

BROUWSEL ONDER SPANNING

CONSTRUCTIEVERSLAG 2008



[NAAM]

Johan de Waard
Daniel Tollenaar
Sander Dekens
Sevrien Ferree
Jeroen Heesbeen
Frank Aarns

[FUNCTIE]

Voorzitter
Secretaris & Penningmeester
Public Relations
Materiaal Commissaris
Ontwerp Commissaris
Evenement Commissaris

[ALIAS]

Chef d'équipe
Chef d'administration
Chef d'administration
Chef de Magasin
Chef de Mécanique
Chef de Coordination

Vooraf aan wat komen gaat,

willen wij u graag nog eens schetsen welke bergen werk er verzet zijn door de BetonBrouwers en iedereen die BetonBrouwen een warm hart toedraagt. Het is nu half twee in de nacht, of beter gezegd 15 april, wat mij doet realiseren dat vandaag de deadline is voor dit constructieverslag, een echte studentenplanning dus.....

Het begon vorig jaar allemaal met een beetje experimenteren met vezelbeton, waarbij we goed doorkregen dat er veel roem te halen valt met het brouwen van (vezel)beton. Ook kregen we door dat deze roem alleen te behalen valt met bloed, zweet en tranen...

Toen kwam dhr. Verhagen in ons leven, die ons enthousiast maakte voor voorgespannen beton. Helaas vielen hier geen flessen champagne mee te verdienen. Wel was het een stuk beter toepasbaar in kano's, hetgeen waar het allemaal om te doen was...

Het idee van voorgespannen beton is verder uitgewerkt in een haalbaar ontwerp. Na vorig jaar drie prachtige kano's te hebben gerealiseerd was het dit jaar de uitdaging om ons ontwerp verder uit te kristalliseren. Waar anderen genieten van de vrije tijd, is er door de BetonBrouwers en enkele vrienden afgelopen twee maanden keihard gewerkt aan het betonmengsel, een nieuwe voorspanmethode en het bouwen van de betonnen kano's. Op dit moment is er één kano ontkist, is de tweede gestort en staat het bouwen van de derde kano voor komend weekend op de planning. Het zal dus nachtwerk worden om het project op tijd af te krijgen, maar het resultaat des te meer een Sterk Staaltje Betonbouw.....

Van deze gelegenheid gebruik makend, willen we beroepsbrouwers Götz Husken en Martin Hunger wederom hartelijk bedanken voor de hulp en assistentie die ze ons ook dit jaar hebben verleend bij het maken van een nieuw betonrecept en voor het gebruik van het betonlab.

Rest ons niets anders dan de lezer veel plezier te wensen.

De BetonBrouwers 2008,

Johan de Waard	(Voorzitter)
Daniel Tollenaar	(Secretaris & Penningmeester)
Sander Dekens	(Public Relations)
Sevrien Ferree	(Materiaal Commissaris)
Jeroen Heesbeen	(Ontwerp Commissaris)
Frank Aarns	(Evenement Commissaris)

Een ode aan de sponsoren...

Onze financiële sponsor:



Onze materiaal sponsoren:



Inhoudsopgave

Vooraf aan wat komen gaat.....	2
Een ode aan de sponsors.....	3
Inhoudsopgave.....	4
1 Inleiding.....	2
2 De BetonBrouwers.....	3
3 Doelstellingen en eisen.....	4
3.1 Prestatie-eisen.....	4
3.2 Functionele eisen.....	4
3.3 Doel der BetonBrouwers.....	4
4 Ontwerp 2008.....	5
4.1 Schetsontwerp.....	5
4.2 Belastingen op de kano.....	5
4.3 Enkele mechanische modellen.....	6
4.3.1 Het lengtemodel.....	6
4.3.2 Het doorsnede-model.....	7
4.4 ConceptT voorspanning.....	8
4.4.1 Wapening.....	8
4.5 Bouwtekeningen.....	9
5 Materiaalsamenstelling.....	11
5.1 Het BetonBrouwsel.....	11
5.2 Testen van het BetonBrouwsel.....	12
5.2.1 Afmetingen proefstukken.....	12
5.2.2 Resultaten driepuntsbuigtest.....	12
5.2.3 Resultaten drukproef.....	12
5.3 Materiaalstaat.....	13
6 Het B(r)ouwproces.....	14
6.1 De mal.....	14
6.2 Het kano B(r)ouwproces.....	15
7 Tot Slot.....	18
8 Contactgegevens.....	19

1 Inleiding

Voor u ligt het constructieverslag van de Bouwcommissie 2008 van studievereniging Concept. Deze commissie, bestaande uit een zestal 'BetonBrouwers', heeft sinds januari 2008 met zeer veel inzet gewerkt aan drie prachtige kano's. Dit verslag is tot stand gekomen om de organisatie van de BetonKanoRace 2008 een goed inzicht te geven in zowel de gekozen constructie als de gevolgde uitvoering. Ook geeft het de sponsors en overige geïnteresseerden een indruk van de wijze waarop de betonkano's gebouwd zijn. Tevens dient het als documentatie voor toekomstige Bouwcommissies.

Jaarlijks wordt onder auspiciën van de Betonvereniging de BetonKanoRace georganiseerd. In deze race nemen studenten van verschillende civieltechnische en bouwkundige ROC's, hogescholen en universiteiten het tegen elkaar op in hun zelfgebouwde kano's. Het doel van dit fantastische evenement is het promoten van het zeer veelzijdige product BETON. Dit jaar zal de BetonKanoRace plaatsvinden in Delft waar wij zullen trachten onze collega civiel technenuten van het betondispuut te verslaan en de eerste prijs in de wacht te slepen.

Bij het BetonBrouwen moet aan veel dingen gedacht worden. Het maken van een ontwerp, krachten in de kano, stabiliteit in het water en financieel rond komen om er maar een paar te noemen. In dit constructieverslag worden de eisen, berekeningen en bouwbeschrijvingen van het bouwen van een betonnen kano beschreven. Als eerste wordt de bouwcommissie als onderdeel van studievereniging Concept geïntroduceerd. Vervolgens worden de eisen aan het brouwsel en het doel van de BetonBrouwers beschreven. Deze eisen bestaan uit prestatie-eisen en functionele eisen. Vervolgens wordt uitgelegd hoe het ontwerp van 2008 tot stand is gekomen, hier zijn ook de bouwtekeningen te vinden van het ontwerp 2008. Vervolgens komen de materialen aan bod, hier worden onder andere de ideeën en de berekeningen achter het BetonBrouwsel uitgelegd. Als laatste wordt het Brouwproces uitgebreid beschreven en toegelicht aan de hand van foto's.

2 De BetonBrouwers

In dit hoofdstuk wordt de bouwcommissie als onderdeel van studievereniging ConceptT geïntroduceerd. Er is middels deze introductie van ons team getracht een beeld te scheppen van onze 'organisatie'.

De BetonBrouwers zijn de harde kern van studievereniging ConceptT, gezamenlijk vormen zij de bouwcommissie. ConceptT is de studievereniging van de opleiding Civiele Techniek (& Management) aan de Universiteit Twente, welke wordt bestuurd door en voor studenten. De vereniging is in 1990 opgericht en kent 700 leden, waarvan er ongeveer 500 student zijn. Het hoofddoel van ConceptT is het vertegenwoordigen van de belangen van de studenten. Dit wordt gedaan door het creëren en onderhouden van contacten tussen de studenten, de opleiding Civiele Techniek en de civieltechnische sector. Om het blikveld binnen de sector te vergroten organiseert ConceptT excursies naar civieltechnische bedrijven. Naast deze excursies zijn de hoofdactiviteiten van ConceptT jaarlijkse deelname aan de BetonKanoRace, een jaarlijks symposium, het organiseren van een studiereis (eens in de twee jaar), en het verenigingsblad de ConceptTueel. Naast deze hoofdactiviteiten worden er nog vele andere activiteiten door de studenten georganiseerd. Om dit te bereiken telt de vereniging ongeveer 100 actieve leden.



Figuur 1: Wervingscampagne

Tot aan 2007 was de bouwcommissie een projectcommissie. Dit hield in dat er ieder jaar een nieuwe commissie werd gevormd voor deelname aan de BetonKanoRace. Na het succes van 2007 en inzet & enthousiasme van enkele BetonBrouwers is echter besloten om van de bouwcommissie een doorlopende commissie te maken. Dit betekent dat niet ieder jaar het wiel opnieuw hoeft te worden uitgevonden en dat er naar de lange termijn gekeken kan worden. Hierdoor kunnen ontwerpen worden doorontwikkeld en kan er voor de langere termijn al worden begonnen met het ontwikkelen van nieuwe ontwerpen en recepturen. Deze omslag in onze organisatiestructuur heeft het werk in ieder geval een stuk efficiënter gemaakt.



Figuur 2: De BetonBrouwers (excl. Jeroen Heesbeen)

Aangezien er in 2007 met slechts drie man was gewerkt werd er in januari 2008 een wervingscampagne gehouden (zie figuur 1) om de commissie verder aan te sterken. Uiteindelijk groeide het aantal leden naar zes, te weten: Johan de Waard (Voorzitter), Daniël Tollenaar (S&P), Sander Dekens (PR), Sevrien Ferree (Materiaal Com.), Jeroen Heesbeen (Ontwerp Com.) en Frank Aarns (Evenement Com.). Op de foto hiernaast ziet u de BetonBouwers (helaas zonder Jeroen Heesbeen) met de eerste creatie van 2008. In totaal zullen we dit jaar met drie kano's meedoen om de overwinning, hopelijk beland de beker dit jaar wel in Twente!

3 Doelstellingen en eisen

In dit hoofdstuk worden de eisen aan het vaartuig behandeld. Deze omvatten prestatie-eisen, opgelegd door de reglementen van de BetonKanoRace en functionele-eisen, opgelegd door nautische wetten en die van de mechanica. Dit hoofdstuk zal worden afgesloten met een duidelijke doelstelling van de BetonBrouwers

3.1 Prestatie-eisen

De eisen die te destilleren zijn van de reglementen van de BetonKanoRace zijn hieronder weergegeven:

- Bemanning. De kano dient bevaren te worden door twee man (of vrouw) met enkelbladige peddels.
- Lengte van het vaartuig. De lengte van de kano moet ten minste 4 meter zijn en mag maximaal 6 meter bedragen.
- Hoogte van het vaartuig. De hoogte van het vaartuig mag niet groter zijn dan 1 meter.
- Breedte van het vaartuig. De breedte van het vaartuig mag niet meer zijn dan 2 meter.
- Materiaalgebruik. De sterkte en stijfheid van het vaartuig moet geheel ontleend worden met aan de samenwerking van beton/mortel met de daarin opgenomen wapeningen. Het wapeningspercentage wordt vrijgelaten. Delen die niet van het materiaal beton/mortel vervaardigd zijn, mogen die niet bijdragen aan de stijfheid van de kano en moeten verwijderd worden bij aanvang van de race.

3.2 Functionele eisen

Hieronder worden de eisen aan het brouwsel behandeld die volgen uit de varende functie.

- Drijvend vermogen. De kano moet voldoende opdrijvend vermogen hebben om met een belasting van twee kanoërs te blijven drijven en daarbij voldoende vrijboord over te houden om geen water te maken.
- Stabiliteit. Bij de vormgeving van de kano dient rekening te worden gehouden met de stabiliteit van de constructie in het water.
- Veiligheid. Er dienen luchtkamers/drijflichamen in de constructie te zijn aangebracht, zodanig dat de kano blijft drijven bij een mogelijke breuk van de romp of het kapseizen van de kano. De drijflichamen op zich mogen geen noemenswaardige bijdrage leveren aan de stijfheid van het vaartuig en hoeven niet verwijderbaar te zijn.
- Waterdichtheid. De huid van de kano dient een dermate lage poreusiteit te hebben, dat deze onder nautische condities waterdicht beschouwd kan worden.
- Mechanische eisen. Vanuit de verwachte krachten op de constructie kan een inschatting gemaakt worden van de dimensies van de constructie. Hierbij moet ook rekening gehouden worden met eventuele veranderlijke belastingen, volgend uit de nautische functie van de constructie.

3.3 Doel der BetonBrouwers

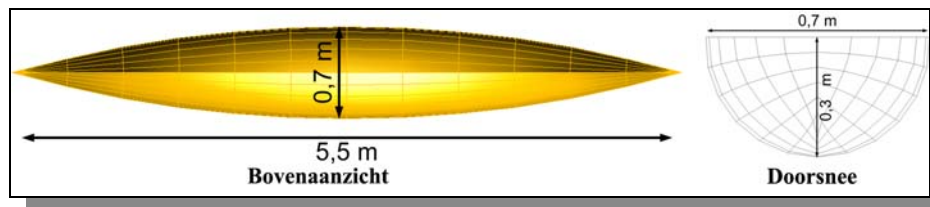
Wanneer een duidelijk beeld verkregen is van het raamwerk waarin de kano geconstrueerd dient te worden, blijven er nog veel vrijheden over waarin toekomstig ingenieurs zich kunnen uitleven. Vroeg in het project dient er daarom een duidelijke keuze gemaakt te worden: het doel van de commissie. Al snel is er, vanwege tijdsoverweging, besloten om voor dit jaar verder te gaan met het ontwerp en de mal van vorig jaar. Dit leverde ons voor dit jaar het doel om het ontwerp waar mogelijk te optimaliseren, zowel wat betreft het betonmengsel, de wapening als de afwerking.

4 Ontwerp 2008

In dit hoofdstuk wordt het ontwerp voor 2008 uit de doeken gedaan. De eerste stap in het ontwerpen van de kano's is het formuleren van het uitgangspunt. Dit is de eerste stap in het realiseren van het doel van de commissie en leidt tot een schetsontwerp. Vanuit een schetsontwerp kunnen de belastingen op het vaartuig bepaald worden en mechanica modellen worden opgesteld. Dit leidt tot een verantwoording van het ontwerp, welke aan het einde van dit hoofdstuk nog verder uitgewerkt zal worden.

4.1 Schetsontwerp

Vanuit de doelstelling volgt een rank en efficiënt ontwerp. De breedte/lengte verhouding, oftewel de romphoek, moet hierbij zo laag mogelijk zijn. Verder moet er zo efficiënt mogelijk omgegaan worden met de verhouding tussen de lengte van de kano en het gewicht. De verhouding tussen het gewicht en de lengte dient dus tevens zo laag mogelijk te zijn. Dit alles afwegend wordt gekomen tot een schetsontwerp gegeven in Figuur 3.



Figuur 3: Aanzichten schetsontwerp

De lengte van de kano L_k is 5,5m en de breedte, B_k 0,7m. De hoogte van de kano is 0,3m. Het oppervlak van de romp A_r wordt geschat op $3,5m^2$ en de dikte D_r op 0,01m.

4.2 Belastingen op de kano

De belastingen op de constructie worden bepaald door drie componenten;

1. het gewicht van de kanoërs F_{pers} [N];
2. het gewicht van de kano F_k [N];
3. de opwaartse waterdruk q_w [N/m].

Van de laatste twee wordt aangenomen dat deze tegenovergesteld zijn aan elkaar, waarbij de resultante wordt gegeven door q_{res} .

Voor het gewicht wordt aangenomen dat twee kanoërs niet zwaarder zullen zijn dan 850N. Topsporters worden immers verondersteld in topconditie te zijn, geen doping te gebruiken en slechts een biertje per dag te drinken.

Het gewicht van de kano is te bepalen uit het romppoppervlak, de rompdikte en het soortelijk gewicht van het betonbrouwsel. De eerste twee zijn bekend, voor de laatste, ρ_b wordt een waarde van $25kN/m^3$ aangehouden. Dit alles leidt tot een F_k van 875N. Het gewicht van de kano per meter lengte q_r is 159 N/m.

De waterdruk onder de kano wordt bepaald door de som van de reeds berekende componenten ($2 \times F_{pers} + F_k$). Hierbij moeten deze nog in de juiste eenheid gezet worden door te delen door de lengte van de kano. Op deze wijze wordt een waterdruk q_w verkregen van 468 N/m.

Bij de berekening van momenten speelt vooral de resulterende druk een belangrijke rol. Deze wordt bepaald door het eigen gewicht per meter lengte q_k en de resulterende waterdruk q_w . Deze is gelijk aan 309N/m. Tabel 1 geeft de belastingen op de kano weer. Deze dienen als input voor de mechanicamodellen verderop in dit hoofdstuk.

Component		Waarde [eenheid]
F_{pers}	Kanoërs	850 [N]
q_k	Eigen gewicht	159 [N/m]
q_w	Waterdruk	468 [N/m]
q_{rep}	Resulterende druk	309 [N/m]

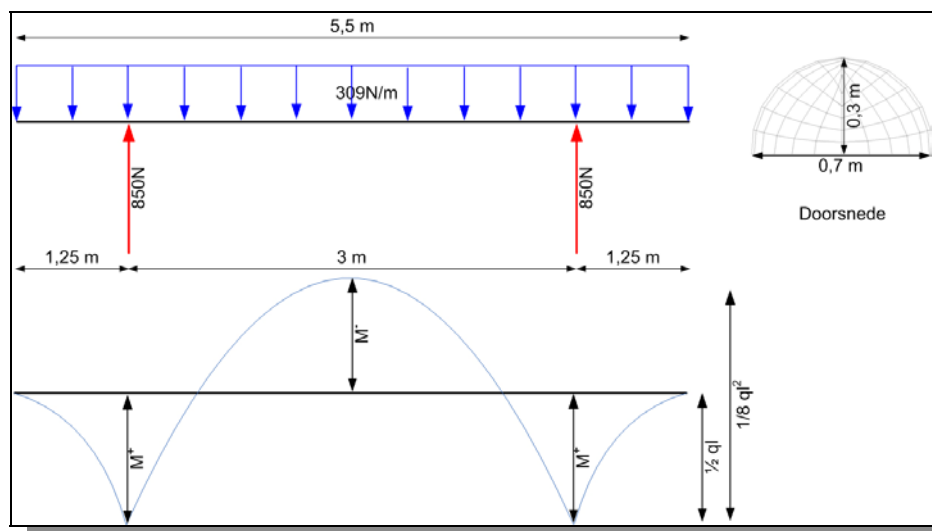
Tabel 1- Krachtenspel op het brouwsel

4.3 Enkele mechanische modellen

Om inzicht te krijgen in de weerbarstige werkelijkheid wordt een inschatting gemaakt van de momenten in de kano met behulp van twee modellen. Ten eerste wordt de kano in de lengte beschouwd, waarbij gekeken wordt naar de momenten als gevolg van het gewicht van de kanoërs en de resulterende waterdruk. Daarnaast wordt gekeken wat het effect is van de waterdruk op de zijkant van de kano, met behulp van een model van de dwarsdoorsnede.

4.3.1 Het lengtemodel

Figuur 4 geeft het lengtemodel weer van de kano. Hierbij zijn de kanoërs op 1,25m van de boeg en de steven geplaatst.

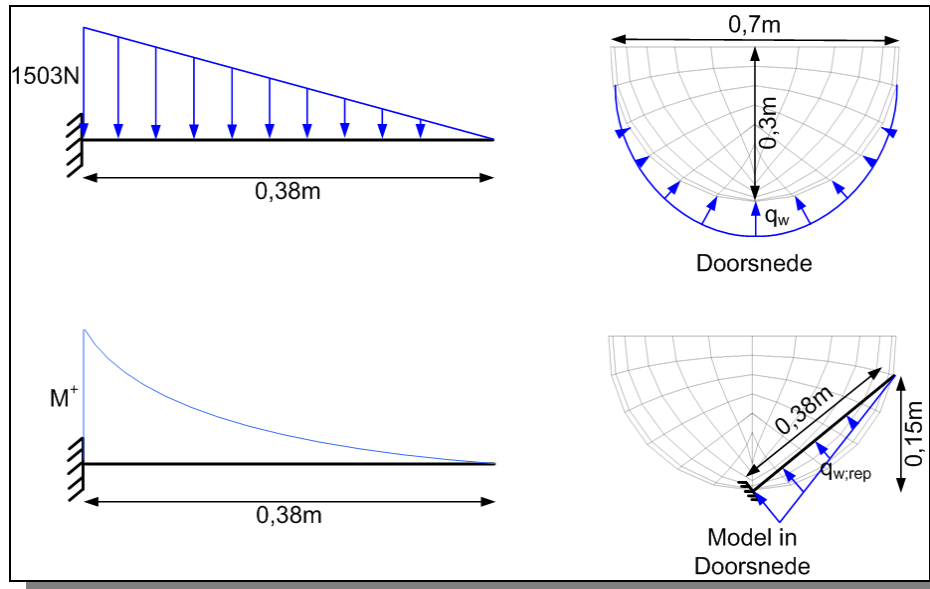


Figuur 4: Model van de lengterichting

De bovenste ligger geeft het omgekeerde lengteprofiel van de kano weer. Hierbij zijn de belastingen door de kanoërs omhoog gericht en de waterdruk neerwaarts. De doorsnede die geldt voor dit figuur is ook gegeven. Het onderste figuur geeft de momenten weer die gelden onder een dergelijke belasting. Via vuistregels, tevens weergegeven in het figuur, kan met een dergelijk model het positief en negatief moment bepaald worden: M^+ is 241Nm en M^- is 155Nm.

4.3.2 Het doorsnede-model

Met het doorsnede-model wordt het maximale moment dwars op de lengterichting bepaald. Het model is schematisch weergegeven in Figuur 5. In de rechterhelft van de figuur zijn de relaties tussen de dwarsdoorsnede en het model weergegeven. De linkerhelft van de figuur geeft de belasting en het moment weer.



Figuur 5: Model op de dwarsrichting

De belasting op de zijkant van de kano wordt bepaald door de waterdruk die oploopt vanaf de waterlijn tot de maximale waterdiepte. De maximale waterdiepte wordt bepaald door een globale schatting te maken van het oppervlak over het bovenaanzicht, gegeven in Figuur 3. Dit wordt berekend met behulp van vergelijking 1.

$$A_{rep} = \frac{2}{3} \cdot L_k \cdot B_k = 2,57 m^2 \quad (1)$$

De diepgang kan worden bepaald door vergelijking 2. Hierbij wordt de totale belasting van de kano plus kanoërs gedeeld door het oppervlak, waarbij gecorrigeerd wordt met een factor $\frac{3}{2}$ voor de parabolische vorm van de romp. Een waterdruk van $1503 N/m^2$ komt hierbij overheen met een diepgang van 0,15m.

$$P_w = \frac{3}{2} \cdot P = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_k + 2 \cdot F_{pers}}{A_{rep}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{875 + 2 \cdot 850}{2,57} = 1503 N/m^2 \quad (2)$$

Nu de belasting over de dwarsrichting bekend is, rest niets anders dan een inschatting van de momenten te geven. Deze is gegeven in vergelijking 3.

$$M^+ = \frac{1}{6}ql^2 = 36Nm \quad (3)$$

4.4 ConcepT voorspanning

Elk Brouwsel bestaat natuurlijk minimaal uit beton en de daarin opgenomen wapening. In dit geval zijn dit zelfs de enige ingrediënten van de kano. In deze paragraaf zal er aan de hand van wat berekeningen bekeken worden welke wapening er in de kano gestopt moet worden. Als de wapeningsconstructie bekend is, kan ook het betonbrouwsel ontworpen worden.

4.4.1 Wapening

Hoewel de uitvoer van de modellen in paragraaf 4.3 slechts een indicatie geven van de momenten in de kano's kan het toch gebruikt worden om de wapening te ontwerpen. Als goed ingenieur moet je natuurlijk wel iets hebben als houvast.

Wapening in langsrichting

In de lengterichting wordt gekozen om de trekkrachten weg te nemen door het toepassen van voorspanning. Hierbij moet gekeken worden naar de grootte van de door het moment veroorzaakte trekspanning σ_m . Deze kan berekend worden met vergelijking 4, waarbij het moment M bekend is van paragraaf 4.3. Voor I_{zz} wordt de waarde $62 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ aangenomen, welke is bepaald door het dwarsprofiel te modelleren met een halve cirkel. De waarde voor e is 175mm bij het negatieve moment, M^- , en 105mm bij het positieve moment, M^+ .

$$\sigma_m = \frac{M \cdot e}{I_{zz}} \quad (4)$$

In Tabel 2 zijn de spanningen in het beton weergegeven. De trekspanningen bij de kanoërs en in het midden van de kano is rond de $0,4N/mm^2$.

Moment	Positie	M [Nm]	E [mm]	I_{zz} [mm ³]	σ_m [N/mm ²]
M^+	Boven	241	- 175	$62 \cdot 10^6$	-0,68
	Onder	241	105	$62 \cdot 10^6$	0,41
M^-	Boven	- 155	- 175	$62 \cdot 10^6$	0,44
	Onder	- 155	105	$62 \cdot 10^6$	-0,26

Tabel 2: Spanningen in het beton

De trekspanningen worden opgevangen door een normaalspanning die wordt gegeven door spandraden. Naar beoordeling van experts is besloten een 40 tal kabels te spannen over de kano, wat een spacing tussen de draden geeft van 1cm in de boeg en steven tot 2,5cm in het midden van de romp. De draden dienen onder een dergelijke spanning te staan dat de normaalspanning over de betondoorsnede σ_N groter is dan $0,4N/mm^2$. Het betonoppervlak van de doorsnede gegeven in Figuur 3 met een dikte van 10mm zal een ongeveer $9000mm^2$ bedragen.

Met vergelijking 5 kan nu de bijbehorende voorspankracht N bepaald worden. Het blijkt dat wanneer voor de spanning per draad 250N gekozen wordt, de voorspankrachten ruim voldoende zijn om trekspanningen op te vangen.

$$\sigma_N = \frac{N}{A} = \frac{250 \cdot 40}{9000} = 1,1 \text{ N/mm}^2 \quad (5)$$

Wapening in dwarsrichting

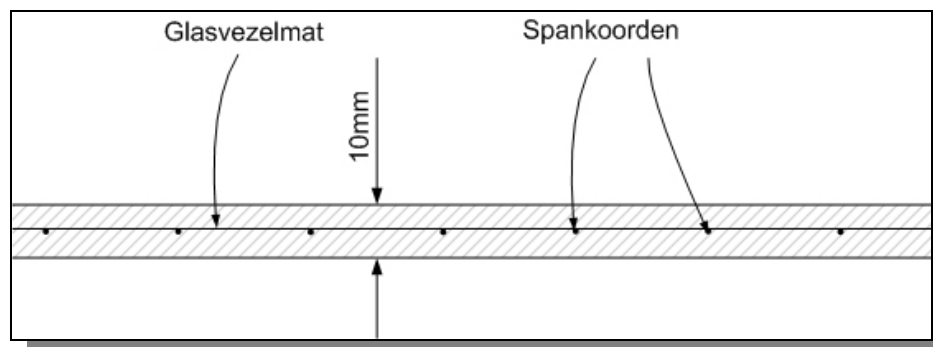
Om de momenten in dwarsrichting op te vangen wordt conventionele wapening toegepast. Er is gekozen om hiertoe een glasvezelmat met een maaswijdte van 5mm over de spankabels aan te brengen aan de buitenkant van de huid. Een indicatie van de trekspanning veroorzaakt door het moment is gegeven in vergelijking 6. De kracht die opgenomen kan worden door een glasvezelmat zijn onbekend, maar dergelijke waarden als volgend uit vergelijking 6 moet geen enkel probleem zijn.

$$\sigma_m = \frac{M}{W} = \frac{M}{\frac{1}{6} \cdot h \cdot D_r^2} = \frac{0,036}{\frac{1}{6} \cdot 1 \cdot 0,01^2} = 2160 \text{ kN/m}^2 = 2,16 \text{ N/mm}^2 \quad (6)$$

4.5 Bouwtekeningen

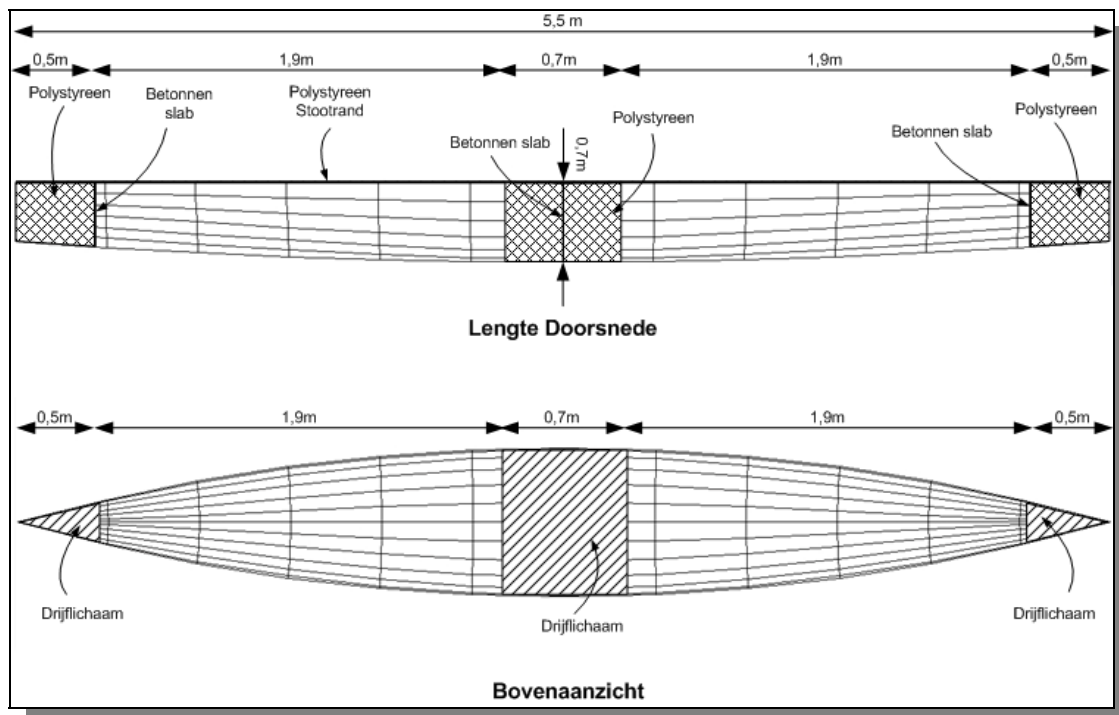
In voorgaande paragrafen is van een doelstelling binnen een bepaald programma van eisen gekomen tot een schetsontwerp. Vervolgens is aan de hand van mechanische input het hele samenspel tussen wapening en het betonbrouwsel behandeld. In deze paragraaf wordt het ontwerp weergegeven in de vorm van bouwtekeningen.

In Figuur 5 is een tekening van de wapening opgenomen. Hierbij is te zien dat de glasvezelmat direct op de voorspankabels wordt gelegd. De spacing tussen de kabels zal variëren van 25 mm in het midden tot 10mm in de boeg en de steven.



Figuur 6: Wapeningstekening

Figuur 6 geeft de bouwtekening van de kano, zoals ontworpen door de BetonBrouwers. Op 0,5m van de boeg en de steven, alsmede in het midden van de boot zijn betonnen slabs aangebracht om extra stevigheid te geven aan de kano. Deze zullen een gedeelte van het moment opnemen wat berekend is met het dwarsprofiel. In de boeg, steven en het midden zijn tevens polystyreen drijflichamen aangebracht, welke voldoende opwaartse kracht geven mocht de kano breken of kapseizen.



Figuur 7: Bouwtekening ontwerp 2008

5 Materiaalsamenstelling

Naast het ontwikkelen van een goed ontwerp, is ook de materiaalsamenstelling van cruciaal belang voor een perfecte betonkano. In dit hoofdstuk wordt het BetonBrouwsel toegelicht. Allereerst worden de uitgangspunten en de wenselijke eigenschappen waaraan het mengsel moet voldoen bepaald. Aan de hand van de uitgangspunten, de wenselijke eigenschappen en de optimale korrelverdeling worden de ingrediënten en de hoeveelheden voor het mengsel vastgesteld. In het kader van "vertrouwen is goed, maar controleren is beter" is het BetonBrouwsel aan een aantal tests onderworpen, de resultaten van de test zijn ook in dit hoofdstuk opgenomen. Tot slot wordt aan het eind van dit hoofdstuk wordt de materiaalstaat van de kano's geschetst.

5.1 Het BetonBrouwsel

Bij het ontwerpen van het BetonBrouwsel is rekening gehouden met de volgende uitgangspunten en wenselijke eigenschappen:

- Sterkte. Het beton moet voldoende sterk zijn om de druk aan te kunnen berekend in de voorgaande paragrafen;
- Porositeit. Gegeven het voorgaande punt dient het zo'n laag mogelijke poreusiteit te hebben, om een waterdichte kano te kunnen garanderen.
- Verwerkbaarheid. De verwerkbaarheid van het beton hangt samen met een aantal zaken. Allereerst moet er rekening gehouden worden met de spacing van de wapening. De spacing van de wapening bepaalt mede de korrelverdeling van het BetonBrouwsel. In ons geval is de maaswijdte van de glasvezelsmat, 5mm, maatgevend. Naast de spacing moest het beton zelfverdichtend zijn. Het beton kan namelijk niet aangetrilt worden en aandrukken wordt bemoeilijkt door de vooraf aangebrachte spankabels. De laatste eis die aan de verwerkbaarheid wordt gesteld is dat het beton smeerbaar moet zijn, maar toch dusdanig stijf dat het tegen de wanden van de mal op blijft zitten.
- Gewicht. Om ervoor te zorgen dat de kano ook mee kan doen voor een snelle tijd dient het BetonBrouwsel een zo laag mogelijk soortelijk gewicht te hebben.

Vanuit het voorgaande blijkt dat de krachten in het beton dermate laag zijn, dat zelfs met een B10 sterkteklasse volstaan zou kunnen worden. Om deze reden is er gekozen te zoeken naar een zo'n compact mogelijk betonbrouwsel met een zo goed mogelijke korrelverdeling. De nominale korrel is vastgesteld op 1mm, wegens de geringe afstand tussen de voorspankabels, de fijnmazigheid van de glasvezelsmat en een goede hechting aan de voorspankabels.

Materiaal	Volume [dm ³]	Massa [kg]	Dichtheid [kg/dm ³]
CEM I 52,5N	148,3	454,4	3,06
Limestone powder	169,6	460,1	2,71
Sand 0-1	394,5	1040,0	2,64
Water	272,6	272,6	1,00
Air	15,0	0,0	0,00
Total	1000,0	2227,1	
Pigment		22,7 kg ¹	

Tabel 3: Het BetonBrouwsel

¹ De hoeveelheid pigment is 5 massaprocent van het cement.

Tabel 3 geeft het receptuur weer welke is toegepast in de kano's. Als binder is een CEM I 52,5N gekozen. Als aggregaten zijn zand met een nominale korrel van 1mm en limestone powder toegevoegd. Er is in dit geval gekozen voor witte grondstoffen (zowel het cement als de limestone powder) omdat hierdoor de pigmenten beter tot hun recht komen. De toevoeging van superplastificeerder is vermeden ten behoeve van de verwerkbaarheid. De hoeveelheid water is bepaald door experimenten met de verwerkbaarheid en de beoordeling van enkele proef 'slabs' na 7 dagen uitharding.

De samenstelling van de betonmix is tot stand gekomen aan de hand van de zeefcurve van de verschillende componenten. Met behulp van de UT Mixdesign is vervolgens de optimale korrelverdeling bepaald en is het BetonBrouwsel zoals hierboven beschreven in het leven geroepen.

5.2 Testen van het BetonBrouwsel

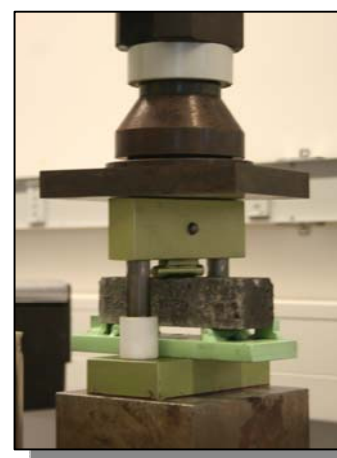
In deze paragraaf komen de resultaten van de driepuntsbuigtesten en de drukproeven aan bod. Het betreft de proeven van het betonmengsel na 28 dagen. Uit de resultaten van de tests kan geconcludeerd worden dat het BetonBrouwsel 2008 voldoet aan de gestelde sterkte-eisen.

5.2.1 Afmetingen proefstukken

Voordat begonnen kan worden met het uitvoeren van enkele tests, moeten eerst de afmetingen van de proefstukken worden bepaald en genoteerd. In tabel 4 staan de afmetingen van de drie proefstukken.

Blok	Hoogte [mm]	Breedte [mm]	Lengte [mm]
1-1	40,15	40,16	150,04
1-2	40,07	40,07	149,97
1-3	40,29	41,09	150,06

Tabel 4: afmetingen proefstukken



Figuur 8: Driepuntsbuigtest

5.2.2 Resultaten driepuntsbuigtest

In de tabel hieronder staan de resultaten van de driepuntsbuigtest.

Blok	Buigtreksterkte [kN]
1-1	2,760
1-2	2,522
1-3	2,656

Tabel 5: Resultaat van de driepuntsbuigtest

5.2.3 Resultaten drukproef

In de tabel hieronder staan de resultaten van de drukproef.

Blok	Druksterkte [kN]	[N/mm ²]
1-1-1	55,05	34,04
1-1-2	52,95	33,10
1-2-1	49,78	31,10
1-2-2	51,95	32,48
1-3-1	49,28	30,80
1-3-2	49,94	31,22

Tabel 6: Resultaat drukproef



Figuur 9: Drukproef

5.3 Materiaalstaat

In tabel 7 is de materiaalstaat gegeven van het BetonBrouwsel 2008. Aangezien het merendeel van het gewicht wordt bepaald door de gebruikte hoeveelheid beton kan hieruit afgeleid worden dat de kano ongeveer 90 kg zal wegen.

Onderdeel	Materiaal	Aantal per eenheid	Aantal eenheden	Totaal
Beton	CEM I 52,5N	0,455 kg/l	40 l	18,18 kg
	Limestone powder	0,469 kg/l	40 l	18,40 kg
	Sand 0-1	1,040 kg/l	40 l	41,60 kg
	Water	0.272 kg/l	40 l	10,91 kg
	Pigment	0,023 kg/l	40 l	0,91 kg
Wapening	Steelcord 3x0.22/9x0.20+0.15 CC	5,5 m/st.	40 st.	220 m
	Glasvezelmat 5x5	3,2 m ² /st.	1 st.	3,2 m ²
Luchtkamers ²	Plastic folie	4 m ² /st	1 st.	4 m ²
	Draadogen + Moeren		8 st	8 st
	Geplastificeerd staaldraad	2 m/st	2 st	4 m
	Haken		4 st	4 st
Afwerking ²	Verf	1,5 l/st.	1 st.	1,5 l
	Isolatiebuis	5,5m/st.	2st.	11m
	Montagekit	nihil		nihil

Tabel 7: De materiaalstaat

² Op dit moment zijn deze nog niet aangebracht. De aangegeven hoeveelheid is daarmee dus een schatting

6 Het B(r)ouwproces

Na het komen tot een dijk van een ontwerp moet dit natuurlijk altijd nog gerealiseerd worden. De eerste uitdaging is het bouwen van een mal die naast de perfecte vorm ook nog eens geschikt is om het voorspanconcept in praktijk te brengen. De mal is reeds gerealiseerd in 2007, waarna er voor 2008 enkele aanpassingen aan gedaan zijn. De tweede uitdaging is het storten van de kano's zelf, een proces dat over het jaar heen de nodige optimalisatie is ondergaan. Na het storten moet de ruwe kano nog afgewerkt worden tot een kunstwerk dat onze concurrenten Delft doet verbleken.

6.1 De mal

Zonder mal géén kano. Iedere betonkanobouwer moet deze zin wel bekend in de oren klinken. Voor de bouw van de Concept-kano is gekozen voor het gebruik van een (positieve) binnenmal. Het beton zal dus aan de buitenkant van de mal worden gestort. De gebruikte mal is een 'gepimpte' K2 kano (zie figuur 10) die eind juni 2007 in het bezit van de BetonBrouwers kwam. Aangezien het een kano betrof met een gesloten bovenzijde, werd besloten dit gedeelte van de kano af te zagen waardoor alleen de romp overbleef. Hiermee was het begin voor de mal gemaakt.



Figuur 11: houten raamwerk

Omdat de overgebleven romp *Figuur 10: K2 kano*

bijna geen stijfheid bevatte werd begonnen de romp te verstevigen en te verhogen. Dit laatste om te zorgen dat de kano hoog genoeg werd om te garanderen dat de bovenkant van de kano niet onder de waterlijn zou liggen. Een houten raamwerk werd aan de binnenkant van de romp bevestigd (zie figuur 11). Deze constructie werd later verstevigd door in de hele mal een aantal liters gips te verwerken met daarin een wapening van kippengaas. Wat resulteerde was een zeer stijve mal die tijdens het storten in geen gevallen zou gaan bezwijken. Een groot nadeel van het gebruik van het gips was echter wel dat de massa van het geheel erg groot werd met het gevolg dat voor het optillen van de mal plus kano minstens acht mensen nodig waren. Dit gebeuren komt later nog aan bod. Het verhogen van de kano werd verwezenlijkt door aan de binnenkant van de mal tegen de rand houten schotten te plaatsen.

Hiertegen kon vervolgens gips worden aangebracht zodat de kano uiteindelijk ongeveer 5cm hoger zou worden. Afvlakken en opschuren was de laatste stap binnen het bouwproces van de mal (zie figuur 12 op de volgende pagina).

Om de zorgen dat bij het 'ontkisten' van de kano's geen grote problemen zouden ontstaan en om flexibel met de mal te kunnen werken, werd de mal in drieën gedeeld. De indeling van deze drie delen komen overeen met het in figuur 5 getoonde bovenaanzicht van de kano. De kano kon zo ontkist worden door eerst het middenstuk te verwijderen en vervolgens de twee buitenste stukken naar binnen te schuiven.

Zoals eerder in dit verslag gemeld werd, zou gebruik worden gemaakt van voorgespannen wapening. Om de wapening echter voor te spannen zijn krachten nodig die door een bepaalde constructie moeten worden opgenomen. In samenwerking met een welwillende werktuigbouwkundigen van studievereniging Isaac Newton is



Figuur 12: Opschuren mal



Figuur 13: De mal op de stalen constructie

een stalen constructie in elkaar gelast die de gewichten (waarmee de stalen koorden werden voorgespannen) moest gaan bergen. Het resultaat was een stalen constructie van kokers en stripjes met een totale lengte van ongeveer 6,5 meter en een breedte van 0,8 meter. Hierbij werd ook deze constructie in een aantal delen gebouwd zodat het transport van de bok werd vergemakkelijkt en de kniklengte van de stalen onderdelen verminderd. De in elkaar gezette stalen constructie en de positieve mal zijn te zien in figuur 13.

In 2007 zijn de kabels voorgespannen met gewichten geleend bij het Nederlandse leger. Deze samenwerking was 2008 echter ten einde, waardoor naar een nieuwe methode gezocht moest worden. De kabels zijn nu met behulp van draadspanners bevestigd aan de stalen constructie. Hierna is de stalen constructie met behulp van krikken uit elkaar getrokken om zo de gewenste spanning op de kabels te krijgen.

6.2 Het kano B(r)ouwenproces

Het storten van kano's is een klusje dat gebaad is bij de nodige ervaring en precisie. Een eerste stap is het oliën van de mal. Dit wordt gedaan met motorolie om te zorgen dat het aan te brengen beton niet aan de mal gaat hechten. Op de laag olie wordt vervolgens een laag afdekfolie aangebracht om de mal te beschermen en het ontkisten nog verder te vergemakkelijken. Het is bij het aanbrengen van het folie zaak om voor zo weinig mogelijk luchtballen en rimpels te zorgen. Dit laat sporen achter na het storten van de kano.

Het stalen koord met een totale lengte van zo'n 250 meter wordt in een stuk door de voor en achterkant van het stalen frame geregen. De uiteinden worden bevestigd met draadspanners die ervoor zorgen dat de kabel netjes strak staat. De draad wordt hierbij over



Figuur 14: Mal met kabels & afstandhouders

de mal geplaatst en doormiddel van betonnen afstandhouders van de mal 'afgehouden' (zie figuur 14 op de vorige pagina). Onder afstandhouders worden betonnen reepjes van +/- 1 x 1 x 0,3 cm bedoeld. Deze betonnen stukjes werden tussen de staaldraden en de mal geplaatst om te zorgen dat het te storten beton goed rond de draden vloeit. Omdat de afstandhouders ook van beton worden gemaakt zullen deze uiteindelijk één geheel vormen met de rest van het beton. Om de staaldraad tenslotte op een gelijkmatige manier over de mal te verdelen werden, waar nodig, koordjes van katoen gebruikt die later in het beton oplossen.



Figuur 15: BetonBrouwen

Met het afronden van het plaatsen van de wapening kan een begin worden gemaakt met het 'brouwen' van het beton (zie figuur 15). Het betonmengsel wordt aangemaakt in batches van 10 liter. Met de hand, plamuurmessen en rollertjes, wordt het beton zo glad mogelijk over de staaldraden aangebracht met een dikte van ongeveer 5 mm. Over de draden wordt een laag glasvezelmatten aangebracht, waarna nog een dunne afwerklaag wordt aangebracht. Het gladmaken van het beton is een werk waarvoor de precisie van een stukadoor is vereist. De gestorte kano's worden afgedekt met een stuk folie en een week vochtig gehouden om scheurvorming tegen te gaan.

Na ongeveer een week is de (grote) dag van het ontkisten aangebroken. Een, al voor het storten van het beton aangebrachte, houten draagconstructie zorgt dat de mal + kano verplaatst kunnen worden. Maar liefst acht (!) personen waren nodig om het paar honderd kilo wegende geheel van mal en kano te verplaatsten. Het besluit om



Figuur 16: Ontkisten



Figuur 17: De ontkiste kano

de mal in drie delen in te delen blijkt goud waard tijdens het ontkisten. De boutverbinding tussen de onderdelen van de mal wordt verbroken, waarna met vereende krachten het middelgedeelte van de mal uit de kano kan

worden getrokken. Hierna is het een peulenschilletje om de uiteinden van de mal los te trekken uit de kano. Wat overblijft, is een ruwe betonnen Canadees van ongeveer 90 kg, welke een dag na het storten ligt geschuurd wordt.

In de dagen na het ontkisten is het zaak de kano goed te bevochtigen zodat uitdroging van de boot niet aan de orde is. Een laag afdekfolie moet daarbij zorgen dat stof en vuil de kano niet aantast. In de figuren 16 en 17 op de vorige pagina ziet u het ontkisten van de kano (figuur 16) en de ontkiste kano (figuur 17).

Wat nu nog rest is het afwerken van de kano's. Hoewel het beton al is voorzien van een kleur (zie figuur 18) en dermate fijn verdeeld is dat verf niet noodzakelijk is, zal vanuit esthetisch oogpunt toch een laagje waterglas worden gesmeerd over de romp. Hierover zal de sponsoring en eventuele artistieke vrijheden worden aangebracht. Als drijflichaam wordt dit jaar een kunststof zak gemaakt welke bevestigd zal worden aan de romp met behulp van draadogen en haken. De rand wordt vervolgens nog netjes afgewerkt met buisisolatie.

Om het helemaal af te maken wordt er zo nu en dan ook een bezoek gebracht aan het prachtige Twentekanaal (zie figuur 18). Want net als met het kanobouwen geldt ook hier: oefening baart kunst. Nu hopen dat de oefening zijn vruchten ook afwerpt en dat we in ieder geval veilig door de Delftse grachten weten te manoeuvreren.



Figuur 18: Sevrien en Frank klaar voor een kanotocht

7 Tot Slot

Op dit moment is er één kano ontlast en duurt het nog maar enkele uren voordat de twee kano van de mal wordt ontdaan. Ondanks dat het productieproces dit jaar enigszins afweek van dat van vorig jaar zijn we geen onoverkomelijke problemen tegengekomen, de nieuwe voorspanmethode bleek prima te werken en ook de pigmenten zijn een succes. Mede dankzij de ervaring die een deel van ons vorig jaar heeft opgedaan is het bouwen van de kano's dit jaar voorspoedig verlopen. Wat ons nu nog rest is het storten van de derde en laatste kano en de afwerking van de drie prachtige stukjes BetonBrouwen.

Volgens de in dit verslag behandelde berekeningen moeten de kano's de optredende krachten kunnen trotseren en blijven ze drijven. Nu hopen dat ook dit jaar de theorie overeenkomt met de praktijk en dat we er een mooie race van kunnen maken!

Wij hopen dat aan de hand van dit constructieverslag voldoende duidelijkheid is verkregen in de manier waarop wij onze kano's hebben gebouwd en de achterliggende ideeën. Namens de voltallige crew wil ik u bedanken voor het lezen van dit constructieverslag, hopelijk heeft u er van genoten.



Figuur 19: De BetonBrouwers (excl. Daniël) en afgevaardigde van het Concept bestuur 2008 bij de 2e kano

8 Contactgegevens

Hieronder vind u de contactgegevens van studievereniging Concept, waarvan de bouwcommissie deel uit maakt. Daarnaast staan hieronder ook de contactgegevens vermeld van de voorzitter van de bouwcommissie, en daarmee onze teamcaptain, Johan de Waard en tot slot de contactgegevens van de evenement commissaris van de bouwcommissie, Frank Aarns.

Studievereniging Concept

Studievereniging van de opleiding Civiele Techniek aan de Universiteit Twente.

A: Horst C-016 C-018
Postbus 217
7500 AE Enschede
T: +3153 489 3884
E: Concept@Concept.utwente.nl
I: www.Concept.utwente.nl

Johan de Waard

Voorzitter BetonBrouwers

A: Reudinkstraat 14
7511 ZH Enschede
T: +316 4488 0895
E: bouwcie@concept.utwente.nl
I: www.BetonBrouwers.nl

Frank Aarns

Evenement Commissaris BetonBrouwers

A: Olieslagweg 95
7521 HZ Enschede
T: +316 464 333 77
E: f.aarns@student.utwente.nl
I: www.BetonBrouwers.nl