

concrete:furniture – Möbel aus UHPC

Tim Lüking

Institut für Architekturtechnologie, TU Graz, Österreich

Franz X. Forstlechner

Institut für Tragwerksentwurf, TU Graz, Österreich

Julia Jernej

Architektur-Studentin, TU Graz, Österreich

KURZFASSUNG:

Beschrieben wird der Planungs- und Herstellungsprozess eines Konferenztisches aus textilbewehrtem UHPC. Der Tisch wurde im Rahmen einer Lehrveranstaltung mit Studierenden der Architekturfakultät entworfen und wird gerade hergestellt. Die Entwicklung des Tisches erfolgt in Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Architekturtechnologie, dem Institut für Tragwerksentwurf und dem Labor für konstruktiven Ingenieurbau (alle TU Graz). In der Arbeit wird einerseits auf die architektonischen, konstruktiven und strukturellen Entwurfsaspekte eingegangen und andererseits unterschiedliche Herstellungsvarianten entwickelt, deren technische Machbarkeit durch den Bau eines Prototypen überprüft wird.

1 Einleitung

Durch die Entwicklung von selbstverdichtendem Hochleistungsbeton ist es heute möglich geworden, schlanke Bauteile mit hoher Oberflächenqualität aus Beton herzustellen. Die freie Formbarkeit und große Widerstandsfähigkeit macht den Werkstoff auch für die Herstellung von Möbelstücken attraktiv und stellt eine interessante Alternative zu



Abbildung 1 Studierende im Entwurfsprozess

Natursteinplatten dar. Es gibt mittlerweile zahlreiche Anbieter hochwertiger Betonmöbel, die für Sanitäreinrichtungen, Tische und Regale in Innen- und Außenbereich verwendet werden.

Die Verwendung von textilbewehrtem UHPC für die Herstellung dünnwandiger Betonmöbel stellt jedoch einen neuen Ansatz dar, der bisher noch wenig untersucht wurde. Flächige Carbon-Textilmatten haben gegenüber Stabstahl den Vorteil, dass sie geringere Betondeckungen und dadurch dünnere Bauteildicken ermöglichen, und gegenüber Stahlfaserbewehrung, dass die Zugfestigkeit des Verbundquerschnittes gut vorhersagbar und nicht wie bei Faserbewehrung Unsicherheiten in Hinblick auf Verteilung und Orientierung ausgesetzt ist.

2 Workshop

Der Stundenplan des Bachelorstudiums Architektur an der TU Graz sieht im fünften Semester eine Workshop-Woche vor, in der Studierende losgelöst von den verpflichtenden Semesterinhalten einen kurzen Einblick in ein Thema ihrer Wahl erhalten. Diese Lehrveranstaltung wurde dazu

genutzt, den Teilnehmenden einen Einblick in das Thema „Ultrahochfesten Beton“ zu geben. Im Rahmen der Lehrveranstaltung wurde den Studierenden die Grundsätze des Entwerfens und Konstruierens mit UHPC nähergebracht (Abbildung 1). Anhand einer konkreten Entwurfsaufgabe sollte das Wissen angewandt werden. Die Planung eines Möbelstücks bedeutet aufgrund der Größe und der Anforderungen einen individuell gut steuerbaren Grad an Komplexität. Durch die Fokussierung auf einen Konferenztisch konnten die Studierenden die statischen Fähigkeiten des Materials besonders herausarbeiten.

Der Konferenztisch soll im Besprechungsraum des Institutes für Architekturtechnologie aufgestellt werden und Platz für ca. 8 Personen bieten. Neben den funktionalen Anforderungen war ein weiteres Entwurfskriterium, das gestalterische Potential des Werkstoffes UHPC hinsichtlich seiner freien Formgebung möglichst intelligent auszunutzen und zugleich ein effizientes Schalungskonzept zu konzeptionieren.

In einem reziproken Prozess erarbeiteten die Studierenden ihre Entwürfe anhand der Einflussfaktoren Gestaltung, Funktionalität und technischer Machbarkeit hinsichtlich des Schalungsbau und Betonier-Vorganges (Abbildung 2). Abgerundet wurde die Entwurfsplanung durch eine Besichtigung des Labors für konstruktiven Ingenieurbau (TU Graz) unter Leitung von Dr. Bernhard Freytag und der Firma Doka in Amstatten, einem weltweit führenden Anbieter von Schalungslösungen.

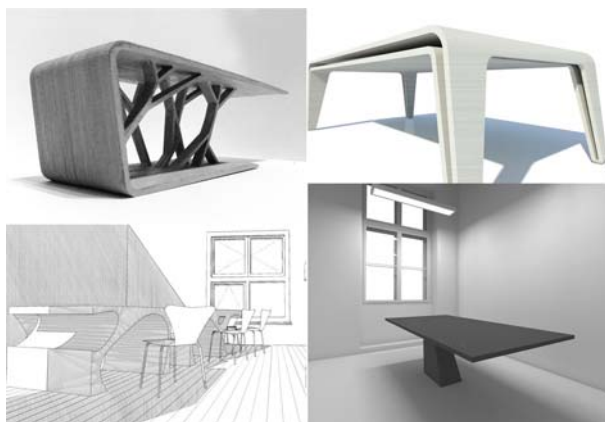


Abbildung 2 Ausgewählte Arbeiten, im Uhrzeigersinn beginnend oben links von Martin Zimmermann, Taavi Henttonen, Dietmar Reinbacher und Daniela Ehrenleitner

Den Abschluss der Lehrveranstaltung bildete die Präsentation der Entwürfe vor einer Jury bestehend aus Instituts-Mitgliedern sowie Fachkritikern aus dem Bereich Konferenzmöbel und Betonbau. Als beste Arbeit und zur weiteren Ausführung ausgewählt wurde der Beitrag „curve´n´concrete“ von Julia Jernej (Abbildung 3). Dieser besteht aus einem ein Meter breiten Betonband, das sowohl Tischbein und als auch Tischplatte ist. Im Bereich eines hoch gezogenen Elements kragt ein Teil um 1,20 m aus. Die Vordimensionierung des Tisches ergab eine Plattendicke von 3.0 cm. Der materialgerechte Entwurf, die gute Nutzbarkeit als Tisch und die gelungene Zonierung des bisher unstrukturierten Raumes wurde von der Jury positiv bewertet.



Abbildung 3 1. Platz – Julia Jernej: curve´n´concrete

3 Ausführungsplanung

3.1 Lastannahmen

Die Ermittlung der Lastannahmen erfolgt nach ÖNORM EN 15372-2008: „Möbel - Festigkeit, Dauerhaltbarkeit und Sicherheit - Anforderungen an Tische für den Nicht-Wohnbereich“. Gemäß dieser Norm müssen folgende Nutzlasten ohne Schaden und unter Einhaltung einer Verformung von Spannweite $L / 100$ durch das Möbelstück aufgenommen werden können:

- Flächenlast: $p = 1.50 \text{ kN/m}^2$
- Einzellast: $P = 1.250 \text{ kN}$

3.2 Bewehrungskonzept

Die ursprüngliche Planung sah zur Biegezugverstärkung des Betons kurzer Stahlfasern vor, die

bereits vor dem Betonieren in den Beton gemischt werden und keine zusätzliche Stab- oder Gitterbewehrung erfordern. Stahlfasern haben allerdings insbesondere im Möbelbau den Nachteil, dass sie zum Teil aus der Betonoberfläche heraus stehen und eine Verletzungsgefahr für Benutzer darstellen.

Daher entschied man sich für die Bewehrung des Tisches mittels flächiger Carbon-Gitter, welche zentrisch in die Betonplatte eingelegt werden. Die Anforderungen an die Carbon-Bewehrung waren, dass sie mindestens die gleiche Biegezugfestigkeit wie die Variante aus Stahlfasern erreicht.

Mit stahlfaserbewehrtem UHPC werden in Abhängigkeit des Bewehrungsgrades äquivalente Biegezugfestigkeiten $f_{equ,FR} \sim 1.5 \text{ kN/cm}^2$ erreicht [1]. Bei der textilbewehrten Variante errechnet sich die aufnehmbare Zugkraft F_{cfk} der Textilbewehrung nach Gleichung (1):

$$\begin{aligned} F_{CFK} &= a_t \cdot f_{tk} = \\ &= 1.69 \text{ cm}^2 / \text{m} \cdot 105.4 \text{ kN} / \text{cm}^2 = \\ &= 178.1 \text{ kN} / \text{m} \end{aligned} \quad (1)$$

mit:

a_tQuerschnittsfläche = 1.69 cm²/m [2]
 f_{tk}Zugfestigkeit des Verbundwerkstoffes
 Textilbeton = 105.4 kN/cm² [2]

Die Momenten-Tragfähigkeit M_{Rk} einer 3.0 cm dicken und mit zentrischem Carbontextil Sigratex Grid 600 bewehrten Textilbetonplatten errechnet sich aus nach Gleichung (2):

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= F_{CFK} \cdot z = \\ 178.1 \text{ kN} / \text{m} \cdot 1.4 \text{ cm} &= 249.2 \text{ kNcm} / \text{m} \end{aligned} \quad (2)$$

mit:

F_{CFK}Zugkraft der Textilbewehrung
 zinnerer Hebelarm = ~1.40 cm

Die äquivalente Biegezugfestigkeit $f_{equ,TR}$ der textilbewehrten Variante beträgt gemäß Gleichung (3):

$$\begin{aligned} f_{equ,TR} &= \frac{M_{Rd}}{W} = \frac{249.2 \text{ kNcm} / \text{m}}{150 \text{ cm}^3 / \text{m}} = \\ f_{equ,TR} &= 1.67 \text{ kN} / \text{cm}^2 \end{aligned} \quad (3)$$

mit:

WWiderstandsmoment der 3.0 cm dicken Platte

Aus den Berechnungen ist ersichtlich, dass bei einer 3.0 cm dicken Beton mit zentrischem Carbontextilien Sigratex Grid 600 in etwa die gleichen äquivalenten Biegezugfestigkeiten f_{equ} wie bei einer Variante mit Faserbewehrung erreicht werden (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 Vergleich der äquivalenten Biegezugfestigkeiten f_{equ}

Bewehrungsvariante	f_{equ}
Stahlfaserbewehrung (Fiber Reinforcement)	1.50 kN/cm ²
Textilbewehrung (Textile Reinforcement)	1.67 kN/cm ²

3.3 Schalungskonzept

Aus kosten- und herstellungstechnischen Gründen basiert die Schalung im Wesentlichen auf Schalplatten, wobei die Innen- und Außenradien der Eckausrundungen aus Perimeterdämmung gefräst sind. Um eine homogene Betonoberfläche zu erhalten, werden die großflächigen Seiten inklusive der Radien mit 0,5 mm dicken Polystyrol-Platten beklebt. Die Polystyrol-Platteneinteilung erfolgt dabei so, dass keine Stöße im Bereich der Eckausrundungen liegen. Ein Stich von 5 mm wirkt im Bereich der Tischmitte der Durchbiegung zufolge Eigen- und Nutzlasten entgegen. Befüllt wird die Schalung von einer Schmalseite des Tisches.

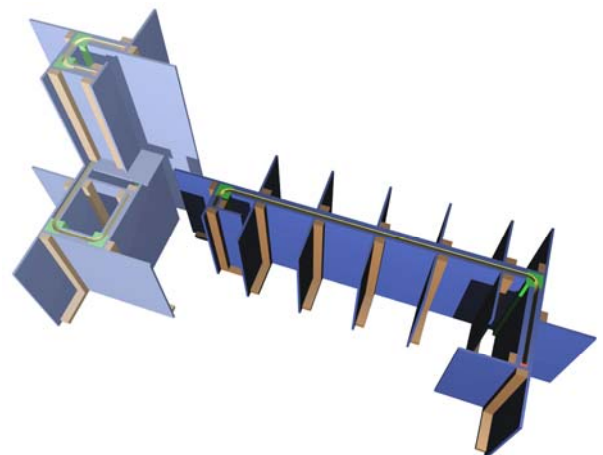


Abbildung 4 Visualisierung der Schalung, dunkelblau dargestellt der erste Betonierabschnitt, hellblau der zweite Betonierabschnitt

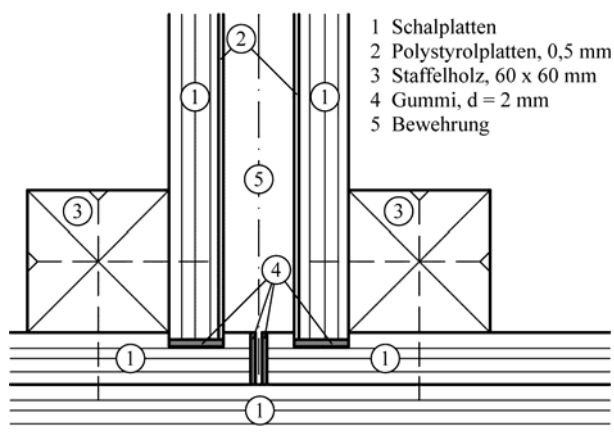


Abbildung 5 Schalungsdetail Fußpunkt

Die Umstellung von Faser- auf Textilbewehrung bedeutete eine wesentliche Veränderung der Schalungsdetails am Rand. Um die Bewehrung in ihrer Lage zu fixieren, wird sie an beiden Schmalseiten, im Betonierprozess also oben und unten, eingespannt. Diese Bereiche stellen eine Schwachstelle in der Schalung dar, weil dort die homogene Ausbildung der Schalhaut nicht zu erhalten ist. Es wird mittels der Integration verklebter elastischer Materialien versucht, einen möglichst dichten Abschluss zu erreichen und damit die Ausbildung von Schadstellen zu verhindern (Abbildung 5).

Im oberen Bereich wird abschnittsweise analog die Bewehrung eingespannt, während Öffnungen für das Einfüllen des Betons verbleiben (Abbildung 6). Beide Schmalseiten müssen bei dieser Detaillierung nach dem Ausschalen vermutlich geschliffen werden. Im zweiten Betonierabschnitt gemäß Abbildung 4 gilt es eine weitere Aufgabe zu lösen, da dort zwei unterschiedlich hohe Bereiche in einem Arbeitsschritt zu befüllen sind. Angefangen wird mit dem Einbringen am tieferen Abschnitt.



Abbildung 6 Schalung eines Versuchskörpers mit zentrischem CFK-Gitter

Angekommen auf der entsprechenden Höhe wird dieser niedrige Teil abgedichtet und der restliche Beton von oben in das später auskragende Element eingebracht. Dabei wird ein entsprechender Druck auf die Abdeckung des niedrigeren Teilbereiches entstehen. Die Erkenntnisse aus dem ersten Betonierabschnitt sollen dabei helfen, eine belastbare Abdeckung zu entwickeln.

3.4 Montage

Aufgrund des vergleichsweise hohen Eigengewichtes des Tisches von ca. 450 kg soll er in zwei Abschnitten betoniert werden, um so den Transport zu vereinfachen. Die Verbindung beider Elemente geschieht mittels Kleber am Aufstellort.

4 Zusammenfassung

Der Entwurfsprozess im Workshop hat für die Studierenden einen großen Erkenntnisgewinn hinsichtlich der Arbeit mit Beton gebracht. Das gewonnene Wissen zum Bau von Betonmöbeln kann auch für das Entwerfen und Konstruieren von (leichten) Betonstrukturen und Fassadenelementen angewendet werden.

Die Detailplanung erfolgt in einer interdisziplinären Zusammenarbeit, an der sowohl Studierende als auch Assistenten beteiligt sind. Die Entwicklung der Schalung wird durch Kleinversuche ergänzt, um die Oberflächenqualität zu optimieren sowie eine hohe Lagegenauigkeit der Bewehrung sicherzustellen.

Die Herstellung des Tisches ist in naher Zukunft vorgesehen.

5 Literatur

- [1] Max Bögl: *Modulare Dachtragwerke aus UHPC - Betonkennwerte*, Datenblatt der Firma Max Bögl, Sengenthal, Deutschland, 2010
- [2] SGL: *Bemessungskennwerte für die Textilbewehrung Sigratex Grid 600*, Firma SGL Technologies GmbH, Deutschland, 2012