

Betonkanuregatta **2017**

Konstruktionsbericht

Fachhochschule Lübeck, Fachbereich Bauwesen

eine Zusammenarbeit Studierender der Fachrichtungen **Architektur** und **Bauingenieurwesen**

Meilensteine der ersten Teilnahme an der Betonkanuregatta

| | |
|----------------|--|
| 09.01.2017 | Anmeldung |
| 08.02.2017 | Erstes Motivationstreffen mit interessierten Studierenden |
| 16.02.2017 | Entscheidung mit Studierenden „wir nehmen Teil“ |
| 22.02.2017 | Besuch Kanu Club Lübeck e.V. |
| 27.04.2017 | Herstellung Schalungsform |
| 28.04.2017 | Betonieren des ersten Betonkanus |
| 02.05.2017 | Ausschalen des ersten Kanus und Betonieren des zweiten Kanus |
| 12.05.2017 | Wassertaufe beim Kanu Club Lübeck e.V. |
| 09.-10.06.2017 | Teilnahme an der Betonkanuregatta in Köln |

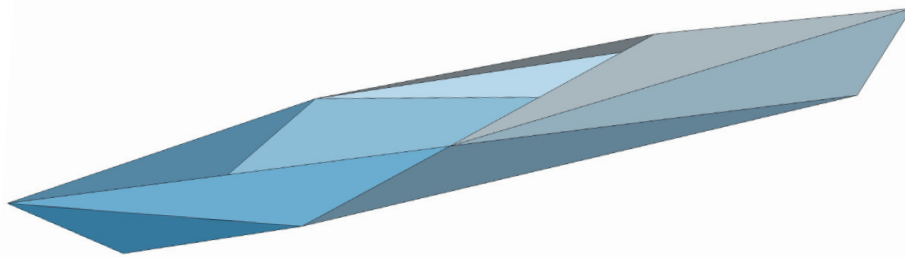


Konzept

Unser Konzept soll eine innovative Form mit **Funktionalität und Ästhetik** verbinden. Dabei haben wir uns für eine geometrische Form entschieden, um eine möglichst geringe Fläche und ein leichtes Gewicht zu erreichen. Das Kanu setzt sich aus einzelnen **Polygonflächen** zusammen, die für eine optimale Gleitfähigkeit durch das Wasser sorgen. Da unser Team sich sowohl aus **Bauingenieur- als auch Architekturstudenten** zusammensetzt, war uns neben der Funktionalität, der Betonzusammensetzung sowie dem Tragwerk auch der ästhetische Aspekt sehr wichtig. Das Ziel war eine **Neuinterpretation des klassischen Rennkanus**, ohne dabei die funktionalen Aspekte außer Acht zu lassen.

Form und Design

Das Design soll durch die scharfen Kanten an eine moderne **Yacht** erinnern – **aggressiv und sportlich** mit einem möglichst geringen Wasserwiderstand. Der Polycutter soll sich von traditionellen Rennkanus abheben, aber dabei nicht an Funktionalität verlieren: Der extrem scharfe Bug zeugt von einer strömungsgünstigen Form. Die von unten gesehen asymmetrische Form – die breiteste Stelle des Kanus liegt hinter der Mittelachse – lässt einen schmaleren Bug entstehen, wodurch das Kanu besser durch das Wasser gleiten kann. Das lange Kanu mit gerader Kiellinie erleichtert den Geradeauslauf. Durch die leicht angeschrägte Bodenform gibt es eine geringe Wasserauflagefläche, wodurch das Kanu schneller wird und gut manövrierbar bleibt. Die Kante, die am untersten Punkt des Kanus durch die Polygone entsteht, bietet zusätzliche Aussteifung und fördert zudem den Geradeauslauf. Das spitz zulaufende Heck führt das vorne am Bug geteilte Wasser wieder zusammen. Die nach außen stehenden Seitenwände sorgen für Stabilität und lenken die Wellen ab.



Namengebung:

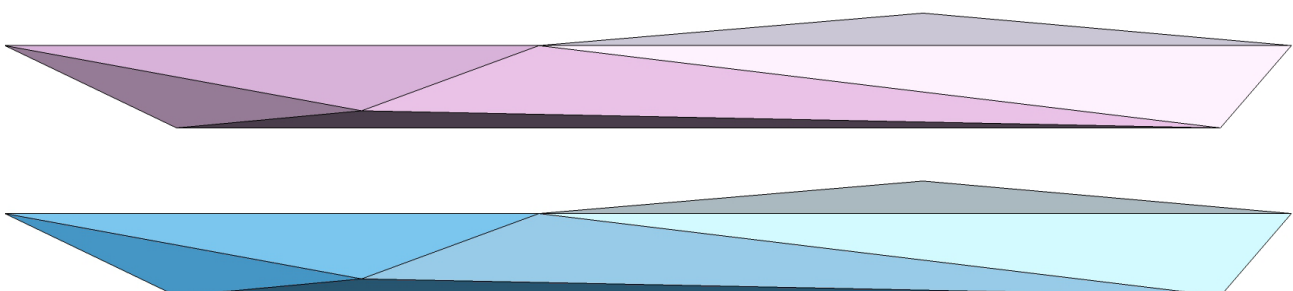
Der Name „Polycutter“ leitet sich zum einen aus dem geometrischen Begriff Polygon ab, eine Form, aus der sich das Kanu zusammensetzt. Der Cutter stellt auf der anderen Seite ein Werkzeug in der Architektur dar und symbolisiert, dass der Polycutter sich durch das Wasser hindurch schneidet. Spricht man den Namen auf Plattdeutsch aus, so ergibt sich sogar ein Wortspiel, bei dem es klingt wie „Kutter“. **Kutter leitet sich aus dem Englischen cutter, von: cut - schneiden ab und bezeichnet ein kleineres Schiff, welches einen scharfen Rumpf besitzt und einen annähernd senkrechten Vorsteven mit deutlicher Verjüngung am Bug und Heck.**

Bei der Namensgebung wurden gezielt Begriffe aus dem Architekturbereich gewählt, um die Zusammenarbeit zwischen Bauingenieur- und Architekturstudenten darzustellen.

Hierbei unterscheiden sich die beiden Kanus in **Polycutter A** für die **Architekten** und **Polycutter B** für die **Bauingenieure**.

Farbgestaltung

Die Kanus haben jeweils eine Grundfarbe, deren Farbton sich vom Bug bis hin zum Heck in einem Farbverlauf intensiviert. Jedes Polygon hat dabei eine andere Farbe. Ziel war es, dass das Material auf den ersten Blick zu erkennen ist. Deshalb ist die Betontextur in den hellen Dreiecksflächen deutlich sichtbar und auch in den farbintensiven Dreiecken am Heck noch erkennbar. Bei der Farbwahl haben wir uns für ein rotes sowie ein blaues Kanu entschieden.



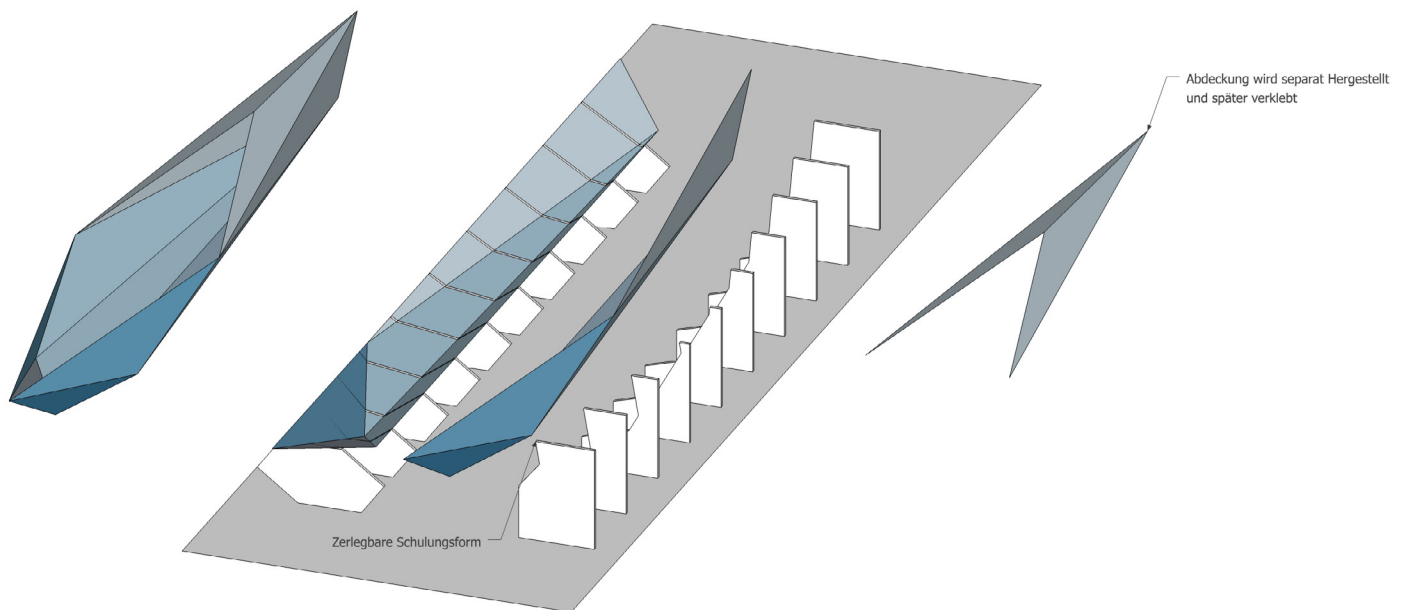
Herstellung.. Konstruktionsidee, Schalungsform

Konstruktionsidee

Die Konstruktionsidee beruht auf einer dreidimensionalen Polygonfläche, welche sich aus der einfachsten Form des Polygons, einem Dreieck, zusammensetzt.

Schalungsform

Die Schalungsform besteht aus zwei Hälften, die beim Ausschalen voneinander gelöst werden können um das Betonkanu aus der Form zu lösen.

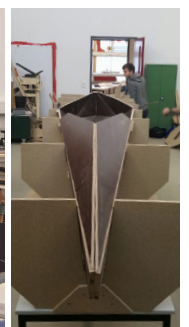
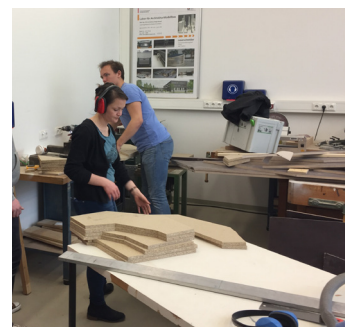
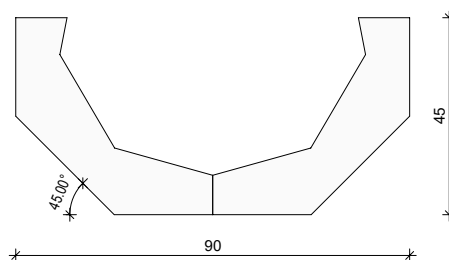


Die aus Betonschalungsplatten bestehenden **negativen Betonkanuschalungsformen** wurden im Labor „Experimentelles Bauen“ und der Modellbauwerkstatt in den Räumen der Fachhochschule Lübeck hergestellt. Als Werkzeuge kamen Bandsägen, Kreissägen, Tauchsägen, Akkuschrauber und Schleifpapier zum Einsatz.

Die genauen Abmessungen der Schalungsteile wurden in **3D** mit einem **CAD**-Programm konstruiert und als Flächenabwicklung exportiert. Der Aufriss auf die Schalungsplatten wurde dann aus den Plänen übertragen.

Gehalten werden die fertig gesägten Platten durch Halterungen aus Spanplatten, welche auch dafür sorgen, die Platten im richtigen Winkel untereinander zu verbinden.

Der **45°** Winkel der Schalungshalter ermöglicht es, das Kanu beim Betonieren auf die Seite zu kippen, um den Beton einfacher in die Form einbringen zu können. Die Abdeckung der Kanus wurde als Einzelbauteil hergestellt und wird mit einem Spezialkleber auf dem Rumpf fixiert.



Die Obere Abdeckung des Kanus dient in erster Linie der Aussteifung und zusätzlich als Designelement, um dem Kanu mehr Ausdruck zu verleihen.

Ablauf **Betonieren**

1. Kippen der Kanuschalung um 45° auf eine Seite zum Spachteln der ersten Lage bis zum Kiel. Dicke der Lage: ca. 3mm
2. Anschließend Einlegen der vorher zugeschnittenen Bewehrung.
3. Überspachteln der Bewehrungslage mit einer Tragschicht Beton von ca. 5-6mm.

Zur besseren Verarbeitbarkeit und Glätten der Frischbetonoberfläche wurde der Beton für diese Lage mit mehr Wasser angerührt.

4. Kippen der Betonschalung um 90°, sodass die Schalung um 45° zur anderen Seite geneigt ist.
5. Wiederholung der Punkte 1 bis 3. Die Bewehrungsmatten überlappen sich um mehrere Zentimeter.

Die Nachbehandlung erfolgt mit nassen Tüchern und einer luftabschließenden Folie.



Mit einem portablen Eimermischer wurden Betonmischungen zu je 5l Volumen angemischt und in die Holzschalung gespachtelt.

1. Abwiegen der trockenen Bestandteile und Homogenisierung der Mischung im Eimermischer
2. Entnahme von ca. 20% Trockengut
3. Zufügen des Wassers und Fließmittels zur Mischung
4. Hinzufügen des entnommenen Trockenguts
5. Langsames Hinzufügen der PVA-Fasern



Ausschalen

Da die Schalung aus zwei Schalhälften konstruiert wurde, konnten zum Ausschalen die zwei Schalhälften getrennt und zu den Seiten abgezogen werden. Das Ausschalen erfolgte somit problemlos und für das Betonkanu nicht schädigend.

Nachbehandlung: Das Betonkanu wird zur vollständigen und optimalen Erhärtung feucht gehalten.

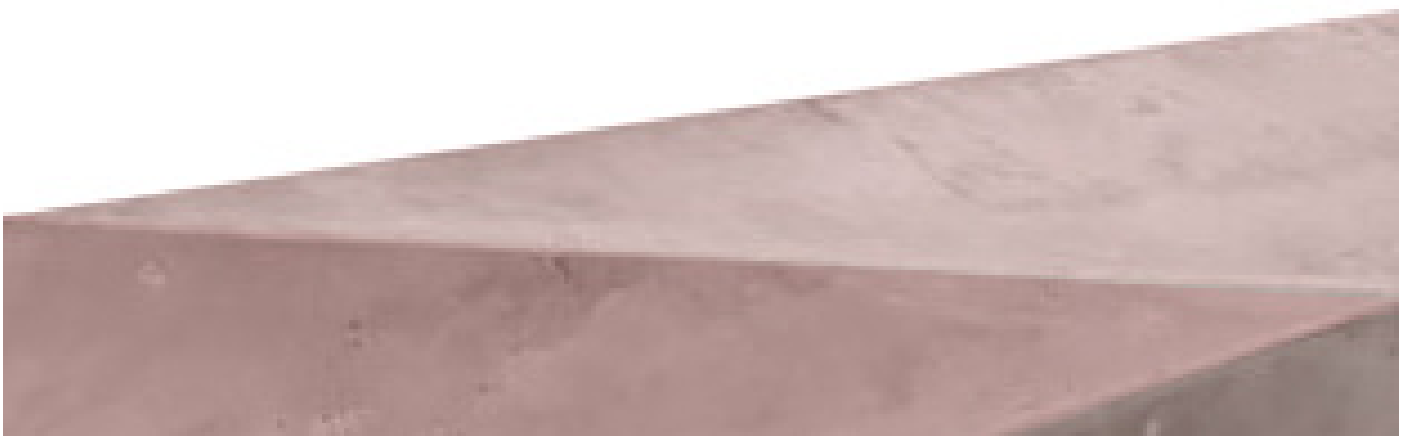
Oberflächenbehandlung: Die Außenseite des Kanus ist entsprechend der eingesetzten Schalung sehr glatt und muss nicht abgeschliffen werden. Entsprechend der zuvor optimierten Betonmischung besitzt die Oberfläche wenige Luftporen und Lunker, sodass eine Wasserdichtigkeit sichergestellt wird.

Oberflächenbehandlung

Da die Holzschalung eine sehr glatte Oberfläche besitzt, wurde auf Schalöl verzichtet. Dies hat die Spachtelbarkeit bei geneigter Schalfäche vereinfacht und eine gleichmäßigere Betonoberfläche generiert.

Das Betonkanu wird nach dem Ausschalen noch eine Farbbehandlung bekommen und soll in den einzelnen Polygonflächen mit verschiedenen Farbstufungen von hell nach dunkel. Die Farbstufungen sind bei beiden Kanus unterschiedlich. Die Oberflächenbehandlung ist zum Zeitpunkt dieses Berichtes noch nicht erfolgt und wird noch in Abstimmung mit dem Team diskutiert. Als Grundlage werden verschiedene Probeflächen angelegt um ein optimales ergebnis zu erzielen.

Die Zusammensetzung besteht aus mineralischen Pigmenten, die mit Zement und Wasser zu einer Lasur gemischt werden und mit Pinsel oder Schwamm aufgetragen werden können.



Abmessungen, Wasserlinie

Um die Fahreigenschaften zu testen, wurden zwei sich in den Abmessungen unterscheidenden Varianten gebaut. Das größere Kanu hat eine Länge von 5,50m und das kleinere Kanu eine Länge von 4,95m (Skalierung des Betonkanukörpers auf 90%).

Durch die unterschiedlichen Abmessungen der Betonkanus entstand die Idee auf das Gesamtgewicht der Besatzung einzugehen. Ein Test der Fahreigenschaften im Wasser hat gezeigt das eine Länge von 5,50m sehr gut im Wasser liegt.

Die **Wasserlinie** liegt jetzt je nach Gewicht der Besatzung zwischen **15 - 20cm** unter der **Bordkante**.

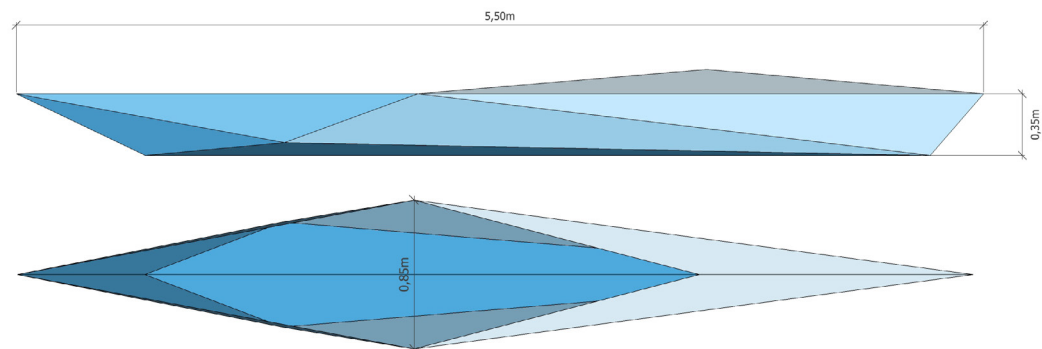
Polycutter A

Länge 5,50m

Höhe 0,35m

Breite 0,85m

Gewicht 115kg



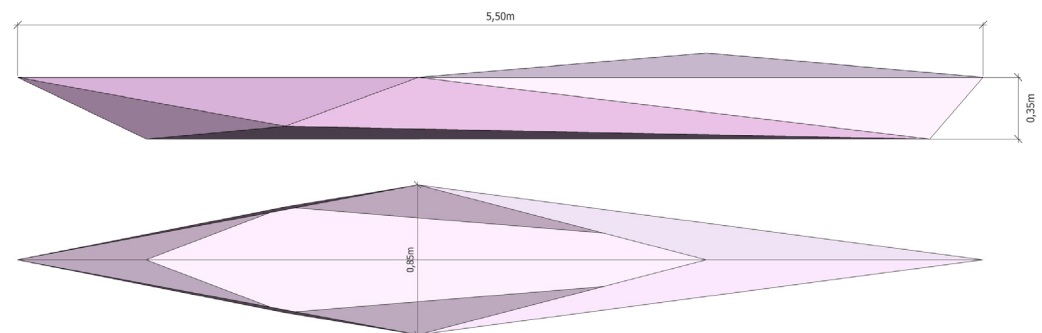
Polycutter B

Länge 5,50m

Höhe 0,35m

Breite 0,85m

Gewicht 115kg



Gewicht Betonkanu + Auftriebskörper

Relatives Gewicht des Kanu unter Wasser: $1,78\text{g/cm}^3 - 1,0\text{g/cm}^3 = 0,78\text{g/cm}^3$

Die Auftriebskörper müssen das Mehrgewicht des Kanus im Vergleich zum Wasser ausgleichen. **Der Auftrieb des Wassers in Folge der Wasserverdrängung wird vernachlässigt.**

Polycutter A

Rohdichte = 1,78, Fläche Kanu 6,50m², Wandstärke < 1cm

Gesamtgewicht Kanu = 115kg

Relatives Kanugewicht unter Wasser = 51kg

51kg + 50kg (500N Sicherheitsbeiwert) = 101kg => **1,01KN**

=> **Volumen Auftriebskörper > 0,101m³ = 101 Liter**

Polycutter B

Rohdichte = 1,78, Fläche Kanu 6,50m², Wandstärke < 1cm

Gesamtgewicht Kanu = 115kg

Relatives Kanugewicht unter Wasser = 51kg

51kg + 50kg (500N Sicherheitsbeiwert) = 101kg => **1,01KN**

=> **Volumen Auftriebskörper 0,101m³ = 101 Liter**

Der Auftriebskörper ... für das Betonkanu wird im vorderen Bereich des Kanus unter der Abdeckung plaziert.

... wird aus Polystyrol mit einem Drahtschneider in Form geschnitten und mit Polyesterharz + Gewebe geschützt.

... wird im vorderen Bereich mittels Ösen am Rumpf unter der Abdeckung fixiert.

Mischungszusammensetzung

Drei Monate vor Beginn des Kanubaus wurde begonnen, die optimale Betonmischung für ein leichtes, flexibles und dennoch belastbares Kanu experimentell zu bestimmen.

Hierfür wurden zuerst Literaturrecherchen getätigt und Hersteller der möglichen Betoninhaltsstoffe kontaktiert. Für die Voruntersuchungen wurden folgende von den Firmen zur Verfügung gestellte Stoffe ausgewählt:

| Baustoff | Sponsor |
|--|-------------------|
| Zement CEM III A / 42,5 N | Zementwerk Lübeck |
| Sand 0/2 | BASF |
| Blähglas 0,25-0,5 und 0,5-1,0 | Poraver |
| Silikastaub | SIKA |
| Silikaslurry | SIKA |
| Metakaolin | Durapact |
| Flugasche | STEAG |
| Fließmittel Viscocrete 2800 und 2900 Perfin | SIKA |
| Fließmittel Master Glenium Sky 593 und 688 | BASF |
| Textilbewehrung Carbonfaser | V. Fraas |
| Textilbewehrung Glasfaser, verschiedene Größen | Solidian |
| PVA Fasern 12 mm | Durapact |
| PVA Fasern 12 mm und 18 mm | BASF |
| Farbpigmente Blau, weiß, rot, gelb | SIKA |

Voruntersuchungen

Im Bindemittellabor der MPA Schleswig-Holstein wurden daraufhin mehr als **30 Mischungen** unterschiedlicher Mischungsverhältnisse hergestellt. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf folgende Aspekte gelegt:

1. Vergleich der Zusatzstoffe Metakaolin und Silikastaub

Ergebnis: Metakaolin bewirkt eine wesentlich hellere Farbe des Festbetons. Die Ergebnisse bei den Festmörtelprüfungen waren mit denen des Mörtels mit Silikastaub zu vergleichen oder übertrafen diese sogar. Negativ zu bewerten ist lediglich die schnelle Abbindezeit des Metakaolins.

2. Anteil der Zusatzstoffe in Verbindung mit Flugasche in Hinsicht auf Verarbeitbarkeit und Festigkeit

Ergebnis: Aufgrund der kugeligen Kornform bewirkt Flugasche eine gute Verarbeitbarkeit. Zugunsten dieser wurde daher während der Bauausführung der Anteil des Metakaolins verringert und etwas mehr Flugasche eingesetzt.

3. Vergleich der verschiedenen Fließmittel

Ergebnis: Für die Mischungszusammensetzung erwies sich insbesondere das Master Glenium Sky 593 auf PCE-Basis als sinnvoll. Bei wenig verwendetem Fließmittel wurde eine hohe Verflüssigung erreicht, sodass die Maximalzugabe von 2kg Kunststoff deutlich unterschritten wird. Positiv zu bewerten ist im Gegensatz zu den anderen Fließmitteln ein gutes Zusammenhaltevermögen, fast eine Verklebung der Betonmischung.

4. Wasserreduktion und Menge des verwendeten Fließmittel in Hinsicht auf Verarbeitbarkeit und Festigkeit.

Ergebnis: Zur Vermeidung von Schwindrissen und erhöhter Porenanzahl sollte der Wassergehalt reduziert werden. Zu beachten war insbesondere die hohe Wasseraufnahme des Blähglas, sodass der Wassergehalt an das Blähglas angepasst werden musste.

Zu erwähnen ist, dass der Wassergehalt während der Bauausführung zugunsten der Verarbeitbarkeit teilweise erhöht wurde.

5. Vergleich der PVA-Fasern und Ermittlung der erforderlichen Menge in Hinsicht auf Verarbeitbarkeit und Festigkeit

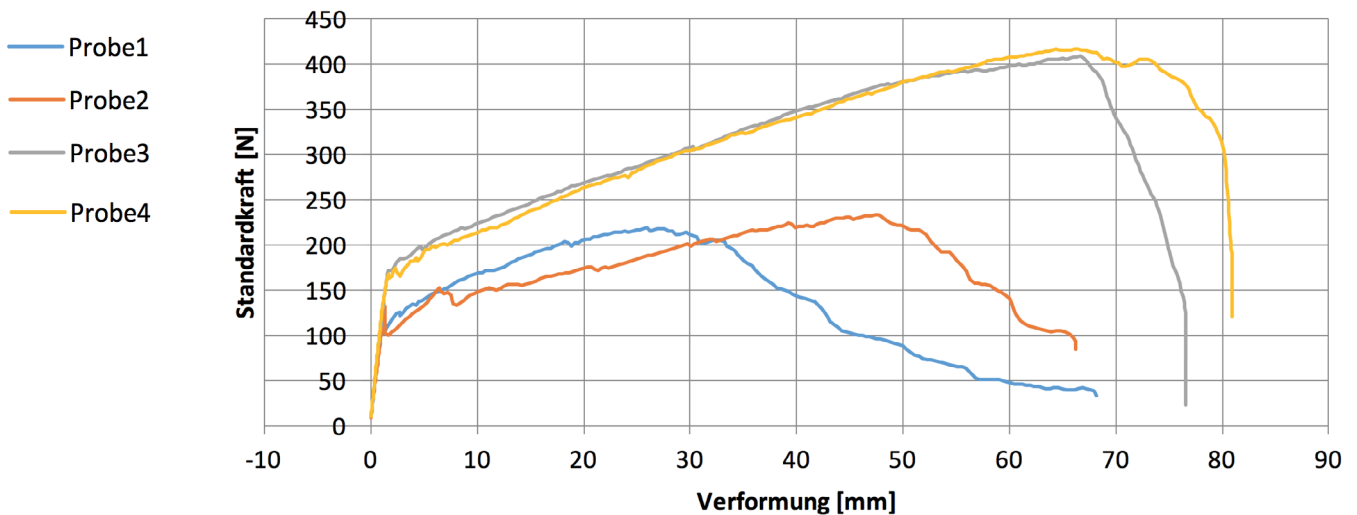
Ergebnis: Die PVA-Fasern erhöhen den Scherwiderstand im Stoffsystem erheblich und erschweren dadurch die Verarbeitbarkeit. Die ursprünglich angestrebte Menge von 40g/l wurde während der Bauausführung auf 27g/l reduziert.

Mit den Mischungen wurden Mörtelprismen (40*40*160mm) hergestellt und 7, 14 und 28 Tage unter Wasser gelagert. Während der Herstellung der Prismen wurden stets die Erstarrungsgeschwindigkeit, die Verarbeitbarkeit und das Sedimentationsverhalten dokumentiert.

Die erhärteten Mörtelprismen wurden auf Druckfestigkeit und Biegezugfestigkeit geprüft und die Mischungszusammensetzungen ausgehend von den Ergebnissen optimiert.

Mit den besten Mörtelmischungen wurden Probeplatten (10*100*500mm) hergestellt. Gleiche Mischungen wurden mit unterschiedlichen Gewebematten bewehrt und anschließend auf Biegezugfestigkeit, sodass die optimale Textilbewehrung ermittelt werden konnte.

Versuchsauswertung:



Die Proben 1 und 2 sind mit einer Carbonfasermatte bewehrt, während die Proben 3 und 4 jeweils mit verschiedenen Glasfasermatten bewehrt wurden. Obwohl Carbonfasern deutlich zugfester sind, konnten mit Glasfasermatten wesentlich höhere Biegezugfestigkeiten erzielt werden.

Somit wurde die **endgültige Mischungszusammensetzung** bestimmt und die notwendigen Mengen der Materialien endgültig von den Sponsoren bereitgestellt.

| Material | Menge [g] | Menge [cm³] |
|-----------------------|-------------|---------------|
| Zement CEM III 42,5 N | 730 | 243,3 |
| Sand 0/2 | 500 | 188,7 |
| Blähglas 0,25-0,5 mm | 165 | 235,7 |
| Metakaolin | 100 | 40 |
| Flugasche | 80 | 34,8 |
| Wasser | 260 | 260 |
| FM Glenium SKY 593 | 15 | 14,3 |
| PVA-Fasern 12 mm | 27 | 20,8 |
| Luftporen (Annahme) | - | 15 |
| Summe | 1877 | 1052,6 |

Technische Daten:

Rohdichte: 1,78

w/z-Wert: 0,38

Wasseraufnahme des Blähglas: 21 M%

Anrechenbarkeit der Zusatzstoffe:

Annahme: 40% des Zementgehaltes

w/zäquiv. –Wert: 0,28

POLYCUTTER TEAM 2017

Lehrbeauftragter Mitarbeiterin

Ing. M.A. Stefan Gruthoff
B.Eng. Mareike Thiedeitz

Studierende

Marcin Pionke
Mareike Thiedeitz
Peer Thiesen
Kai Diercks
Fabio Pfisterer
Jurij Krjazev
Lasse Drube
Steven Kaun
Lukas Radeloff
David Kristen
Dennis Hammer
Cynthia Richter
Lara Donath
Miriam Denninger
Martin Slotta
Sophie Charlotte Jörißen
Rosa Kneipke
Lina Jurga
Nora Duwe
Bettina Bastian
Jasper Lukas Magunna
Kevin Prehn

Unterstützung

Prof. Iris Marquardt
Prof. Wolfgang Linden
Prof. Heiner Lippe

Training

Jonny Hamann (Kanu Club Lübeck e.V.)



FACH
HOCHSCHULE
LÜBECK

University of Applied Sciences