

Die TU Wien bei der Deutschen Betonkanu-Regatta 2015

Vienna University of Technology takes part in the German Concrete Canoe Regatta 2015

Von K. Deix, J. Kirnbauer, M. Berthold, J. Brandstötter und Ch. Strobl, Wien

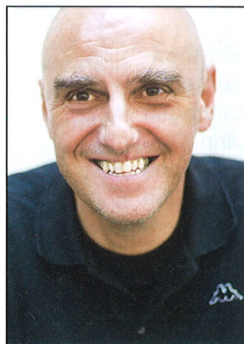
Mit 12 Abbildungen



Dipl.-Ing.
Dr.techn. Karl Deix



Dipl.-Ing.
Dr. Johannes Kirnbauer



Ao.Univ. Arch Dipl.-Ing.
Dr. Manfred Berthold



Jakob Brandstötter



Christopher Strobl

Kurzfassung

Die TU Wien hat erstmals an der Deutschen Betonkanu Regatta, die im Juni 2015 in Brandenburg stattfand, teilgenommen. Die Aufgabe bestand darin, mit einem selbstgebauten Kanu aus Beton ein Rennen im Wettbewerb mit anderen Universitäten zu bestreiten. Es handelt sich um eine materialtechnologische, konstruktive als auch sportliche Herausforderungen, der sich Architekturstudenten der Technischen Universität Wien gestellt haben. Im Vordergrund stand dabei die Verwendung von Leicht – UHPC, ein besonders fester Beton, der Wandstärken von nur 4 mm zuließ. Neben einer guten sportlichen Platzierung wurde die Konstruktionsidee mit einer oberen Abdeckung aus einem Pneu und das Designs in Form eines glatten, weißen und sehr schlanken Kanus sowie der Präsentation mit einem eigens konzipierten Pavillon von der Jury in der Konstruktionswertung gewürdigt.

Abstract

For the first time Vienna University of Technology has participated in the German Concrete Canoe Regatta, which took place in Brandenburg in June 2015. The challenge was to compete with other universities in a self-built concrete canoe in a race. Architecture students had to face a challenge in terms of material technology, construction and sport. The focus was on the use of light UHPC which permitted a wall thickness of only 4 mm. Besides a good sporting performance the design idea with a top covering made of a tire and the design in the form of a smooth, white and very slim canoe as well as the presentation in a specially designed pavilion were honored by the jury in the design rankings.

1. Idee und Motivation

Alle zwei Jahre wird vom Verband der Deutschen Zement- und Betonindustrie die Deutsche Betonkanu-Regatta organisiert. Dieses Jahr fand sie am 19. und 20. Juni 2015 an der Re-

gattastrecke am Beetzsee in Brandenburg a.d. Havel statt. Es war ein internationaler Wettbewerb zwischen Universitäten, Technischen Hochschulen und Fachhochschulen, in denen Bontentechnik gelehrt wird. Es handelt sich dabei um eine Mischung aus Beton- und Bootsbautechnik und sportlichem Wettkampf. Die Teilnahme stellt eine materialtechnologische, künstlerische, konstruktive als auch organisatorische und sportliche Herausforderungen dar. Dieser haben sich erstmals Architekturstudenten der Technischen Universität gestellt. Angeboten hat sich als Lehrveranstaltung das Modul „Experimenteller Hochbau“ im Rahmen des Masterstudiums Architektur an der Technischen Universität Wien des Instituts für Architektur und Entwerfen. Modulleiter ist Herr A.o. Univ.Prof. Arch. Dipl.-Ing. Dr. Manfred Berthold.

Das technische Ziel lag darin, die Festigkeit und Wasserdichtigkeit der Baustoffe in der Kanukonstruktion so zu nutzen, dass leichte und gleichzeitig robuste Kanus entstanden. Dazu stand aus betontechnologischer Sicht die Verwendung von ultrahochfestem Beton (UHPC, engl.: ultra high performance concrete) im Vordergrund, welcher sehr dünne Wandstärken und damit ein geringes Gewicht zulässt. Nicht zu unterschätzen waren dabei auch die handwerkliche Fertigkeiten im Schalungs- und Bootsbaubau als auch der ideenreiche Umgang mit Beton in einer neuen Umgebung: dem Wasser. Und dann galt es vor allem mit dem selbstkonstruierten Kanus das Rennen zu bestreiten und zu gewinnen.

2. Ausschreibung

Für die Wettkampfklasse war vorgesehen, dass das Kanu von zwei Personen mit Hilfe von Stechpaddeln – kniend, sitzend oder stehend – geführt wird. Dollen und Ruderanlage waren nicht erlaubt. Es war eine Mindestlänge von 4 m, eine maximale Länge von 6 m sowie eine Breite von 0,7–1,0 m vorgeschrieben. Die Kanus mussten aus bewehrtem Beton, Feinbeton bzw. Zementmörtel hergestellt werden. Das Kanu war weiters durch das Anbringen von Auftriebskörpern derart unsinkbar zu machen,

dass der Auftrieb das Eigengewicht des Kanus um mindestens 1000 N überstieg.

Der sportliche Wettkampf wurde in einer Kombination aus gerader Rennstrecke und Slalomkurs mit einer Gesamtlänge von 200 m ausgetragen. Preise wurden vergeben für die Konstruktion, Gestaltung und für die sportlichen Wettkämpfe. Bewertet wurden Konstruktionsidee, betontechnologische Besonderheiten, Gewicht (je leichter, desto besser), Wasserlage, Lösung von Details, etc. sowie der eingereichte Bericht. Die Preise für den sportlichen Wettkampf erhielten die Siegerinnen und Sieger der beiden Endläufe.

3. TU-Team

Voraussetzung und wesentlich für so ein Projekt ist ein motiviertes Team. Es ist ein wesentlich größerer Aufwand für jeden Einzelnen notwendig, als im Rahmen von Lehrveranstaltungen üblich ist bzw. mit ECTS-Stunden abgegolten werden kann. Dieses Team hat sich im Sommer 2014 gefunden und bestand aus zwei Studienassistenten und Architekturstudenten sowie den betreuenden Professoren. Zu Beginn des Sommersemesters 2015 sind weitere Architekturstudenten dazu gestoßen, sodass das Team aus insgesamt 30 Personen bestand. Zum Projekt wurden das passende Logo (Abb. 1) und das Motto gefunden. Dieses lautete „mitmischen“, welches in doppelter Bedeutung auf „Betonmischen“ als auch auf das „Mitmischen“ beim Bewerb Bezug nahm.

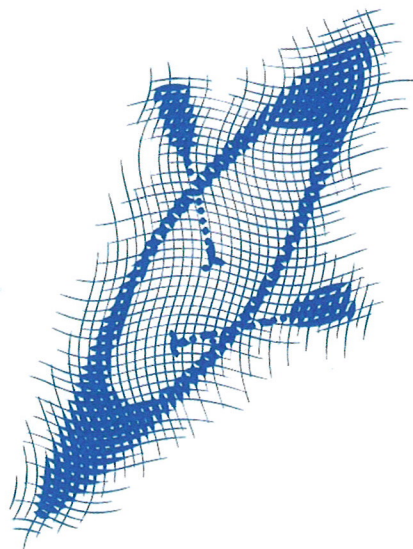


Abb. 1: Logo des Teams

Fig. 1: Logo of the team

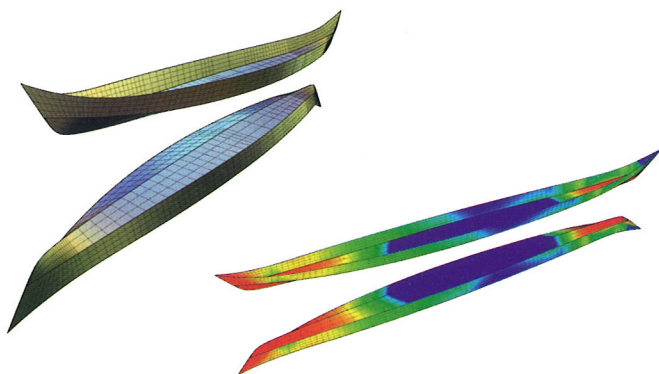


Abb. 2: Gewählte Kanuform

Fig. 2: Chosen shape of the canoe

4. Vorstudien und Formfindung

Ziel war es einerseits ein leichtes und dadurch schnelles Kanu zu entwerfen, andererseits sich besondere Konstruktionsmethoden einfallen zu lassen. Im ersten Schritt wurden verschiedene Herstellungsmethoden an kleineren Modellen untersucht. Zu erwähnen sind hierzu:

- Mit flüssigen Beton getränkte Tücher, die auf einem horizontalen kanuförmigen Rahmen aufgehängt wurden und in dieser Form erhärteten
- 3D-gefräste Styroporschalungen in Positiv- und Negativform
- Faltboote mit einbetonierten Folien-Scharnieren
- Ein aus ebenen Betondreiecken zusammengefügtes Kanu

Im zweiten Schritt wurde die endgültige Kanuform entwickelt. Es wurden dazu die Vor- und Nachteile verschiedener Formen untersucht. Kriterien waren: Beweglichkeit zum Kurvenfahren (respektive Wenden), Schnelligkeit, Sitzstellung und -position und geringe abgewinkelte Flächen für die Gewichtsreduktion. Mittels eines Grasshopper Design Skripts, welches die Studierenden selbst entwickelt haben, wurden die Wasserlinien (Tiefgang) mit und ohne Besatzung berechnet. Durch EDV gestützte Strömungsanalysen konnten die real durchgeführten Strömungstests bestätigt werden. Diese Aspekte flossen in den iterativen Entwurfsprozess ein. Das Ergebnis war ein 4,5 m langes Kanu mit niedrigen Wänden (< 10 cm oberhalb der Wasserlinie), einer Breite von 73 cm sowie einer Gesamthöhe von nur 28 cm (Abb. 2).

5. Betontechnologie

Um das Gewicht möglichst gering zu halten, sollte die Wandstärke sehr dünn und trotzdem ausreichend fest gegen Biege-, Beul- und Durchstanzbelastung sein. Die statische Vorbeurteilung ergab, dass bei einer Wandstärke von ca. 4 mm eine Druckfestigkeit des Betons von rund 70 MPa erforderlich war. Schließlich ergaben sich auf Grund der Verarbeitungsmethode auch Anforderungen an die Konsistenz des Frischbetons. Der Beton sollte händisch auf die Schalhaut aufgetragen werden. Dazu musste der Beton einerseits weich sein, um sich gut verteilen zu lassen. Andererseits musste gewährleistet werden, dass er plastisch genug war, um an den vertikalen Flächen nicht abzurinnen.

Ausgehend von einer Standard-UHPC-Rezeptur wurde – um die Dichte zu reduzieren – einzelne Komponenten durch Mikro-Hohlglaskugeln ersetzt. Ausgewählt wurden Glaskugeln Typ S22, die aufgrund des alkalischen Betons aus alkaliresistentem Natronkalk-Borsilikat-Glas (AR-Glas) bestanden. Die Rohdichte der verwendeten Glaskugeln betrug nur 0,22 g/cm³ und der mittlere Durchmesser ca. 35 µm. Damit sind sie ähnlich fein wie der Zement oder das Quarzmehl. Es wurde eine ganze Reihe von Vorversuchen durchgeführt und untersucht. Abbildung 3 zeigt die Zusammensetzung der Basismischung und stellvertretend für die vielen Mischungen, die Mischungen MHG1 und MHG2, als auch die endgültige Kanumischung. Bei der Mischung MHG 1 wurde das gesamte Quarzmehl und bei der Mischung MHG 2 der gesamte Quarzsand in Bezug auf die Basismischung ersetzt. Dadurch konnte die rechnerische Rohdichte von 2270 kg/m³ der Basismischung auf 2020 kg/m³ bei der Mischung MHG 1 und 1490 kg/m³ bei der Mischung MHG 2 reduziert werden. Die tatsächliche Frischbetonrohddichte der Mischungen MHG 1 und MHG 2 lag jedoch deutlich über der rechnerisch ermittelten, da während des Mischens ein Teil der Hohlglaskugeln zerbrachen. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurden die Mikro-Hohlglaskugeln erst nach dem schnellen Intensivmischen (1200 Umdrehungen pro Minute) der Hauptkomponenten bei reduzierter Drehzahl zugemischt. In Abbildung 4 sind

Bestandteile/Mischung	Basis	MHG 1	MHG 2	Kanu
Portlandzement Cem I 52,5N C ₃ A-frei	690 kg	690 kg	690 kg	-
Weißzement Cem I 52,5N	-	-	-	678 kg
Silikastaub	173 kg	173 kg	173 kg	136 kg
Quarzmehl QM 10000	345 kg	-	345 kg	-
Quarzsand 0,1-0,5 mm	928 kg	928 kg	-	928 kg
Mikrohohlglaskugeln S22	-	29 kg	77 kg	34 kg
Wasser	161 kg	163 kg	163 kg	160 kg
Fließmittel	28 kg	28 kg	28 kg	28 kg
Konsistenzhalter	14 kg	14 kg	14 kg	14 kg
Entlüfter	1 kg	1 kg	1 kg	1 kg
PVA-Fasern 6mm	-	-	-	1 kg
W/Z-Wert	0,28	0,28	0,28	0,28
Frischbetonrohddichte (rechnerisch)	2270 kg/m ³	2020 kg/m ³	1490 kg/m ³	1920 kg/m ³
Frischbetonrohddichte (gemessen)	2270 kg/m ³	2140 kg/m ³	1680 kg/m ³	1920 kg/m ³

Abb. 3: Bestandteile und Mischungsverhältnisse der untersuchten Zusammensetzungen

Fig. 3: Components and mixing ratios of the investigated compositions

die festgestellten Rohdichten und Druckfestigkeiten dargestellt. Erkennlich ist ein linearer Zusammenhang, der sich ebenso bei der Biegezugfestigkeit zeigte.

Bei der endgültigen Mischung wurde bei einer Rohddichte von 1920 kg/m³ eine Druckfestigkeit von 74 MPa (nach 20 Tagen) bzw. 87 MPa (nach 120 Tagen) erreicht. Die Biegezugfestigkeit lag bei 9,2 MPa (nach 20 Tagen). Dazu wurden das gesamte Quarzmehl und ein kleiner Teil des Zements sowie des Silika- staubes durch Hohlglaskugeln ersetzt. Durch die Verringerung der Rohddichte des Betons von 2270 kg/m³ auf 1920 kg/m³ konnte das Gewicht des Kanus um ca. 7 kg reduziert werden. Bei einer Oberfläche von 3,42 m² und einer Wandstärke von ca. 4–5 mm wog das Kanu rund 33 kg, was ein Laufmetergewicht von ca. 7,3 kg ergab.

dass sie durch einfache Krümmung der ebenen Platten gebildet werden konnte. Diese äußere Schalhaut wurde durch eine innere Schalhaut ergänzt, um – ohne den Rahmen zu zerlegen – ausschalen zu können. Durch das Aufkleben von Folien auf die Innenschalung konnte eine sehr glatte und glänzende Betonoberfläche an der Kanuaußenseite erzielt werden. Die Konsistenz des Frischbetons wurde mittels eines Fließmittels plastisch eingestellt, sodass der Beton von Hand auf die Schalung aufgetragen werden konnte ohne an den vertikalen Flächen abzurinnen. Abbildung 5 zeigt das Betonieren des Kanus.

6. Schalung und Herstellung

Es wurde keine übliche GFK-Schalung verwendet, sondern eine eigene Schalung in Form eines Stecksystems entwickelt. Diese bestand aus äußeren Spantenscheiben bestehend aus MDF-Platten, geschnitten mit einer CNC-Fräse. In dieses Rahmensystem wurde die Schalhaut in Form von vier ebenfalls CNC-gefrästen MDF-Streifen befestigt. Die Kanuform war so gewählt,

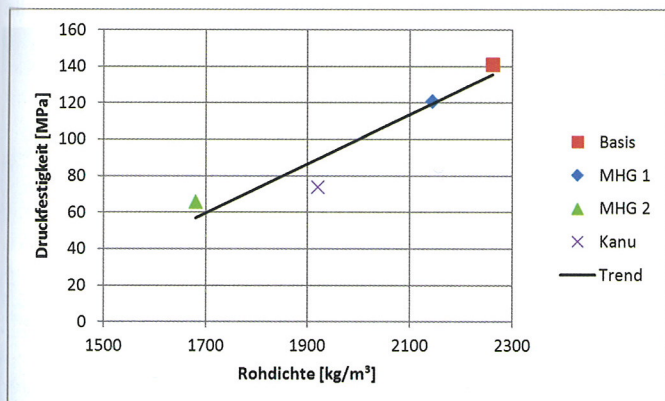


Abb. 4: Zusammenhang zwischen Rohddichte und Druckfestigkeit
Fig. 4: Relationship between density and compression strength



Abb. 5: Betonieren des Kanus
Fig. 5: Placing of concrete of the canoe



Abb. 6: Erste Tests im Wasser
Fig. 6: First tests in the water



Abb. 8: Pavillon aus Membranen
Fig. 8: Pavilion made of a membrane



Abb. 7: Fertiges Kanu mit Abdeckung
Fig. 7: Finished canoe with cover

7. Tests

Die ersten Tests wurden im Strömungskanal des Wasserbau-labors der TU Wien durchgeführt. In der Folge wurden die ersten Paddelversuche auf der neuen Donau gemacht, wo dann auch das Training der Teams erfolgte. Es zeigte sich, dass das Kanu sehr schnell war, jedoch es zum Überschwappen von Wasser ins Kanu bei leichtem Wellengang und Wind kam. Dadurch füllte sich das Kanu, wurde schwerer und sank weiter ein (Abb. 6). Es wurde daher, um nicht die Wandungen zu erhöhen, ein Pneu aus Kunststofffolien als oberen Abschluss entwickelt. Dieser wurde mittels eines außen am Rand aufgeklebten Reißverschlusses befestigt und diente zugleich als Auftriebskörper, da er aufblasbar ausgebildet wurde (Abb. 7).

8. Der Bewerb

Insgesamt traten 65 Kanuteams in der Wettkampfklasse, die von 45 teilnehmenden universitären Institutionen stammten, an. Die TU Wien trat mit einem Herren- und einem Damenteam an. Nach dem Gewinn zweier Vorläufe konnte sich das Herrenteam knapp nicht für den Finallauf qualifizieren. In der Gesamtwertung wurde jedoch aufgrund des hervorragenden Bootsdesigns der 8. Platz belegt. Das Damenteam konnte bis ins Viertelfinale vordringen.

Im Konstruktion-Bewerb wurden die Gestaltung und die konstruktiven Innovationen sowie auch das dafür notwendige Know-How in der Bearbeitung von Spezialbeton bewertet. Die TU Wien war zum ersten Mal bei dieser Veranstaltung dabei und konnte sich gleich über den zweiten Platz freuen, knapp nach



Abb. 9 und 10: Bilder von der Regatta-Wettbewerb
Fig. 9 and 10: Pictures from the boat race



Abb. 11: Regatta-Team der TU Wien

Fig. 11: Boat-race-Team of the Vienna University of Technology



Abb. 12: Siegerehrung

Fig. 12: Award ceremony

der ETH Zürich. Dazu beigetragen hat auch die professionelle Präsentation mit einem eigens konzipierten und selbst hergestellten Pavillon aus Membranen (Abb. 8). Sogar der 2. Platz im Wettbewerb für das „schönste Regattahemd“ konnte eingefahren werden – mit einem einzigartigen Beton-T-Shirt und einem originellen Mannschaftsauftritt.

9. Resümee

Von den im Wettbewerb partizipierenden Studentinnen und Studenten war neben Entwurf, Bau, Transport und Rennen vor allem Phantasie, Engagement und Teamwork gefragt. Die Redewendung „Wir sitzen alle in einem Boot“ passte in der Beschreibung dieser intensiven universitären Auseinandersetzung mit der Aufgabenstellung niemals treffender.

„Der Grund, warum wir mit der Spitze mithalten konnten, waren unsere hochmotivierten und wissensdurstigen Architekturstudentinnen und -studenten!“ sagt Manfred Berthold. Dass die von uns gebauten Kanus wegen ihrer Konstruktionsidee, des Designs, der Betontechnologie sowie der Präsentation von der Jury gewürdigt wurden, freute die Teilnehmer der kooperierenden Institute über die Fakultätsgrenzen hinweg.

Unterstützt wurde das Team auch von Prof. Jürgen Hennicke von der Universität Stuttgart und Univ.-Lektor Michael Schultes, die als externe Lehrbeauftragte an der TU Wien ihr Wissen an die Studierenden weitergaben. Möglich gemacht wurde dieses Unterfangen durch den Verein der österreichischen Zementindustrie und Holcim Österreich.

Dipl.-Ing. Dr.techn. Karl Deix
Technische Universität Wien
Institut für Hochbau und Technologie, E206-1
1040 Wien, Karlsplatz 13; Tel. 01-58801-21519
karl.deix@tuwien.ac.at

Dipl.-Ing. Dr.techn. Johannes Kirnbauer
Technische Universität Wien
Institut für Hochbau und Technologie, E206-1
1040 Wien, Karlsplatz 13; Tel. 01-58801-20616
johannes.kirnbauer@tuwien.ac.at

Ao.Univ. Arch Dipl.-Ing. Dr. Manfred Berthold
Technische Universität Wien
Institut für Architektur und Entwerfen, E253
1040 Wien, Karlsplatz 13; Tel. 01-58801-253434
manfred.berthold@tuwien.ac.at

Jakob Brandstötter
Technische Universität Wien
Institut für Architektur und Entwerfen, E253
1040 Wien, Karlsplatz 13
jakob.brandstoetter@tuwien.ac.at

Christopher Strobl
Technische Universität Wien
Institut für Architektur und Entwerfen, E253
1040 Wien, Karlsplatz 13
christopher.strobl@tuwien.ac.at



Multifunktionale Flusskraftwerke – Wasserkraft und Hochwassermanagement

