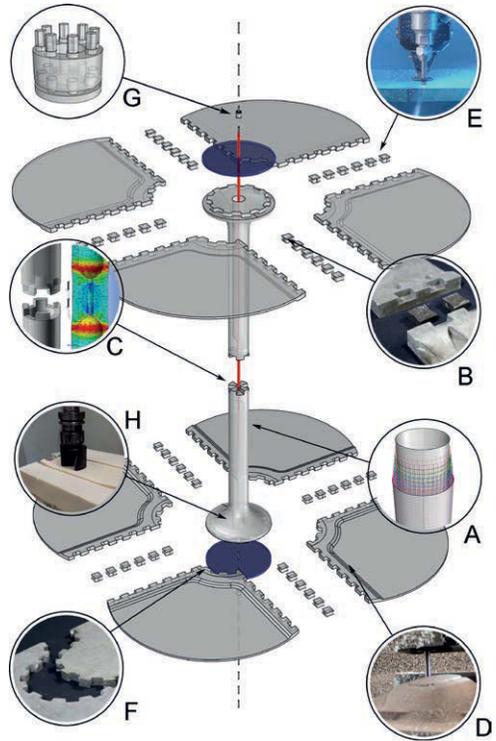


Bild 2: Aufbau des Demonstrators uni-con² | Fig. 2: Assembly of demonstrator uni-con² | Source: Lukas Ledderose

- To connect the individual elements, the joining techniques developed within the framework of the same project for geometrically complex surface and beam structures were applied. The two support segments were joined together by using a beam connection (Figure 2 C). The eight slab elements were connected to each other and to the column heads by planar joints (Fig. 2 E–F). In order to ensure the stability of the construction, the components were prestressed with a tendon bar running inside the cavity of the columns (Fig. 2 G).
- The slab elements have a thickness of only 15 mm, in the area of the joints 35 mm and were made of ultra high-strength steel fibre concrete based on the binder mixture *Nanodur* (Fig. 2 B). In order to ensure that the dry joints fit with sufficient accuracy, the toothed edges of the panels were machined using the 5-axis water jet cutting process (Fig. 2 E).

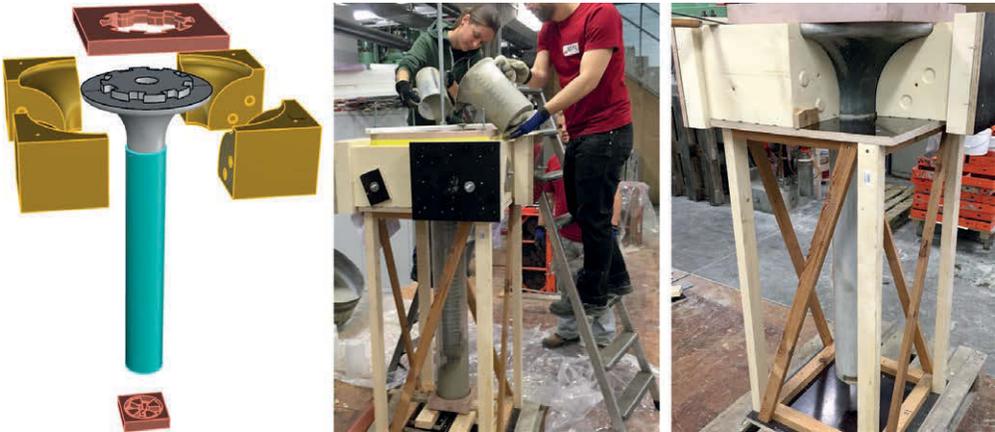


Bild 3: Schalungskonzept und Betonage der Stützelemente | Fig. 3: Formwork concept and concreting of column elements | Source: Jeldrik Mainka



Bild 4: Herstellung der Plattenelemente | Fig. 4: Manufacturing of slab elements | Source: Lukas Ledderose

3 Fazit

Im Rahmen des SPP 1542 „Leicht Bauen mit Beton“ wurden Bauteil-, Füge- und Herstellungstechnologien für innovative Betonbauteile entwickelt und erprobt. Um die Ergebnisse visuell und haptisch begreifbar zu machen, wurde der Demonstrator uni-con² entwickelt und hergestellt. Der Demonstrator uni-con² zeigt die Möglichkeiten des Einsatzes von Hochleistungsbetonen und innovativen Bewehrungsmaterialien ebenso wie die Potenziale innovativer Herstellungs- und Fügeverfahren. Er zeigt somit neue Wege in der Herstellung und Errichtung von Tragwerken aus Beton.

- The production of the free-form column heads as well as the toothed connection areas of the column heads required the use of high-precision milled formwork. For this purpose, the wax formwork technology developed in the project “Non-Waste wax formwork: Innovative precision formwork made of 100 % recyclable industrial waxes for the production of geometrically complex concrete components” was used (Fig. 2 H).

The individual components were initially produced separately. Fig. 3 shows the formwork concept as well as the concreting of the column including the integrated column heads. Whereas the column elements could be used directly after striking, the plates had to be cut in the joint areas (Fig. 4). A wooden frame construction and



Bild 5: Fertiggestellter Demonstrator uni-con² | **Fig. 5:** Finished demonstrator uni-con² | Source: Lukas Ledderose

a crane were used to join the components. Due to the high precision of the dry joints, the elements could be assembled without the use of additional tools (Fig. 5).

3 Conclusion

As part of the SPP 1542 "Concrete light", construction, joining and manufacturing technologies for innovative concrete components were developed and tested. In order to make the results visually and haptically conceivable, the demonstrator uni-con² was developed and manufactured. The demonstrator uni-con² shows the possibilities of the application of high-performance concretes and innovative reinforcement materials as well as the potentials of innovative production and joining techniques. Therefore it shows novel approaches in the production and erection of concrete structures.

Projektdaten | Project data

Allgemeine Angaben | General information

Demonstrator uni-con² | Demonstrator uni-con²

Ausführung Execution:	TU Braunschweig
Team Team:	<ul style="list-style-type: none"> ■ Daniel Busse, Sven Lehmborg (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz iBMB, FG Massivbau) ■ Lukas Ledderose, Jeldrik Mainka, Franz Wirth (Institut für Tragwerksentwurf ITK) ■ Sarah Baron (Institut für Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik IWF) ■ Randi Beck, Jiri Becker, Stefan Ehrke, Jan Leo Goldenbaum, Sina Kalus, Felix Riemenschneider, Elena Stein und Neele Stumpe (studentische Hilfskräfte student assistants)
Wertvolle Ideen und Anregungen Valuable ideas and suggestions:	<ul style="list-style-type: none"> ■ Prof. Dr.-Ing. Harald Kloft (ITK) ■ Prof. Dr.-Ing. Martin Empelmann, Prof. Dr.-Ing. Harald Budelmann (iBMB) ■ Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder (IWF)
Beteiligte SPP-Projekte Participating SPP projects:	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ultraleichte, dünnwandige Betonhohlbauteile Ultra-light, thin-walled hollow concrete members (Prof. Empelmann) ■ Von der Bauteilfügung zu leichten Tragwerken: Hybride, trocken gefügte Stab-, Flächen- und Raumtragelemente aus UHPFRC From joints to lightweight structures: Hybrid, dry-jointed bar, plane and three-dimensional structures made of UHPFRC (Prof. Budelmann, Prof. Kloft) ■ Non-Waste-Wachsschalungen: Neuartige Präzisions-Schalungen aus 100 % recycelbaren Industrie-Wachsen zur Herstellung von geometrisch komplexen Beton-Bauteilen Non-waste-wax-formwork: novel precise formwork-technology on basis of 100% recyclable industrial wax for the fabrication of geometrically complex concrete elements (Prof. Dröder, Prof. Kloft)
Förderer Funding:	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Förderzeitraum Funding period:	05/2016–02/2017
Partner Partners:	Wilhelm Dyckerhoff Institut, Wiesbaden StraTec Strahl- und Fasertechnik, Hemer Grace Bauprodukte GmbH, Lüdge TECETE-CHEMIE GmbH, Köln AWW Wasserstrahlschneidetechnik, Verden

Projektbezogene Publikation | Project related publication

- Ledderose, L.; Lehmborg, S.; Budelmann, H.; Kloft, H.: Robot-assisted, magnetic alignment of microsteel fibers in thin-walled UHPFRC components, Beton- und Stahlbetonbau 114 (2019) 11, S. 33–42