

„Sancho & Pancho“ – zwei Betonkanus in Grün

Von Carolyn Fuchs, Sebastian Stein und Gerd Häselbarth, Weimar

1 Einleitung

Wenn man von Betonkanus berichtet, stößt man in der Öffentlichkeit oft nur auf Verwunderung, fragende Gesichter und ungläubiges Kopfschütteln. Kann Beton schwimmen? Nur 3 mm Wanddicke?

Um zu zeigen, dass Beton auch Möglichkeiten bietet, die über tragende Konstruktionen wie Stützen, Wand- und Deckenelemente hinaus gehen, veranstaltet der Bundesverband der Deutschen Zementindustrie gemeinsam mit den regionalen Beton-Marketing-Gesellschaften im Zwei-Jahres-Rhythmus die Deutsche Betonkanu-Regatta an wechselnden Orten. Im Juni 2005 fand sie zum 10. Mal statt, diesmal in Heidelberg auf dem Neckar (Bild 1 und 2). In 46 Betonkanus und 8 Wasserfahr-

zeugen der Offenen Klasse gingen rund 700 Teilnehmer für 37 Institutionen (Hochschulen, Fachhochschulen und Ausbildungsstätten) an den Start.

Die Bauhaus-Universität Weimar nahm mit einer Damen- und zwei Herrenmannschaften an den Wettbewerben teil. Im Vorfeld hatte ein achtköpfiges Studenten-Team zwei optisch ansprechende und qualitativ hochwertige Kanus aus grünem Beton gebaut. Die Farbe war in Anlehnung an die Hausfarbe der Bauhaus-Universität Weimar gewählt worden und inspirierte die Studenten – zusammen mit dem „Lebensraum“ Wasser – zu den Namen der beiden ungewöhnlichen Gefährten: Nach zwei bekannten Fröschen aus einer Trickfilmserie wurden sie „Sancho“ und „Pancho“ genannt (Bild 3).



Bild 2: Teilnehmerplakette

2 Zielstellung

Bei der Entwicklung der Konstruktion wurde Wert gelegt auf Schnelligkeit und Wendigkeit der Boote einerseits sowie auf einen Kompromiss zwischen einem möglichst geringen Gewicht und maximaler Festigkeit andererseits.

Die Wandung der Boote, die auch die überwiegende Menge des Betons erfordert, muss in der Praxis sowohl während des Transports als auch im Verlauf des Rennens die Hauptbeanspruchungen aus Last und Stößen und durch den Kontakt mit Wasser aufnehmen. Neben den Mörtel-eigenschaften sind für die maximal aufzunehmende Last noch andere Faktoren verantwortlich; z.B. hat die Form von Bug, Heck und Rumpf aufgrund statischer Gegebenheiten ebenfalls eine Erhöhung der maximalen Last zur Folge.

Im Zusammenspiel zwischen Form und Beton (aufgrund des geringen Größtkorns technisch richtig: Mörtel) wurden also bezüglich der Materialeigenschaften besondere Anforderungen an die Betonkanus gestellt, so z.B.:

- möglichst geringes Gesamtgewicht,
- gute Festbetoneigenschaften und damit verbundene hohe Biege-Bruch-Festigkeit,



Foto: Steffen Fuchs, HeidelbergCement

Bild 1: Buntres Treiben bei der 10. Betonkanu-Regatta in Heidelberg



Bild 3: Sancho und Pancho warten auf ihren Einsatz.

- hohe Dichtigkeit trotz geringster Wanddicke,
- glatte, fehler- und lunkerfreie sowie einheitlich durchgefärbte Oberflächen (für einen möglichst geringen Strömungswiderstand im Wasser und eine ansprechende Ästhetik),
- eine symmetrische Form für gutes Fahrverhalten.

2.1 Kanugewicht

Eine möglichst große Gewichtsreduzierung erreicht man mit einer geringen Rohdichte des Leichtmörtels.

Doch auch die handwerklichen Fähigkeiten und Arbeitstechniken der Bootsbauer spielen eine große Rolle. Entscheidend sind dabei die minimale und konstante Schichtdicke der Bootswand, eine komplette Umhüllung der Bewehrung mit Mörtel, das lunkerfreie Verdichten und die filigrane Ausbildung der Randelemente.

Für die maximal mögliche Reduzierung der Schichtdicke und die damit verbundene Gewichtseinsparung ist es erforderlich, dass der Zement-

mörtel eine ausreichende Festigkeit aufweist.

2.2 Biege-Bruch-Festigkeit

Eine hohe Biege-Bruch-Festigkeit bei dem dünnwandigen Bootskörper ist nur im Zusammenwirken von Mörtel und Bewehrung erreichbar. Sie stellt den Widerstand bei einer Belastung bis hin zum Versagen der Druckzone oder Zugbewehrung dar. Bei der Nutzung des Kanus treten Biegemomente infolge hoher Einzellasten auf. Ein Teil dieser Lasten wird infolge der Verformung des Kanubodens über Zugkräfte in die Bootswandung abgeleitet.

Kontrollierte Verformung, geprägt durch die verwendete Bewehrung, führt zu einer Verteilung der Risse sowie zur Eingrenzung der Rissweiten im Fall einer Überbeanspruchung – die Biege-Bruch-Festigkeit steigt. Bewehrungsart, Einbautechnologie und Bewehrungsgrad sind so abzustimmen, dass sich bei Belastung der Kanuwandung keine großen, sondern nur kleine und damit unschädliche Risse im Rissbild zeigen.

2.3 Dichtigkeit

Bei der Dichtigkeit der Bootsaußenhaut spielen verschiedene Einflussfaktoren eine Rolle. Ziel war es, einen wasserundurchlässigen Mörtel zu entwickeln, der auch einen möglichst hohen Widerstand gegen drückendes Wasser aufweist. Dafür sind die makroskopische und die mikroskopische Dichtigkeit wichtige Grundvoraussetzungen.

Für die makroskopische Wasserundurchlässigkeit ist die Gefügedichtigkeit des Betons von großer Bedeutung. Eine Bootswand muss also frei von Verdichtungssporen, Lunkern, Luftblasen oder frei liegender Bewehrung sein.

Der Grad der mikroskopischen Wasserundurchlässigkeit ist abhängig von der Dichtigkeit des Zementsteins und dem damit verbundenen Kapillarporenanteil, der Vermeidung von Schwindrissen durch eine ausreichend lange Nachbehandlung sowie der Minimierung von Verformungsrisse infolge Last [1].

2.4 Glatte Oberflächen

Die Oberflächen der Bootswandungen müssen glatt sein, um den Strömungswiderstand zu minimieren. Darüber hinaus ist die Dichtigkeit wichtig, um trotz der geringen Wanddicke die Wasserundurchlässigkeit sicherzustellen. Die Erfüllung dieser Anforderungen hängt im Wesentlichen von der Verarbeitbarkeit und vom Zusammenhaltevermögen des Betons ab.

Für den Einbau des Betons im vorgesehenen Spachtelverfahren war eine bestimmte Klebrigkeit/Zähigkeit erforderlich. Außerdem sollte das Zusammenhaltevermögen verbessert und die Entmischungsneigung an den Bootswandungen beim Einbau reduziert werden. Das Misch-

verfahren und die Mischzeit mussten die gleichmäßige Verteilung der Farbpigmente im Beton sicherstellen.

3 Ausgangsstoffe

3.1 Zement

Um den Baustoff Beton so modifizieren zu können, dass dieser allen Anforderungen an den Frischbeton (gute Verarbeitbarkeit und Formbarkeit) und an den Festbeton (Wasserundurchlässigkeit, Festigkeit und Elastizität) genüge, wurde ein Hochofenzement verwendet. Dieser zeichnet sich dadurch aus, dass er im Beton hohe Druck- und Biegezugfestigkeiten entwickelt. Außerdem bewirkt er durch seinen günstigen Hellbezugswert bei eingefärbten Betonen eine besondere Farbintensität.

Ursprüngliche Einsatzgebiete dieses Zements sind Instandsetzungsarbeiten an historischen Bauwerken in Beton oder anspruchsvolle Bauteile im Stadtbild, wie zum Beispiel Spielkunstobjekte in Dessau oder ein Springbrunnen in Berlin [2].

Für den Bau der Bootskörper wurde ein Hochofenzement CEM III/A 42,5 N verwendet, der neben der erforderlichen hohen Frühfestigkeit bei gleichzeitig moderater Festigkeitsentwicklung auch gute rheologische Eigenschaften aufwies, wie Wasserrückhaltevermögen und ausreichend lange Verarbeitbarkeitszeit, wobei Konsistenzen von steif/plastischen bis hin zu fließfähigen Betonen möglich waren. Der verwendete CEM III/A 42,5 N mit einer Dichte von $3,0 \text{ g/cm}^3$ hatte eine Mahlfineinheit, gemessen nach Blaine, von $5.000 \text{ cm}^2/\text{g}$ [2].

3.2 Gesteinskörnung

3.2.1 Sand

Als Sand wurde Rheinsand mit einer Dichte von $2,6 \text{ g/cm}^3$ in einer Fraktion bis $0,5 \text{ mm}$ verwendet. Aufgrund der feinen Körnung begünstigte der Sand die Verarbeitung des Frischbetons (richtiger: Frischmörtel) hinsichtlich seiner Streichfähigkeit und der Umhüllung der Bewehrung.

3.2.2 Blähglas

Die für den Beton verwendete leichte „Gesteinskörnung“ war ein künstlich hergestelltes Blähglas (Liaver®), das durch Aufblähen und Sintern von Glas – überwiegend Altglas – im Drehrohrofen erzeugt wird. Dabei erhält das Blähglas eine poröse Struktur im Korninneren und eine weitestgehend geschlossene Kornoberfläche. Geringes Saugvermögen ist Voraussetzung für lange Verarbeitungszeiten und gleich bleibende Konsistenz des Frischbetons. Verwendet wurde eine Kornfraktion $0,25/0,5$ mit einer Dichte von $0,54 \text{ g/cm}^3$ (Bild 4).

3.3 Zusatzstoffe

3.3.1 Gesteinsmehl

Als feines Gesteinsmehl wurde ein weißes, natürliches, feinkristallines Kalzium-Magnesium-Carbonat mit einer Dichte von $2,72 \text{ g/cm}^3$ eingesetzt. Es diente als Füllstoff im Betongefüge, um die Hohlräume und den Kapillarporenanteil zu reduzieren.



Bild 4: Blähglas

3.3.2 Mikrosilica

Mikrosilica wurde beim Kanubau als Suspension mit etwa 50 M.-% Trockensubstanz und 50 M.-% Wasser eingesetzt. Es besteht im Allgemeinen zu 90% aus hochreaktiver, glasig erstarrter Kieselsäure. Dieser puzzolische Stoff (gemäß DIN EN 206-1 ein reaktiver Zusatzstoff Typ II) bewirkte beim Frischbeton eine Zunahme der Klebrigkeit und des Wasserrückhaltevermögens sowie beim Festbeton eine erhöhte Festigkeit und verbesserte Wasserundurchlässigkeit. Die Suspension besaß eine Dichte von $1,4 \text{ g/cm}^3$.

3.3.3 Farbpigmente

Zur Einfärbung der Boote in ein sattes Grün wurde Chromoxid mit einer Dichte von $1,6 \text{ g/cm}^3$ mit der empfohlenen Dosiermenge von 4 kg/m^3 Beton eingesetzt.

3.3.4 Glasfasern

Zur Verbesserung des Zusammenhaltevermögens des Frischbetons, zur Erhöhung der Biegezugfestigkeit des Festbetons, vor allem aber um die Rissweiten zu begrenzen wurden dem Beton Glasfasern mit einer Länge von 6 mm und einer Dichte von $2,68 \text{ g/cm}^3$ zugegeben.

3.4 Zusatzmittel

3.4.1 Fließmittel

Zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit und des Fließverhaltens wurde für die Betonmischung ein Fließmittel auf der Basis von Polycarboxylat-ether eingesetzt. Die Dichte des Fließmittels lag bei $1,04 \text{ g/cm}^3$, der empfohlene Dosierbereich zwischen $0,2 \text{ M.-%}$ und $2,5 \text{ M.-%}$, bezogen auf das Zementgewicht.

3.4.2 Verzögerer

Um die Verarbeitbarkeitszeit gezielt den Erfordernissen anzupassen, wurde ein Verzögerer auf Phosphatbasis verwendet. Er beeinflusste die Reak-



Bild 5: Bewehrungslagen aus alkaliresistenten Glasfasern

tion der C_3A -Phasen und hemmte somit die normale Hydratation des Zements. Der Verzögerer besaß eine Dichte von $1,15 \text{ g/cm}^3$.

3.5 Bewehrung

Als Hauptzugbewehrung wurden zwei biaxiale, alkaliresistente Glasfasermatten mit einer Querbruchkraft von 15 kN/m und 35 kN/m verwendet (Bild 5). Zusätzlich wirkten Einzelglasfasern (Abschnitt 3.3.4), die zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit und zur Erhöhung der Biegezugfestigkeit zugegeben wurden.

4 Mischungsoptimierung

4.1 Vorbehandlung des Blähglases

Laut Herstellerangaben besitzt Blähglas eine sehr glatte und dichte Oberfläche und somit ein geringes Saugvermögen.

Bei genauerer Untersuchung der äußeren Hülle unter dem Stereomikroskop zeigten sich jedoch zahlreiche Durchbrüche an den Korngrenzen, die das Wasseraufnahmevermögen begünstigten. Weiterhin war aufgrund des Herstellungsprozesses auch ein offener innerer Porenraum zu erkennen. Diese poröse Struktur des Korns steigerte das Saugvermögen ebenfalls. Die durchschnittlich aufgenommene Wassermenge lag bei 30 M.-% , bezogen auf den Blähglasgehalt.

Um zu vermeiden, dass das poröse Blähglas dem Mörtel einen entsprechenden Wasseranteil entzog und dadurch Konsistenz und Verarbeitbarkeit ungünstig beeinflusste, wurde das Blähglas wie folgt vorbehandelt:

Ungefähr eine halbe Stunde vor dem Mischvorgang wurde das Blähglas mit der zuvor ermittelten Menge Zusatzwasser fünf Minuten gemischt und anschließend bis zur Verarbeitung in einem luftdichten Gefäß aufbewahrt.

Nur durch diese Vorbehandlung zur Sättigung des Blähglases mit zusätzlichem Wasser stand das für einen w/z -Wert = $0,33$ berechnete Zugabewasser der Mörtelmischung auch tatsächlich zur Verfügung. So konnte eine gleich bleibende Konsistenz des Frischbetons auch über einen längeren Zeitraum sichergestellt werden.

4.2 Optimierung der Mörtelmischung

Aus Vorversuchen [3], in denen der gewählte CEM III/A 42,5 N mit einer hohen Mahlfeinheit in Normalmörteln eingesetzt wurde, ergaben sich die erwarteten guten Ergebnisse. Somit sprach alles für den Einsatz des Hochofenzements. Lediglich der augenscheinlich fehlende Feinanteil sowie die fehlende Klebrigkeit galt es für den Bootsmörtel noch zu verbessern, da diese für eine möglichst geringe Wanddicke sowie eine gute Haftung des Mörtels an Spachtel und Trennschicht der Schalung eine große Rolle spielten.

Um eine für die Betonkanus optimale Mischung herauszufinden, wurden im Vergleich zum Ausgangsmörtel verschiedene Mörtelmodifizierungen mit unterschiedlichen Zusammensetzungen untersucht. Dabei wurden folgende Parameter verändert:

- Erhöhung des Zementgehalts,
- Reduzierung des Größtkorns von Sand und Blähglas,
- Einstellen des Fließmittelanteils,
- Zugabe von Mikrosilica und Quarzsand,
- Verwendung von Farbpigmenten.

Tafel 1 zeigt vier Mörtelzusammensetzungen, die aus allen Testmischungen ausgewählt wurden. Dabei entsprachen die Eigenschaften von Mischung M_{0c4} am besten den vorgegebenen Anforderungen. Vor allem die sehr gute Verarbeitbarkeit, durch die später glatte und fehlerfreie Oberflächen hergestellt werden konnten, zeichnete diese Mischung aus.

Einem anfänglichen Abreißen der Mörtelmatrix vom Blähglas konnte nur durch eine deutliche Überdosierung der Mikrosilica-Suspension entgegengewirkt werden. Ihr Anteil war dabei mit 40 M.-% , bezogen auf den Zementgehalt, doppelt so hoch wie in der praxisüblichen Anwendung.

Neben der Zusammensetzung des Mörtels zeigte sich in den Versuchen auch, dass die Zugabereihenfolge der Ausgangsstoffe sowie die Mischdauer und -geschwindigkeit von wesentlichem Einfluss auf die Mörtel Eigenschaften waren. Zugabereihenfolge und Mischvorgang wurden letztlich wie folgt festgelegt:

Zugabe der trockenen Ausgangsstoffe in einen üblichen Mörtelmischer:

1. Zement
2. Blähglas
3. Sand
4. etwa die Hälfte des Gesteinsmehls
5. Farbpigmente
6. Rest Gesteinsmehl
7. Glasfasern

Das Gemenge wurde 90 Sekunden bei niedriger Umdrehungsgeschwin-

Tafel 1: Modifizierung der Mörtelzusammensetzung

Ausgangsstoffe		M _{0c1}	M _{0c2}	M _{0c3}	M _{0c4}
Zementgehalt (CEM III/A 42,5 N)	g/dm ³	560,3	560,3	688,5	688,6
Wasser (w/z) _{eq} -Wert	g/dm ³	84,5 0,30	84,5 0,30	117,1 0,28	82,6 0,28
Gesteinskörnung Blähglas 0,25/0,5 Sand 0/0,5	g/dm ³ g/dm ³	111,3 517,2	111,3 517,2	134,7 258,2	133,5 258,2
Zusatzstoff Gesteinsmehl Mikrosilica Farbpigmente Glasfasern	g/dm ³ g/dm ³ g/dm ³ g/dm ³	86,2 224,1 44,8 12,9	86,2 224,1 44,1 12,9	68,9 206,6 44,8 12,9	34,4 275,5 44,8 12,9
Zusatzmittel Fließmittel Verzögerer	g/dm ³ g/dm ³	4,9 10,1	8,6 10,1	5,6 10,1	8,6 10,1
Rohdichte	kg/dm ³	1,66	1,66	1,54	1,54

digkeit (140 U/min) trocken vorge-mischt. Dann wurde innerhalb von 30 Sekunden die Mikrosilica-Suspension zugegeben und danach das verbliebene Zugabewasser mit Verzögerer und Fließmittel, ebenfalls innerhalb von 30 Sekunden. Anschließend wurden alle Mischungsbestandteile 180 Sekunden bei geringer und abschließend noch weitere 60 Sekunden bei hoher Umdrehungsgeschwindigkeit (285 U/min) gemischt.

5 Eigenschaften

5.1 Frischmörtel

Um Kenntnisse über das Verhalten des Frischmörtels bei dem vorgesehenen Spachtelverfahren (siehe Abschnitt 6) zu erhalten, wurden praxisnahe Vorversuche durchgeführt. Der Mörtel sollte sich gut spachteln lassen und keine Fließneigung aufweisen. Da er auch in der senkrechten Schalung auf glatter Trennschicht verarbeitet werden musste, waren gute Hafteigenschaften erforderlich.

Im Versuch wurden Holztafeln mit PE-Folie beklebt und in einem Neigungswinkel von 80° aufgestellt. Darauf wurden 30 cm x 30 cm große Mörtelflächen im Spachtelverfahren angefertigt, die hinsichtlich ihres Schichtenaufbaus dem der Bootswand entsprachen.

Um Mischungen sofort aussortieren zu können, die hinsichtlich ihrer Verarbeitbarkeit zwar gut waren, jedoch als fertige Platte erhebliche Mängel in ihrer Oberflächenbeschaffenheit aufwiesen, kam der „Glasscheibentest“ [3] zur Anwendung. Dabei wurde der Mörtel auf eine Glasscheibe gespachtelt, verdichtet und anschließend die Glasscheibe umgedreht: Der „Durchblick“ erlaubte sofort eine definitive Aussage über die zu erwartende Beschaffenheit der Mörteloberfläche, da Luftblasen, Lunker oder andere Fehlstellen sofort zu erkennen waren.

5.2 Festmörtel

Als Kenngrößen für den Festmörtel wurden die Druck- und Biegezug-

festigkeit sowie die Festmörtelroh-dichte ermittelt [3].

Die Prüfkörper wurden nach 24 Stunden ausgeschalt und dann bis zum 7. Tag bei 20 °C und 95 % relativer Luftfeuchte gelagert. Auf eine Unterwasserlagerung wurde verzichtet, um die realen Bedingungen beim Kanubau und deren Auswirkungen zu simulieren.

Von allen untersuchten Mörtelmischungen wurden die Druck- und Biegezugfestigkeiten im Alter von 7 Tagen bestimmt. Von der schließlich für die Bootsherstellung gewählten Mischung M_{0c4} wurden zusätzlich die entsprechenden Festigkeiten (Bilder 6 und 7) sowie die Rohdichte (durch Tauchwägung) im Alter von 28 Tagen (Tafel 2) ermittelt.

5.3 Plattenversuche

Um Erfahrung über die Einbautechnologie und die Herstellungstechnik zu gewinnen, wurden dünne Versuchsplatten angefertigt (Bild 8) Dabei wurde genau so vorgegangen



Bild 6: Biegezugprüfung

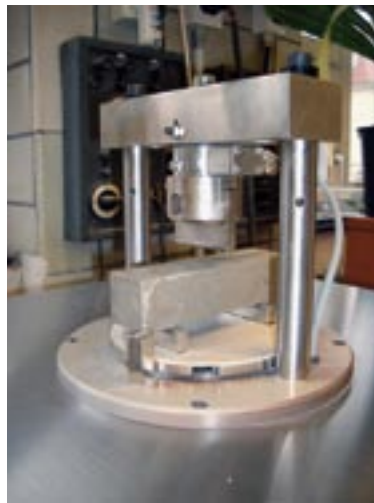


Bild 7: Druckfestigkeitsprüfung

- Aufnahme der maximalen Last ohne Rissbildung bis hin zum vollständigen Versagen,
- größtmögliche Durchbiegung in Abhängigkeit der Plattendicke,
- Auswertung des entstandenen Rissbildes,
- Schaden durch Versagen der Bewehrung bzw. der Druckzone sowie
- Erscheinungsbild der Oberfläche nach Entlastung.

In den Versuchen an den durch Biegung belasteten Probeflächen hatten sich nur solche Risse gezeigt, die sich nach Entlastung fast vollständig wieder schlossen. Hierbei wirkten die Glasfaserarmaturen als hervorragende Rissbremse. Die in Abschnitt 3.3.4 beschriebenen Einzelglasfasern erhöhten dabei zusätzlich zur Hauptbewehrung die aufnehmbare Zugkraft und verbesserten außerdem auch das Zusammenhaltevermögen des Frischmörtels.

Der Plattenbruchtest bestätigte sowohl aufgrund der Messergebnisse (Tafel 4) als auch aufgrund der visuellen Beurteilung der Bruchbilder (Tafel 5) die Eignung der ausgewählten Mischung M_{0c4} in Platte 3.

wie beim späteren Bootsbau (Tafel 3). Es galt, den Einbau der Bewehrungsarten im Zusammenspiel mit den Frischmörteleigenschaften zu prüfen und zu beurteilen, wobei die Maßgabe war, eine stabile Platte mit einer möglichst fehlerfreien Oberfläche zu erhalten [4].

Der Versuchsaufbau beim Plattenbruchtest entsprach dem statischen System eines Trägers auf zwei Stützen (Bild 9). Die Versuchsplatte lag

auf einem festen Auflager und gegenüber gelenkig auf einer Rolle – mit einem Abstand von 25 cm –, wobei die nach unten zeigende glatte Fläche die Zugzone war. Die durch die schrittweise in Feldmitte aufgebraachte Belastung (je 300 g) resultierende Durchbiegung wurde gemessen und protokolliert [3, 4].

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte unter folgenden Gesichtspunkten:



Bild 8: Herstellung der Versuchsplatten

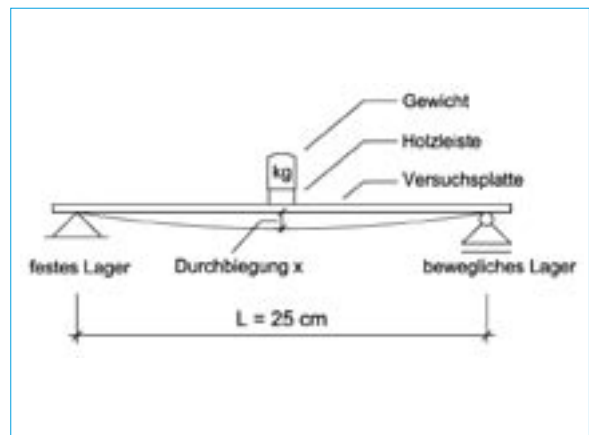


Bild 9: Prinzipskizze Plattenbruchtest

Tafel 2: Druck- und Biegefestigkeiten

Eigenschaften		M_{Oc1}	M_{Oc2}	M_{Oc3}	M_{Oc4}
7-Tage-Druckfestigkeit	N/mm ²	50,4	42,5	42,9	41,3
7-Tage-Biegezugfestigkeit	N/mm ²	6,9	8,0	6,4	8,4
28-Tage-Druckfestigkeit	N/mm ²	-	-	-	49,2
28-Tage-Biegezugfestigkeit	N/mm ²	-	-	-	10,6
Rohdichte	kg/dm ³	-	-	-	1,50

Tafel 3: Schichtenaufbau der Versuchsplatten

Platten - Nr.	1	2	3	4
Mörtelmischung	M_{Oc2}	M_{Oc3}	M_{Oc4}	$M_{Referenz}^{1)}$
Glasfasern	ja	ja	ja	nein
Bewehrung	zwei Lagen Innenputzgewebe	zwei Lagen Innenputzgewebe	zwei Lagen Innenputzgewebe	nein
Schichtdicke	4,0 mm	3,9 mm	4,0 mm	3,5 mm

¹⁾ gleiche Mörtelzusammensetzung wie M_{Oc4} , jedoch ohne Glasfasern und ohne Bewehrung

Tafel 4: Ergebnisse des Plattenbruchttests

Kenngrößen		Platte 1	Platte 2	Platte 3	Platte 4
Breite	cm	10,2	10,1	10,0	10,2
Länge	cm	27,8	28,0	27,5	28,0
Dicke	mm	4,0	3,9	4,0	3,5
maximale Durchbiegung	mm	41,2	32,5	39,0	1,5
maximale Belastung	kg	5,4	4,8	5,1	3,9
maximales Moment	Ncm/cm	30,4	27,3	29,3	23,9

Tafel 5: Versagensart und Bruchbild der Versuchsplatten

Platte-Nr.	Mörtelmischung	Versagensart	Bruchbild
1	M_{Oc2}	späteres Einsetzen der Durchbiegung, dann gleicher Verlauf bis zum Bruch	bis zum Bruch parallel verlaufende Risse, Abstand etwa 10 mm; nach Bruch scharfkantige Bruchfläche
2	M_{Oc3}	langsameres Versagen der Druckzone, erst nach großer Durchbiegung Überlastung der Zugbewehrung und plötzlicher Bruch	Bewehrung geschädigt, jedoch kein Aufreißen in zwei Hälften, Matrix um die Bewehrung löst sich und fällt aus
3	M_{Oc4}	langsameres Versagen der Druckzone, erst nach großer Durchbiegung Überlastung der Zugbewehrung und plötzlicher Bruch	Bruch mit Vorankündigung durch Knacken
4	$M_{Referenz}$	plötzliches Versagen ohne Vorankündigung	scherbenartiger Bruch



Bild 10: Die fertigen Schalungsteile

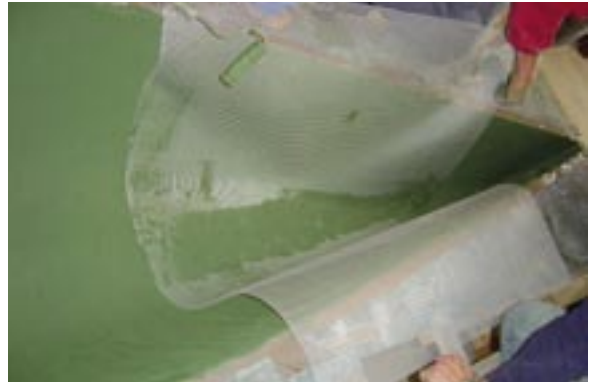


Bild 12: Einrollen der Glasfaserbewehrung

6 Herstellung

6.1 Schalung

Als Schalungsmaterial boten sich Platten aus Styrodur-Hartschaum an. Diese wurden mit PU-Schaum zu größeren Segmenten verklebt und anschließend durch eine computergestützte Fräse in Form gebracht (Bild 10). Nach dem Glätten und Lackieren der Schalungsinnen- sowie dem Aufkleben einer PE-Folie als Trennschicht war die Schalung einsatzbereit.

6.2 Spachtelverfahren

Für die Erstellung der Bootswand wurden zwei Mörtellagen direkt aufeinander aufgespachtelt. Nach dem Auf-

tragen der ersten Schicht (Bild 11) wurde mit Hilfe von Laminierrollen eine Mattenlage Innenputzgewebe soweit eingerollt, bis diese vollständig mit Mörtel umhüllt war und im äußeren Bereich der Wandung ihre Position einnahm (Bild 12). Dabei war es wichtig, mit guter Kraftdosierung und unter Einsatz der Rollen das Material gut zu verdichten.

Um Gewicht zu sparen, wurde der ungleichmäßig verrollte Mörtel oberhalb der Mattenbewehrung abgekratzt. Die zweite Mörtelschicht wurde unter ständiger Kontrolle der Schichtdicke mit Hilfe eines Messschiebers aufgetragen. Nach anschließendem leichtem Einrollen der zweiten Mattenlage war der Schichtaufbau mit einer Gesamt-

dicke von durchschnittlich 3,5 mm fertiggestellt. Nun wurde noch das überschüssige Material abgetragen und die Oberfläche geglättet.

6.3 Nachbehandlung

Von großer Bedeutung für eine einwandfreie Qualität der Bootsoberfläche war die sachgemäße Nachbehandlung des Mörtels. Der hohe Hüttensandanteil des Hochofenzements CEM III/A 42,5 N und die dadurch langsam verlaufende Hydratation erforderten eine besonders intensive Nachbehandlung. Es galt dabei, genügend Wasser für die Erhärtungsreaktion zur Verfügung zu stellen, um ein Auftreten von Netz- und Schwindrissen in der sehr dünnen Betonkanuwandung zu vermeiden. Der Grund für eine solche rissbildende Formänderung ist das sich einstellende Feuchtigkeitsgefälle zwischen Innen- und Außenzone.

Um ein Austrocknen zu vermeiden, verblieb das frisch betonierete Kanu sieben Tage in der Schalung. Dabei wurde es mit Tüchern feucht gehalten und mit Folie gegen Feuchtigkeitsverlust abgedeckt (Bild 13). Da die Temperatur des ungeheizten Raums nur etwa zwischen 14 °C und 16 °C lag, wurde der Raum eigens auf 20 °C bis 22 °C aufgeheizt, um die Hydratation zu beschleunigen.



Bild 11: Aufspachteln der ersten Mörtellage



Bild 13: Nachbehandlung durch Belassen in der Schalung



Bild 14: Nachbehandlung durch Bedecken mit Folie



Bild 15: Begutachtung der Kanus durch die Regatta-Jury

Die Vornässung des Blähglases wirkte sich vorteilhaft auf die Festigkeit und Wasserundurchlässigkeit der Wandung aus, da das poröse Blähglas das Wasser quasi als innere Nachbehandlung für einen hohen Hydratationsgrad und dadurch für die Entwicklung eines dichten Betongefüges über einen längeren Zeitraum zur Verfügung stellte.

Nach dem Entschalen wurde der Bootskörper sofort abgedeckt und die Oberfläche weitere zwei Wochen lang täglich befeuchtet (Bild 14).

Im „Praxiseinsatz“ bei der Betonkanu-Regatta bewährten sich die beiden Frösche aus Weimar vor allem im sportlichen Wettbewerb und erhielten von der Jury (Bild 15) in der Wertungskategorie Gestaltung eine „Lobende Erwähnung“.

7 Zusammenfassung

Für den Bau von zwei für die Regatta 2005 geeigneten Betonkanus sollte ein Leichtmörtel mit weicher, streichfähiger Konsistenz entwickelt werden. Durch die Verwendung leuchtender Gesteinskörnungen und durch eine Kombination verschiedener Zusatzstoffe sowie Zusatzmittel wurden sowohl eine lange Verarbeitbarkeitszeit von über zwei

Stunden als auch die erforderlichen Frisch- und Festbetoneigenschaften erreicht. Durch den Einsatz von Glasfasermatten und Einzelfasern, durch einen niedrigen w/z-Wert und durch eine gewissenhafte Nachbehandlung ergaben sich die erforderlichen Festigkeiten bei Biegezug-, Platten- und Druckversuchen.

Als Herstellungstechnologie erwies sich das Spachtelverfahren als geeignet. Ausreichende „Praxiserfahrungen“ durch die Anfertigung von Testflächen bewährten sich für den realen Betoniervorgang des Boots. Letztendlich wurden alle Aufgabenbereiche zeitlich gegliedert und mit Hilfe eines achtköpfigen Betoniererteams ausgeführt. Durch ständige Kontrolle der Qualität und der Schichtdicke des Mörtels wurde ein sehr gutes Ergebnis erzielt.

An dieser Stelle sei den Mitarbeitern der Anwendungstechnik der Lafarge Zement Karsdorf GmbH und den Mitarbeitern der Mörtel- und Betonlabore des F. A. Finger-Instituts für Baustoffkunde Weimar für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Umsetzung des Projekts gedankt. Ebenso sei den studentischen Bootsbauern für ihr Engagement und ihren unermüdlichen Einsatz Dank gesagt.

8 Literatur

- [1] Stark, J.; Wicht, B.: Dauerhaftigkeit von Beton – Der Baustoff als Werkstoff, Birkhäuser Verlag, Ausgabe 2001.
- [2] Paatsch, A.; Koppe, P.: Optacolor® – ein neuer Hochofenzement EN 197-1 CEM III/A 42,5 N für besondere Anwendungsgebiete. Beton-Informationen 44 (2004) H. 1, S. 11-15.
- [3] Stein, S.: Entwicklung und Eigenschaften eines Leichtmörtels für den Bau von Betonkanus (Studienarbeit), F. A. Finger-Institut der Bauhaus-Universität Weimar, 2005.
- [4] Fuchs, C.; Schäfer, H.; Stein, S.: Konstruktion und Herstellung von Betonkanus (Studienarbeit), F. A. Finger-Institut der Bauhaus-Universität Weimar, 2005.