

Betonkanuregatta 2017 Bewehrungsmaterialien für ein nachhaltiges Betonkanu

Maximilian Förnges¹, Nico Schwebach¹

¹Fachbereich 1, Zukunftssicher Bauen, Frankfurt University of Applied Sciences

Abstract. Bereits Ende des 19. Jahrhunderts wurde das erste schwimmfähige Fahrzeug aus Beton gefertigt. Der Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. initiierte 1986 die erste deutsche Betonkanuregatta mit der komplexen Aufgabe aus den Bestandteilen Zement, Wasser, Sand sowie Zuschlägen ein schwimmfähiges und optimiertes Kanu zu bauen. Die Herausforderung besteht darin ein leichtes und trotzdem robustes Kanu herzustellen. Prämiert werden neben dem schnellsten Boot auch die Konstruktion, Gestaltung sowie das leichteste als auch das schwerste schwimmende Kanu. Zur Realisierung dieses Projekts sind vor allem zwei Themen von besonderem Belang: Zum einen das Material an sich (die Zusammensetzung des Betons sowie die Bewehrung), zum anderen die Konstruktionsweise sowie die verwendete Schalung.

Im geplanten Forschungsprojekt sollen die Bewehrungsmöglichkeiten des zukünftigen Betonkanus für die Betonregatta 2017 im Vordergrund stehen. Bei der Realisierung der bisherigen Betonkanus spielte der Nachhaltigkeitsaspekt der verwendeten Bewehrung eine eher sekundäre Rolle. Auf diesen Gesichtspunkt wurden die folgenden Untersuchungen fokussiert.

Anhand von Laborversuchen sollen die verschiedenen Bewehrungen aus Naturfaser/-gewebe auf Biegezugfestigkeit untersucht und mit bereits getesteten Bewehrungsmaterialien verglichen werden. Unbewehrter Beton kann sehr gut Druckkräfte jedoch vergleichsweise wenig Zugkräfte aufnehmen. Dies muss die Bewehrung leisten. Grundlegende Voraussetzung ist ein guter Verbund zwischen Bewehrung und Beton, um eine gute Rissverteilung und somit ein dichtes Kanu zu erlangen. Die Auswertung der Versuche erfolgt in einer Bewertungsmatrix und soll anschließend kritisch diskutiert werden.

Ziel ist es, einen qualitativen Vergleich der untersuchten, natürlichen Armierungen mit den bereits getesteten, textilen Bewehrungen zu erarbeiten. Diese Erkenntnisse sollen als Grundlage weiterer Forschungsaspekte dienen.

Vorwort

Die grundlegende Idee bei der Entwicklung des Betonkanus liegt darin, die Bewehrung mit Naturfasern herzustellen, da der ökologische und nachhaltige Aspekt in der Vergangenheit zu selten berücksichtigt wurde. Vielmehr wurde der Schwerpunkt damals auf Textilbewehrungen wie Kunststoff-, Stahl- sowie Carbonfasern gelegt.

Allgemein dient die Bewehrung zur Verstärkung des Tragverhaltens im Verbund mit dem Beton. Beton kann Druckkräfte aufnehmen, Zug- und Biegezugkräfte müssen von einer Bewehrung aufgenommen werden.

Die Biegebruchfestigkeit stellt den Widerstand bei einer Belastung bis hin zum Versagen der Druckzone oder Zugbewehrung dar. Diese wird mittels 3-Punkt Biegezugprüfung, einer Methode der zerstörenden Werkstoffprüfung geprüft. Bei der Nutzung des Kanus treten Biegemomente insbesondere infolge hoher Einzellasten auf. Ein Teil dieser Lasten kann infolge der Verformung des Kanubodens über Zugkräfte in die Bootswandung abgeleitet werden.

Vor- und Nachteile von Naturfasern

Die Bewehrung aus Naturfasern herzustellen hat zwar einige Vorteile, wie zum Beispiel einer geringen Dichte gegenüber mineralischen Bewehrungen, jedoch erreichen die Naturfasern bei Weitem nicht so ein hohes E-Modul und damit keine so hohe Biegebruchfestigkeit im Beton, wie es andere Textilfasern tun. Zudem haben Naturfasern den Nachteil, dass sie ein hohes Feuchtigkeitsaufnahmevermögen aufweisen.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile von Naturfasern

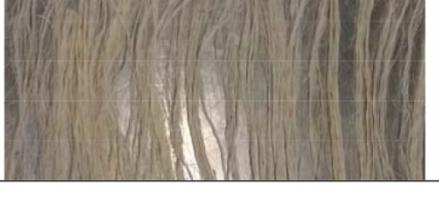
	Vorteile (+) und Nachteile (-) von Naturfasern
physikalische und chemische Eigenschaften	+ niedrige Dichte gegenüber mineral. Bewehrungen und Fasern + Resistenz gegenüber Basen bei erhöhter Temperatur - hohes Feuchtigkeitsaufnahmevermögen - vergleichsweise geringes E-Modul zu anderen Textilfasern
ökologische Eigenschaften	+ gesundheitlich unbedenklich + biologisch abbaubar + neutrale CO ₂ - Bilanz
ökonomische Eigenschaften	+ nachwachsender Rohstoff + günstiger Preis

Verwendete Bewehrungen

Für den Versuchsaufbau werden insgesamt 5 verschiedene Naturfaserbewehrungen getestet. Diese unterscheiden sich nicht nur in punkte Material sondern auch bezüglich Form. Dabei wird im Ersten Schritt vor allem Wert auf das Kriterium Tränkbarkeit gelegt.

Die beiden nachfolgenden Tabellen sollen einen Überblick der einzelnen Naturbewehrungen geben sowie das Tränkverhalten darstellen

Tabelle 2: verwendete Bewehrungen

Jute Gewebeband, 70mm breit	
Baumwolle Gurtband, 20mm breit	
Sisal Faser, ungeordnet	
Sisal Vielzweck-Seil, 3 Litzengedreht, Ø 6mm	
Sisal Vielzweck-Seil, einzelne Faserstränge	

Bewertung der Tränkbarkeit der Bewehrung

Die Tränkbarkeit der einzelnen Bewehrungen wird in der nachfolgenden Tabelle übersichtlich dargestellt.

Je nach Material, Form sowie Struktur der Bewehrungen, lassen diese sich unterschiedlich gut Tränken. Das Jute Gewebeband schneidet hierbei am besten ab. Dies liegt vor allem an seiner gleichmäßigen Struktur, die das 7,0 cm breite Band besitzt. Aber auch die beiden Materialien aus dem Stoff Sisal lassen sich gut tränken, insbesondere sehr gut in die Schalung legen.

Tabelle 3: Bewertung der Tränkbarkeit

Probenbezeichnung	Bewertung der Tränkbarkeit			
	schlecht	mittelmäßig	gut	sehr gut
Jute Gewebeband, ca.7,0 cm breit				x
Baumwolle Gurtband, 20 mm breit		x		
Sisal Faser, ungeordnet			x	
Sisal Vielzweck-Seil, 3 Litzen gedreht, Ø 6 mm	-	-	-	-
Sisal Vielzweck-Seil, einzelne Faserstränge			x	

Verwendeter Beton

Bei der Zusammensetzung des Betons wird sich an der Betonrezeptur des damaligen Betonteams „Pendulus Caementum“ orientiert. Der Beton ist bereits hinsichtlich seiner Festigkeit, seines Verbundverhaltens sowie seiner Verarbeitbarkeit optimiert. Anstatt dem damals verwendeten Quarzmehl >0,09mm wird diesmal aufgrund der zur Verfügung stehenden Materialien ein Quarzmehl <0,09mm benutzt.

Dadurch wird der Beton sehr steif, sodass der Anteil an Fließmittel von 0,7 auf 1,05 % v.Z. erhöht wird.

Der Grund dafür ist das feinere Quarzmehl, welches den Oberflächenanteil und die damit verbundene Gefügedichtheit erhöht, was mit Hilfe des Fließmittels Sika ViscoCrete 1050 wieder kompensiert wird.

Tabelle 4: Betonzusammensetzung

Art/Bestandteil	kg/m ³	g / 2 dm ³
Zement CE M III / A 42,5 N	950,0	1900,0
Wasser	389,5	779,0
Steinkohlenflugasche	237,5	475,0
Quarzmehl <0,09mm	465,1	930,2
w/z-Wert	0,41	0,41
FM Sika ViscoCrete 1050	1,05 % v.Z.	1,05 % v.Z.

Tabelle 5: Eigenschaften des Betons

+ max. Fließfähigkeit
+ thixotropes Verhalten (<u>Viskosität</u> nimmt infolge andauernder mechanischer Beanspruchung ab und erst nach beendigter Beanspruchung wieder zu)
+ Entmischungsstabilität
+ dichtes Gefüge
o Hochleistungsbeton = nahezu seine Grenzen erreicht

Versuchsaufbau

Um herauszufinden, wie die Bewehrungen aus Naturfasern in Verbindung mit Beton bezüglich Verbund-, Erhärtungs- und als auch Biegezugfestigkeitsverhalten reagieren, wurden am 24.05.16 sowie am 31.05.16 jeweils 12 Probekörper aus Beton hergestellt. Hierbei unterscheiden sich die beiden Betonagen in erster Linie in der Vorbehandlung der Bewehrung. Die Armierung wurde bei der ersten Betonage ohne größere Vorbehandlung ungetränkt auf die Abmessungen der Schalung (30 cm x 10 cm x 1,2-1,5 mm) angepasst und hineingelegt. Beim zweiten Betonieren am 31.05.16 wurde die Bewehrung zuvor in Zementleim getränkt und anschließend ebenfalls in die Holzschalung gelegt.

Durch das Tränken wurde dem Feuchtigkeitsaufnahmevermögen aus der ersten Betonage erfolgreich entgegengewirkt.

Bei der Herstellung des Betons ist einerseits die Reihenfolge der Zugabe der einzelnen Ausgangsstoffe wichtig, andererseits die Mischzeit.

Zuerst kommt das Wasser mit dem Fließmittel in den Mischer. Anschließend kommen der Zement sowie das Quarzmehl hinein. Zuletzt wird noch die Flugasche hinzugegeben. Diese sorgt unter anderem dafür, dass die Hydratationswärme bei dem verwendeten „Hightech-Beton“ nicht zu hoch wird. Damit später keine Risse an der Oberfläche entstehen, wird der Beton hinsichtlich Nachbehandlung anfangs noch regelmäßig mit Wasser besprüht.

1 Woche nach Herstellung wurde der Beton ausgeschalt. 10 Tage später wurde er hinsichtlich Biegezugfestigkeit, Verbundverhalten und Erhärtungsverhalten geprüft.

Ergebnis

Im ersten Schritt der Auswertung werden alle diesjährigen Versuche mit Naturfasern in der nachfolgenden Bewertungsmatrix zusammengefasst. Anhand dieser Bewertungsmatrix und den dazugehörigen Kräfteverlauf der 3-Punkt Biegezugprüfung wird das Material mit dem größten Potential gewählt. Dabei kommt es nicht ausschließlich darauf an welche Naturfasern die größten Kräfte [N] erreichen, sondern vielmehr darauf, wie der Kräfteverlauf der einzelnen Graphen aussieht.

Tabelle 5: Bewertungsmatrix Naturfasern, 3-Punkt Biegezugprüfung

		Herstellungsdatum	Prüfdatum	Material	Vorgehen	F max N	dL bei Fmax mm	Dicke mm	F bei erstem Riss
B	1	24.05.2016	03.06.2016	Jute Gewebeband, ca. 7,0 cm breit	ungetränkt	310,322	0,557	9,5	310
	2					208,774	0,323	9,5	208
	3					153,768	0,298	9,5	153
B'	1	31.05.2016	10.06.2016		getränkt	131,923	0,366	9,5	131
	2					93,6073	0,513	9,5	93
	3					142,055	0,931	9,5	142
G	1	24.05.2016	24.05.2016	Baumwolle Gurtband, 20 mm breit	ungeklärt	121,001	0,638	9,5	121
	2					116,493	0,585	9,5	116
G'	1	31.05.2016	10.06.2016		getränkt	179,606	1,013	9,5	179
	2					155,484	0,390	9,5	155
	3					150,084	0,403	9,5	150
H	1	24.05.2016	03.06.2016	Sisal Faser, ungeordnet	ungetränkt	187,459	0,868	9,5	187
	2					159,757	0,455	9,5	159
	3					224,213	1,509	9,5	224
H'	1	31.05.2016	10.06.2016		getränkt	148,725	0,460	9,5	148
	2					178,867	5,746	9,5	176
	3					156,16	6,415	9,5	119
S	1	24.05.2016	03.06.2016	Sisal Vielzweck-Seil	ungetränkt	158,042	0,473	9,5	158
	2					244,497	1,578	9,5	244
	3					184,33	1,430	9,5	184
S'	1	31.05.2016	10.06.2016	Sisal Vielzweck-Seil, einzelne Faserstränge	getränkt	85,2996	5,783	9,5	59
	2					277,113	21,046	9,5	128
	3					171,307	11,081	9,5	103

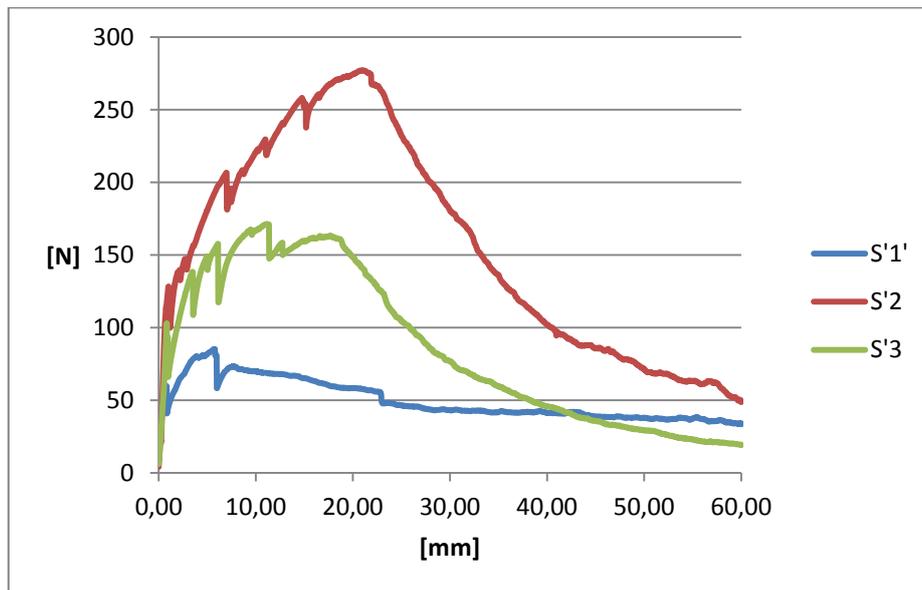
Die Variante „Sisal Vielzweck-Seil aus einzelnen Fasersträngen“ wurde zu dem Material mit dem größten Potential gewählt. Beginnend beim Tränkverhalten, bis hin zur Verarbeitung mit dem Beton besitzt das Material sehr gute Eigenschaften. Vor allem aber der Verlauf der Graphen im 3-Punkt Biegezugversuch macht deutlich, dass die einzelnen Sisal Faserstränge für ein Betonkanu ausreichend hohe Biegezugkräfte aufnehmen können. Zudem geben die Graphen das gute Nachbruchverhalten wieder. Dies wird daran deutlich, dass die Graphen auch nach den ersten Ausbrüchen noch weiter ansteigen. Bei den 3 Versuchen mit dem Sisal Vielzweck-Seil aus einzelnen Fasersträngen gibt es auch einen Wert S'1, welcher sich weit unterhalb der anderen

beiden Werte befindet. Dieser ist jedoch auf das ungleichmäßige Verlegen der Fasern sowie der Einhaltung eines bestimmten Fasergehaltes zurückzuführen.

Dadurch befanden sich an manchen Stellen keinerlei Fasern, welche die hohen Biegezugkräfte aufnehmen konnten.

Würde man also die Fasern noch wesentlich kompakter und orientierter verlegen, so ist eine Steigerung der in diesem Jahr erzielten Werte problemlos möglich.

Abbildung 1: 3-Punkt Biegezugprüfung, Sisal Vielzweck-Seil aus einzelnen Fasersträngen



Auch das Jute Gewebeband erreicht sehr gute Ergebnisse hinsichtlich Tränkverhalten sowie 3-Punkt Biegezugprüfung. Jedoch ist das Nachbruchverhalten etwas schlechter, als bei den einzelnen Sisal Fasersträngen. Auch beim Verlegen in die Schalung ist das Gewebeband wesentlich unflexibler. Durch ein kompakteres Verlegen des Gewebebandes wäre eine dünnwandige Schalung (4-8mm) nahezu ausgeschlossen.

Völlig enttäuschend ist das Baumwolle Gurtband. Es erreicht weder hohe Maximalwerte, noch weist es ein gutes Nachbruchverhalten auf. Der Verbund zum Beton ist trotz Vorbehandlung ungenügend.

Das Sisal Vielzweck-Seil erreicht zwar gute Werte, ist jedoch mit seinen 6mm Durchmesser ungeeignet für ein dünnwandiges Betonkanu.

Die ungeordneten Sisal Fasern weisen ein gutes Gesamtpaket und damit ein ähnlich gutes Potential wie die einzelnen Sisal Faserstränge auf. Einziger Nachteil ist, dass sich das Verlegen der ungeordneten Fasern schwieriger gestaltet.

Vergleich der diesjährigen getesteten Naturfaserbewehrung mit dem größten Potential gegenüber interner Arbeiten aus den vergangenen Jahren

Um die diesjährigen getesteten Bewehrungen mit Naturfasern mit anderen internen Projekten vergleichen zu können, werden Projekte aus der Vergangenheit herangezogen, die hinsichtlich Abmessungen der Prüfkörper, Betonzusammensetzung, Verlegen der Bewehrung sowie dem Material „Naturfaser“ vergleichbar sind.

Bei dem Projekt „Pendulus Caementum“, welches aus dem Jahre 2015 stammt, wurde nahezu die gleiche Betonrezeptur wie bei den diesjährigen Versuchen verwendet. Die Projektgruppe „Pendulus Caementum“ arbeitete damals mit Carbonfasergewebe. Im Projekt Inox FEinstein aus dem Jahre 1998 wurde mit Stahlwolle gearbeitet. Dabei wurde die Stahlwolle so dicht verpresst, dass der Beton mittels Injektionsverfahren in die doppelwandige Schalung eingebracht werden musste. Da dieses Verfahren für zukünftige Versuche mit Naturfasern ebenfalls in Frage kommt, wird auch dieses Projekt zum Vergleich herangezogen.

Schließlich werden noch 3-Punkt Biegezugprüfungen mit Hanf und Flachs aus dem Jahre 2008 untersucht, um so vergleichbare Ergebnisse mit Naturfaserbewehrungen zu bekommen.

Die nachfolgende Tabelle soll die wichtigsten Merkmale als auch Eigenschaften der beiden damaligen Projekte „Pendulus Caementum“ sowie „Inox FEinstein“ zeigen. Im Anschluss daran werden anhand einer weiteren Bewertungsmatrix die Ergebnisse der 3-Punkt Biegezugprüfungen der damaligen Projekten, mit den Ergebnissen des diesjährig getesteten Sisal Vielzweck-Seils aus einzelnen Fasersträngen verglichen.

Tabelle 6: Merkmale und Eigenschaften vergangener interner Arbeiten

Material / Projekt	Merkmale und Eigenschaften des jeweiligen Projektes
<p style="text-align: center;">Inox FEinstein (Stahlwollbeton/Stahlfaserbeton, 1998)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gepresste Stahlwolle / Stahlfasern als Bewehrung • Verpressen des Zementleims mittels Injektionsverfahren • Doppelwandiger Schalungsaufbau aufgrund des erforderlichen Anpressdruckes → Minimierung der Wanddicke • gute Verformbarkeit bei hoher Beanspruchung (Duktilität) durch gerichteten Faserverlauf • hervorragende Rissbreitenbeschränkung • feine Rissverteilung aufgrund eines geringen Faserdurchmessers (nicht / kaum sichtbar) • Fasern: biegsam, Durchmesser < 0,1 mm, Verhältnis Länge/Durchmesser: >1000 • hohe Zugfestigkeit sowie Zähigkeit
<p style="text-align: center;">Pendulus Caementum (Carbongewebe, 2015)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Carbongewebe als Bewehrung • Proben des Carbongewebes wurden mit einem lösemittelfreien Epoxidharz bestrichen und anschließend mit verschiedenen Sanden unterschiedlicher Art und Korngrößen bestreut → besserer Verbund zwischen Beton und Bewehrung • schalungsfreie, hängende Kanuherstellung • dichtes, kapillarporenarmes Gefüge • eine optimale Fließfähigkeit • eine ausreichende Verarbeitbarkeitszeit • hohe Druckfestigkeiten • sehr gut gegen Wasser → korrodiert nicht • gutes Temperaturverhalten • sehr gutes Nachbruchsverhalten

Tabelle 7: Bewertungsmatrix Sisal Vielzweck-Seils aus einzelnen Fasersträngen mit vergangener interner Arbeiten

Material / Projekt	Prüfalter [d]	Bezeichnung der Probe	Abmessungen Prüfkörper			F _{max} [N]	Durchbiegung [mm]	F bei erstem Riss [N]	Durchbiegung [mm]
			Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]				
Sisal Vielzweck-Seil, einzelne Faserstränge (Naturfaser, 2016)	10	S'1			5,8	85,2996	5,78301	59,218	0,5236
		S'2	300	100	7,2	277,113	21,0460	128,564	0,9411
		S'3			6,4	171,307	11,0806	103,099	0,8162
Inox FEinstein (Stahlwollbeton/Stahlfaserbeton, 1998)	28	3 Vol.-%	320	100	8,4	41,536	13,6014	41,536	13,6014
		6 Vol.-%				74,208	13,69112	74,208	13,69112
		8 Vol.-%				74,913	11,2891	74,913	11,2891
Pendulus Caementum (Carbongewebe, 2015)	ca. 7-10	M16-I	300	100	5,3	175,42	19,9051	44,801	0,7152
		M16-II				229,532	21,4053	82,9788	0,6504
		M16-III				227,169	21,3211	42,451	0,6934
		M16-IV				159,523	20,2952	36,292	0,6931
Weitere Biegezugversuche aus Naturfasern (2008)	28	Hanf	300	100	9,3	360	13,012	233,898	3,905
		Flachs	300	100	9,7	177	8,911	138,234	2,621

Die Bewertungsmatrix zeigt, dass die in diesem Jahr mit Naturfasern erzielten Ergebnisse absolut ausreichend für ein schwimmfähiges Betonkanu sind.

In punkto aufnehmbare Maximalkraft F_{max} erzielt nur der damalige Versuch mit Hanf höhere Werte. Dabei ist zu beachten, dass der Prüfkörper mit Hanf 30% dicker ist, wie die diesjährigen Prüfkörper.

Das Team „Pendulus Caementum“ erreicht ebenfalls sehr gute Ergebnisse und das mit nur 5,3mm dicken Prüfkörpern.

Die Gruppe „Inox FEinstein“ erreicht laut Matrix nicht so hohe Ergebnisse wie die anderen Gruppen. Jedoch wurde bei den Versuchen vor 18 Jahren auch eine andere Betonrezeptur verwendet. Mit einer ähnlichen Rezeptur wie sie die letzten beiden Jahre verwendet wurde, lassen sich auch hier vermutlich noch höhere Werte erreichen.

Bei der Auswertung der Gruppe „Inox FEinstein“ ist sehr schön zu erkennen, dass die aufnehmbare Kraft mit zunehmendem Fasergehalt zunimmt. Bei einem Fasergehalt von > 6 Vol.-% ist eine Zunahme der aufnehmbaren Kraft nur noch sehr gering.

Um noch höhere und vor allem gleichmäßigere Werte bei den in diesem Jahr durchgeführten Biegezugprüfungen erreichen zu können, müssen die Faserstränge ähnlich wie bei dem Projekt „Inox FEinstein“ wesentlich orientierter und kompakter in der Schalung verlegt / gepresst werden. Dadurch besteht die Möglichkeit einen ähnlich hohen Naturfaser-Vol.-% Anteil wie bei dem Projekt „Inox FEinstein“ zu erreichen. Das Einbringen der Feinstzementsuspension würde dann über handelsübliche Packersysteme (Einfüllstutzen) und Injektionspressen erfolgen.

Hierbei ist eine doppelwandige Schalung aufgrund des erforderlichen Anpressdruckes vonnöten.

Nachteil dieses Verfahrens ist jedoch, dass es ziemlich aufwendig ist. Zudem lässt sich diese Vorgehensweise nach aktuellem Forschungsstand unmöglich mit dem aktuellen Schalungsentwurf der Konstruktionsgruppe SoSe 2016 kombinieren, da diese eine Positiv-Schalung aus Ton herstellen.

Verzichtet man auf das Injektionsverfahren und damit auf einen Fasergehalt von bis zu 8 Vol.-%, so kann man die Positiv-Schalung der Konstruktionsgruppe SoSe 2016 wieder in Betracht ziehen. Mit Hilfe der Positiv-Schalung kann man dann die einzelnen getränkten Faserstränge in Kombination mit Beton auftragen und so eine gleichmäßige Faserverteilung herstellen. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass sehr dünnwandige, dennoch mit ausreichenden Naturfasern bestückte Wandungen hergestellt werden können. Zudem ist diese Vorgehensweise unkompliziert.

Fazit

Die umfangreichen Untersuchungen haben ergeben, dass Bewehrungen mit Naturfasern sehr gute Ergebnisse erzielen. Neben den erreichten Biegezugfestigkeiten, liefern die Naturbewehrungen in den Punkten Verarbeitbarkeit, Verbund sowie Erhärtungsgeschwindigkeit gute Resultate für die Herstellung eines schwimmfähigen Betonkanals.

Mit entsprechendem Verarbeitungsaufwand dieser nachhaltigen Bewehrungsvariante können ähnliche Werte erzielt werden, wie es mit textiler Bewehrung möglich ist.

Ausblick

Im nächsten Schritt sollte zunächst eine Versuchsreihe mit unterschiedlichen Fasergehalten erstellt werden, um so den optimalen Fasergehalt herauszufinden. Die auf diesem Ergebnis aufbauenden Untersuchungen sollen sich mit dem optimierten Fasergehalt sowie der Positiv-Schalung der Konstruktionsgruppe SoSe 2016 beschäftigen.

Bezüglich einer bauökologischen Bewertung kann anschließend eine Ökobilanz sowie eine dazugehörige Lebenszyklusanalyse erstellt werden. Bisher wurden lediglich die Vor- und Nachteile von Naturbewehrungen zusammengefasst.

Literaturnachweise

S:\bauingenieurwesen\Prof. Dr. R.-R. Schulz\Ingenieurprojekt Betonkanal

<http://www.ecco-fibre.net/de/fasern/89-fasern/114-vorteile-pflanzlicher-naturfasern.html>