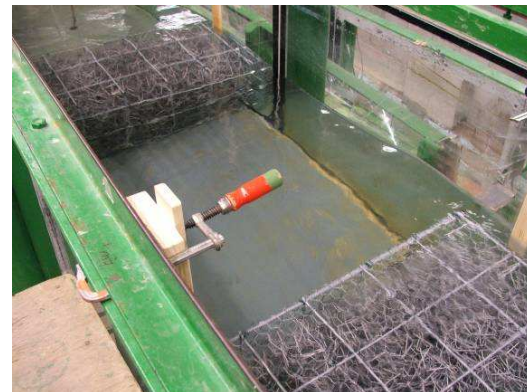
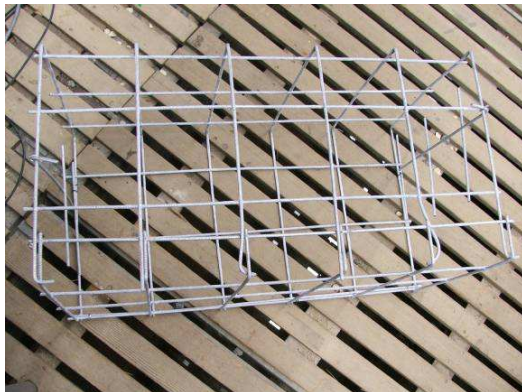


Experimenteel onderzoek naar het effect van Ground Consolidators op golven

Uitgevoerd in het Laboratorium voor Vloeistofmechanica van de TU Delft van 9 november tot 18 december 2009

Door M. van der Boon



Inhoudsopgave

1.	INLEIDING	3
2.	GOLFREDUCTIE PROEVEN	4
2.1	Proefopstelling	4
2.2	Resultaten	4
2.2.1	Algemeen	4
2.2.2	Verschillende constructies	4
2.2.3	Afstand tussen twee kubussen	5
2.2.4	Staande of liggende constructie	6
2.2.5	Holle ruimte met of zonder schotten	6
2.2.6	Kunststof of stalen GC's	8
2.3	Conclusies	9
3.	VERDICHTINGSPROEVEN	10
3.1	Proefopstelling	10
3.1.1	Aanleiding	10
3.1.2	Uitvoering	10
3.2	Resultaten	10
3.3	Conclusies	11
4.	SNELHEIDSPROEVEN	12
4.1	Proefopstelling	12
4.2	Resultaten	12
4.3	Conclusies	14
5.	VALPROEVEN	15
5.1	Proefopstelling	15
5.2	Resultaten	15
5.3	Conclusie	17
6.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	18

1. Inleiding

Dit rapport bevat de meetresultaten en conclusies van proeven met GC's (Ground Consolidators) die zijn uitgevoerd in november en december 2009 in het Laboratorium voor Vloeistofmechanica van de TU Delft. Het doel van de proeven is het verkrijgen van inzicht in de hydraulische eigenschappen van GC's en de optimale vorm van een GC-kunstrif onder golfbelasting.

De proeven zijn uitgevoerd ter voorbereiding op de bouw van een kunstrif bestaande uit GC's in de Waterproeftuin. Dit is een proefgebied in het Markermeer waar initiatiefnemers de gelegenheid wordt geboden om ervaring op te doen met innovatieve materialen en technieken. De Waterproeftuin is een onderdeel van het Ontwikkelingsplan Markermeer-IJmeer, ter ontwikkeling van een gezond ecologisch systeem en een klimaatbestendig watersysteem in het Markermeer en IJmeer.

Er is gekozen voor een aanpak met 'bouwblokken', waarbij een rif opgebouwd wordt uit elementen gevuld met GC's. Op die manier wordt een dataset verkregen voor een aantal elementaire vormen. Een opdrachtgever hoeft dan slechts zijn eisen op te geven en in korte tijd kan een GC constructie 'in elkaar gezet' worden, zonder dat daar nog veel ontwerp tijd in gaat zitten.

In dit rapport staan de resultaten van de uitgevoerde proeven en de conclusies die daaruit voortgekomen zijn.

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de proeven die gericht waren op golfreductie. Voor verschillende constructies, waterstanden en golfhoogtes is de golfhoogte voor en na de constructie gemeten.

In hoofdstuk 3 zijn de verdichtingsproeven uitgewerkt. De gebruikte constructies bestaan uit frames van betongaas die gevuld zijn met GC's. Door het tellen van de hoeveelheid GC's die erin paste, kon de verdichting bepaald worden.

De resultaten van de snelheidsmetingen worden behandeld in hoofdstuk 4.

In hoofdstuk 5 worden de valproeven toegelicht. Boven een grote glazen bak gevuld met water zijn GC's losgelaten. Met behulp van video-opnames is de valsnelheid van GC's in water bepaald.

Tijdens de experimenten zijn veel foto's en video-opnames gemaakt. Deze zijn te vinden op de dvd die bij dit verslag gevoegd is. Hierop zijn ook alle meetgegevens in digitale vorm te vinden. Aan dit onderzoek is vanuit de TUDelft technische ondersteuning verleend door S. de Vree en A.M. den Toom; de wetenschappelijke begeleiding is verzorgd door W. Uijttewaai.

2. Golfreductie proeven

Het doel van deze proeven is:

- Het bepalen van de reductie van de gemiddelde golfamplitude door GC's
- Testen of de dempingsbijdragen van elementen gevuld met GC's eenvoudig te schatten zijn wanneer deze in verschillende combinaties gebruikt worden.

2.1 Proefopstelling

De golfreductie proeven zijn in de golfgoot uitgevoerd. Deze heeft een lengte van 32 meter, een breedte van 80cm en een hoogte van 85cm. De golfhoogtes zijn gemeten met drie golfmeters voor de constructie en drie golfmeters erachter. Dit gaf voldoende waarden om met behulp van een databewerkingsprogramma (MATLAB) de afname van de golfamplitude te berekenen waarbij reflecties die aan de constructie optreden weggefilterd zijn. De proeven zijn uitgevoerd met onregelmatige golven. Per proef zijn minimaal 1000 golven over de constructie heen gegaan. De steilheid van de golven is constant gehouden op 5%.

Met behulp van betongaas en kippengaas zijn verschillende frames gebouwd in de vorm van driehoeken en kubussen. Deze zijn gevuld met GC's en vervolgens in verschillende combinaties in de golfgoot getest. De kubussen en driehoeken hadden een breedte en hoogte van 40cm. De lengte besloeg steeds de volledige breedte van de golfgoot 0.8m.

De gebruikte GC's zijn van staal en hebben ribben van 50mm en een draaddikte van 2mm. Enkele proeven zijn met GC's van kunststof uitgevoerd. Ook deze hebben ribben van 54mm, maar de ribben zijn dikker en rechthoekig 4mm bij 4mm. Tenzij anders vermeld zijn de proeven uitgevoerd met stalen GC's.



Afbeelding 2.1: Verschillende GC-constructies: Kubus 0.4m bij 0.4m bij 0.8m (links), Trapezium opgebouwd uit een kubus en twee driehoeken (rechts).

2.2 Resultaten

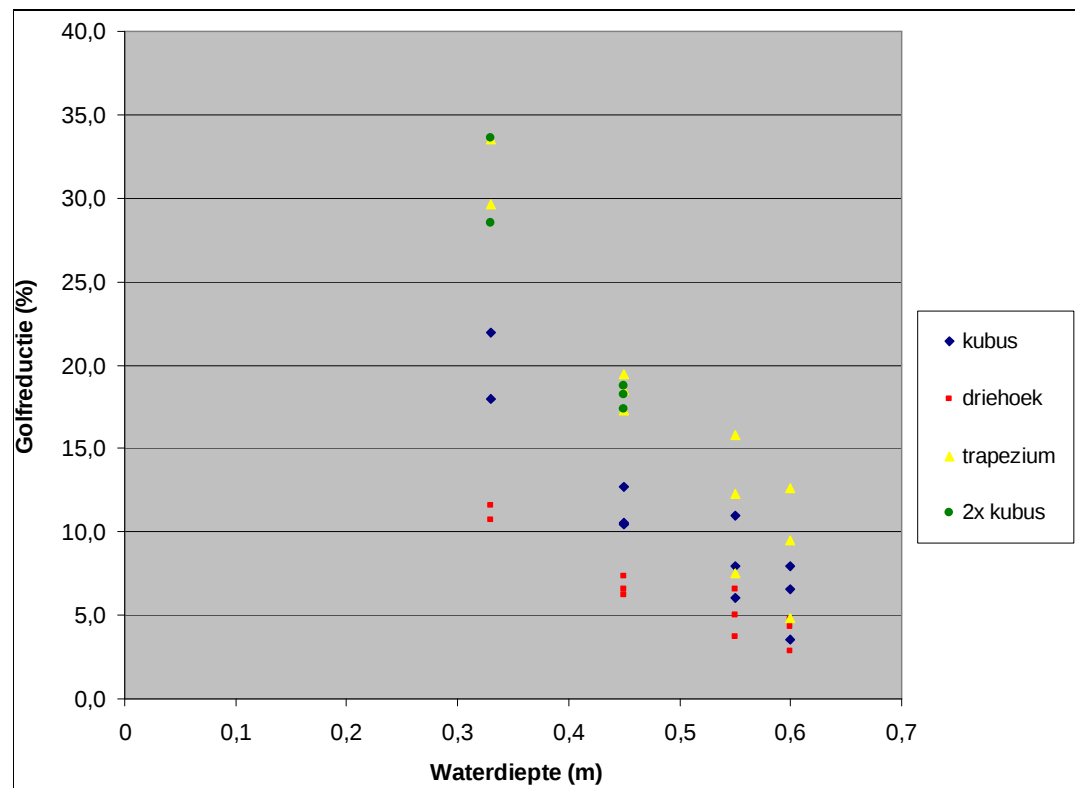
2.2.1 Algemeen

Een totaaloverzicht van de meetresultaten is te vinden in bijlage 1. In onderstaande paragrafen worden de verschillende metingen toegelicht en vergeleken.

2.2.2 Verschillende constructies

Er zijn verschillende constructies getest: een kubus, een driehoek, twee kubussen en een trapezium bestaande uit een kubus met twee driehoeken. Voor al deze combinaties is gewerkt met dezelfde

combinaties van waterdiepte, golfhoogte en golfperiode. In onderstaande grafiek zijn de gemeten golfreducties voor de vier constructies uitgezet tegen de waterdiepte.



Afbeelding 2.2: Golfreductie van verschillende constructies als functie van de gemiddelde waterdiepte. De constructies hebben alle een hoogte van 0.4 m.

Geconcludeerd kan worden dat meer GC's meer golfreductie opleveren. De reductie neemt af met toenemende waterdiepte. In twee kubussen zitten evenveel GC's als in het trapezium. De golfreductie is vrijwel hetzelfde.

2.2.3 Afstand tussen twee kubussen

Het doel van deze proef was om uit te zoeken of de golfreductie verandert als de afstand tussen twee gelijke kubussen varieert. Hieronder staat een tabel met resultaten van de proeven.

	geen afstand	1/4 golflengte	1/2 golflengte
$H_{\text{voor}}=0,08\text{m}$, $T_p=1,07\text{s}$	18,7	18,6	18,9
$H_{\text{voor}}=0,12\text{m}$, $T_p=1,41\text{s}$	17,4	18,7	18,3
$H_{\text{voor}}=0,16\text{m}$, $T_p=1,97\text{s}$	18,2	19,3	19,1

Tabel 2.1: Golfreductie (%) voor waterdiepte 45cm.

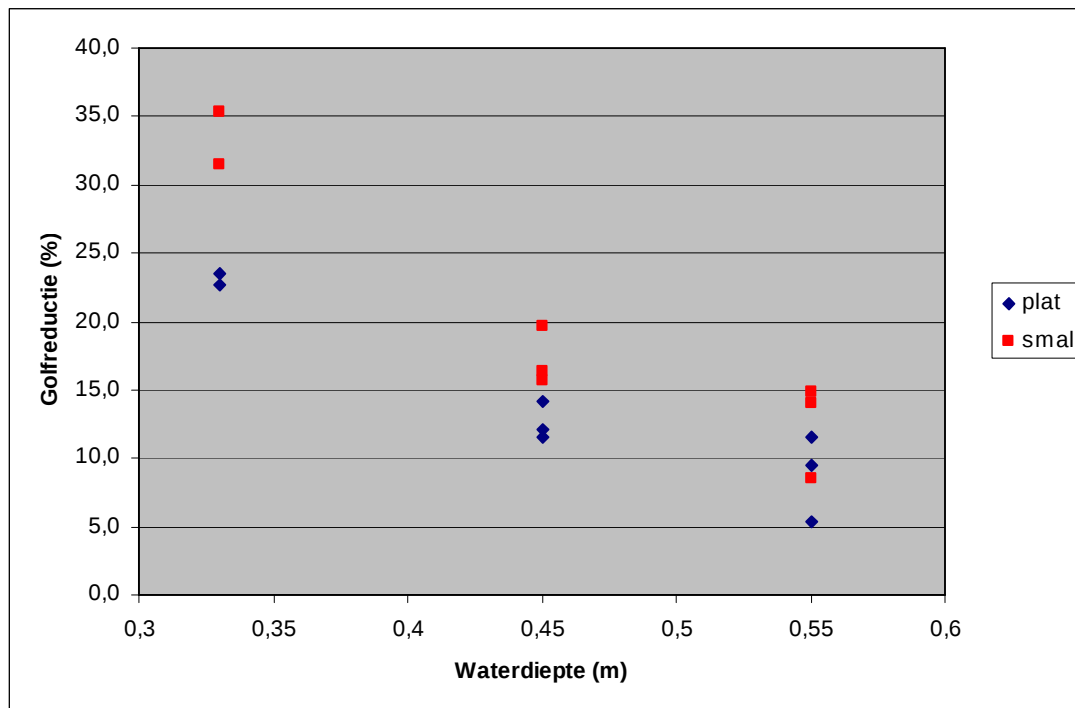
	geen afstand	1/4 golflengte	1/2 golflengte
$H_{\text{voor}}=0,10\text{m}$, $T_p=1,11\text{s}$	33,6	33,5	33,6
$H_{\text{voor}}=0,12\text{m}$, $T_p=1,80\text{s}$	28,5	29,2	28,6

Tabel 2.2: Golfreductie (%) voor waterdiepte 33cm.

Uit de gevonden resultaten volgt dat de afstand tussen twee kubussen een verwaarloosbare invloed heeft op de golfreductie.

2.2.4 Staande of liggende constructie

Voor deze proef is een rechthoekig frame van 40cm x 27cm gevuld met kunststof GC's. De rechthoek is eerst met de lange kant op de bodem gelegd (plat) en vervolgens met de korte zijde (smal).

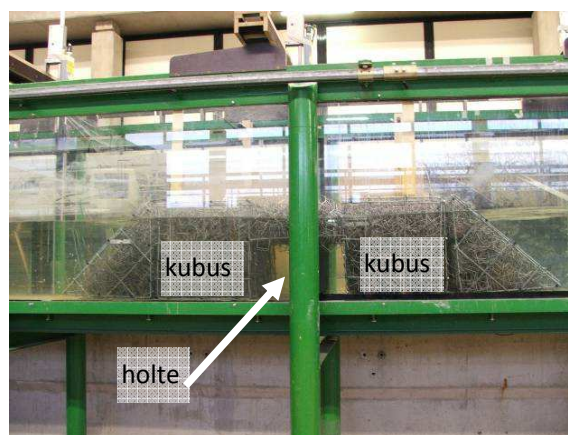


Afbeelding 2.3: Golfhoogte-reductie voor staande (0.4m hoog) of liggende (0.27m hoog) constructie.

Uit bovenstaande grafiek volgt dat de smalle, hoge constructie meer golfreductie oplevert dan de lange, platte constructie. Dit verschil neemt af wanneer de waterdiepte boven de kruin toeneemt. Dit bevestigt de gevoeligheid van de golfreductie voor de waterdiepte ten opzichte van de kruinhoogte.

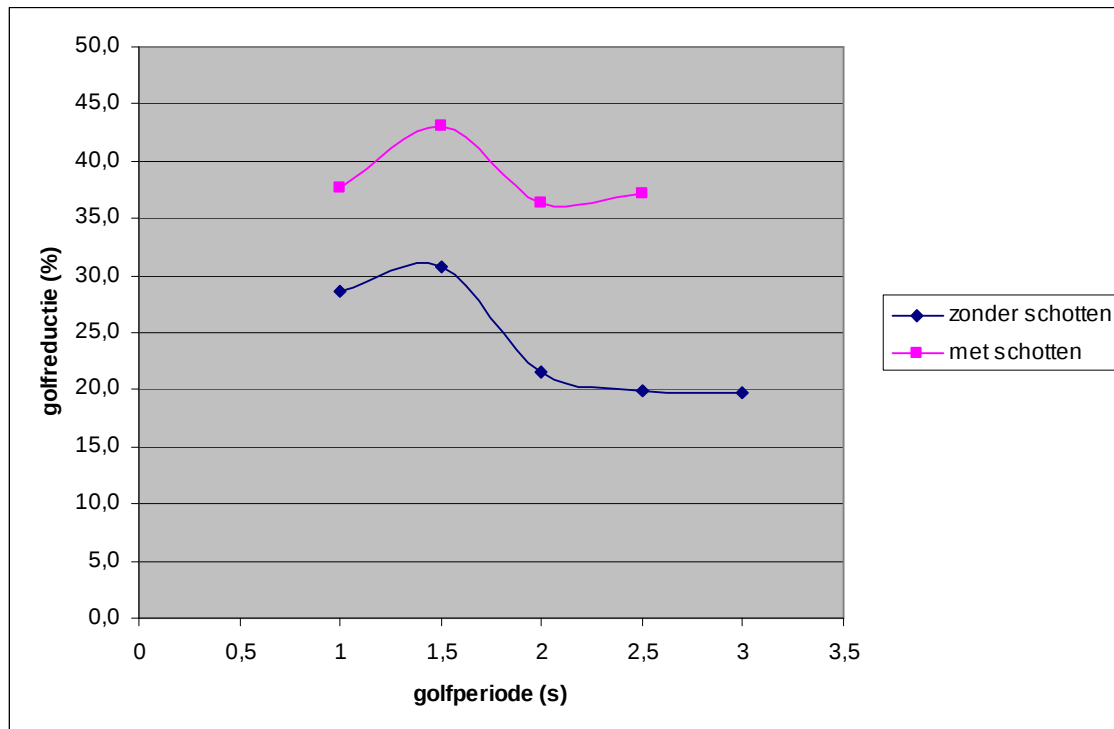
2.2.5 Holle ruimte met of zonder schotten

Voor deze proef is een holle ruimte in de constructie gemaakt (zie afbeelding 2.4).



Afbeelding 2.4: Constructie bestaande uit 2 driehoeken en 2 kubussen met een holle ruimte in het midden afgedekt met een 10cm dikke laag van GC's.

Deze ruimte is eerst in langsrichting doorlaatbaar gelaten. Later zijn twee verticale schotten geplaatst aan de binnenkant van de holle ruimte, tegen de kubussen aan.



Afbeelding 2.5: Golfreductie bij een waterdiepte van 45cm voor de constructie zoals te zien in afbeelding 2.4.

Golfhoogte (in m)	zonder schotten	met schotten
0,1	45,9	70,3
0,15	40,7	65,4

Tabel 2.3: Golfreductie bij een waterdiepte van 45cm.

De holle ruimte met schotten geeft gemiddeld 10-15% meer golfhoogtereductie dan de doorlaatbare ruimte bij een waterdiepte van 45 cm (net boven de kruin). Voor een diepte van 33cm is dit ongeveer 25%.

2.2.6 Kunststof versus stalen GC's

De meeste proeven zijn uitgevoerd met stalen GC's. Enkele proeven zijn uitgevoerd met GC's gemaakt van kunststof. De stalen GC's hebben dünnere ribben, die bovendien een ronde doorsnede hebben .



Afbeelding 2.6: Rechthoek gevuld met kunststof GC's.

Er is gekeken of deze verschillen veel invloed hebben op de golfdemping. Omdat er niet voldoende kunststof GC's waren om een volledige kubus te vullen moet een omrekenfactor gebruikt worden om te kunnen vergelijken met stalen GC's. De golfdemping van twee kubussen (met stalen GC's) is gemiddeld een factor 1,60 groter dan die van een enkele kubus.

Er is een rechthoek van 40cm hoogte en 27cm breedte gevuld met kunststof GC's. Een kubus van 40cm bij 40cm is dus $\frac{40}{27} = 1.48$ maal zo groot. Om de rechthoek met kunststof-GC's te vergelijken

met een kubus van 40cm x 40cm, moet dus een omrekenfactor van $\frac{1.60}{1.48} = 1.081$ gebruikt worden.

Dit is hieronder uitgewerkt.

d (in m)	gew. Hs (in m)	reductie kunststof	reductie kunststof x 1,081	reductie stalen kubus
0,45	10	19,7	21,3	12,7
0,45	15	15,7	17,0	10,4
0,45	20	16,4	17,7	10,5
0,33	10	35,3	38,2	21,9
0,33	15	31,5	34,1	18,0
0,55	10	8,6	9,3	6,0
0,55	15	14,1	15,2	8,0
0,55	20	14,8	16,0	11,0

Tabel 2.4: Vergelijking kunststof en stalen GC's.

Hieruit volgt dat de kunststof GC's inderdaad meer golfdemping opleveren. Het verschil varieert tussen de 3 en 16% en is afhankelijk van de waterdiepte. Hoe dieper het water hoe kleiner het verschil tussen de demping door de stalen en de kunststof GC's.

2.3 Conclusies

Er zijn verschillende constructies met GC's getest onder verschillende golfomstandigheden. Uit de meetresultaten blijken de volgende conclusies:

- Grotere GC-constructies zorgen voor meer golfdemping.
- De golfperiode blijft voor en achter de constructie gelijk.
- Twee constructies uit elkaar zetten levert nauwelijks meer golfdemping op dan wanneer deze tegen elkaar gezet worden.
- De kunststof GC's dempen beter dan de stalen GC's.
- Een constructie met hoge kruinhoogte levert meer demping dan een platte constructie met hetzelfde volume.

3. Verdichtingsproeven

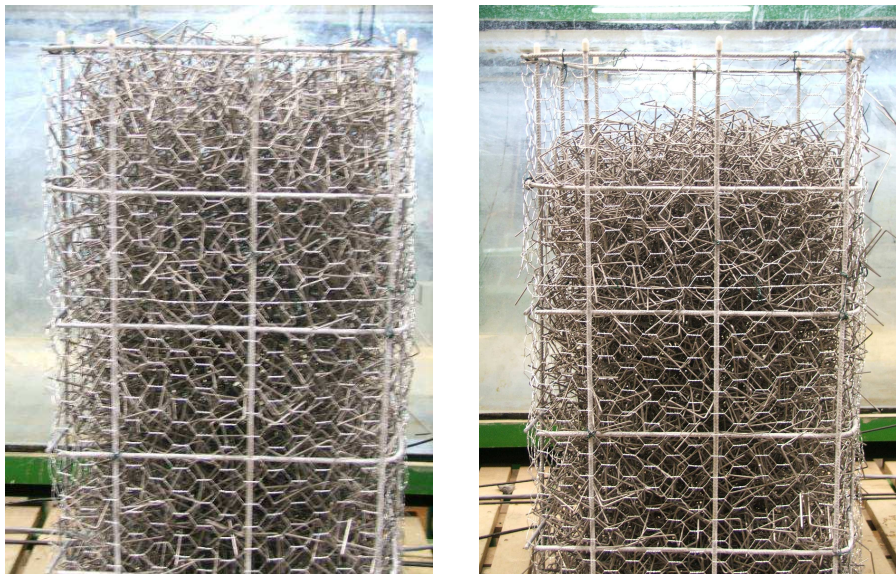
3.1 Proefopstelling

3.1.1 Aanleiding

Op dit moment loopt een pilotproject in de haven van Rotterdam met GC's op ware grootte als oeverbescherming. Uit dit project bleek dat de GC's behoorlijk inklonken. Per vierkante meter werden 45 geplaatst. De dikte van de GC laag direct na aanleg was 70 cm. Na enkele weken was dit nog 45-50 cm. Daarom is bij de schaalproeven ook aandacht besteed aan de verdichting van de GC's.

3.1.2 Uitvoering

Bij het vullen van de frames is geteld hoeveel GC's erin pasten. Vervolgens zijn de kubussen en driehoeken heen en weer geschut. Daardoor zakten de GC's in elkaar en pasten er nog meer bij. Ook deze zijn geteld. Aan de hand hiervan kon de verdichtingsgraad bepaald worden.



Afbeelding 3.1: Kubus voor (l) en na (r) schudden.

3.2 Resultaten

In onderstaande tabel zijn de aantallen GC's in de frames voor en na verdichten opgesomd.

	voor verdichting	aangevuld	eind aantal
Kubus 1	2300	300	2600
Kubus 2	2100	300	2400
Driehoek 1	1100	250	1350
Driehoek 2	1150	200	1350

Tabel 3.1: Verdichting in de frames.

Voor de berekening van de verdichting wordt deze formule gebruikt:

$$\text{Verdichting} = \frac{\text{aangevuld}}{\text{eindaantal}}$$

Dit geeft een gemiddelde verdichting van 14%. Uit de foto's van de kubus bleek dat de GC laag 8cm was afgenomen. Dit geeft een verdichting van 20%.

In onderstaande tabel zijn de eindaantallen GC's na verdichting omgerekend naar aantallen per kubieke meter. In de kolom daarnaast staat het aantal GC's van normale grootte (ribbe 30cm) dat hiermee overeen komt.

	per m ³	real-size GC's per m ³
Kubus 1	20300	94
Kubus 2	18800	87
Driehoek 1	21100	98
Driehoek 2	21100	98

Tabel 3.2: Omrekening naar GC's op ware grootte.

Dit geeft een gemiddelde van 94 GC's per kubieke meter. Dit komt aardig overeen met het aantal GC's per kubieke meter toegepast in het pilotproject op de Maasvlakte ($45 \cdot 2 = 100$ GC's/m³)

3.3 Conclusies

Uit de uitgevoerde proeven bleek dat de verdichting van de GC's ongeveer 14% is. Deze waarde is niet nauwkeurig omdat de ene kubus van bovenaf gevuld is en de andere vanaf de zijkant. Bovendien konden de hoeken in de driehoek-frames niet goed gevuld worden.

Wel komt het berekende aantal GC's/m³ goed overeen met wat in de praktijk is gebleken.

4. Snelheidspoeven

4.1 Proefopstelling

Voor deze proef is de opstelling uit afbeelding 4.1 getest. De snelheden in x- en y- richting zijn met behulp van snelheidsmeters voor, in en achter de constructie gemeten. De x- richting is gedefinieerd als de richting parallel aan de goot, de y-richting loodrecht daarop. Beide in het horizontale vlak.

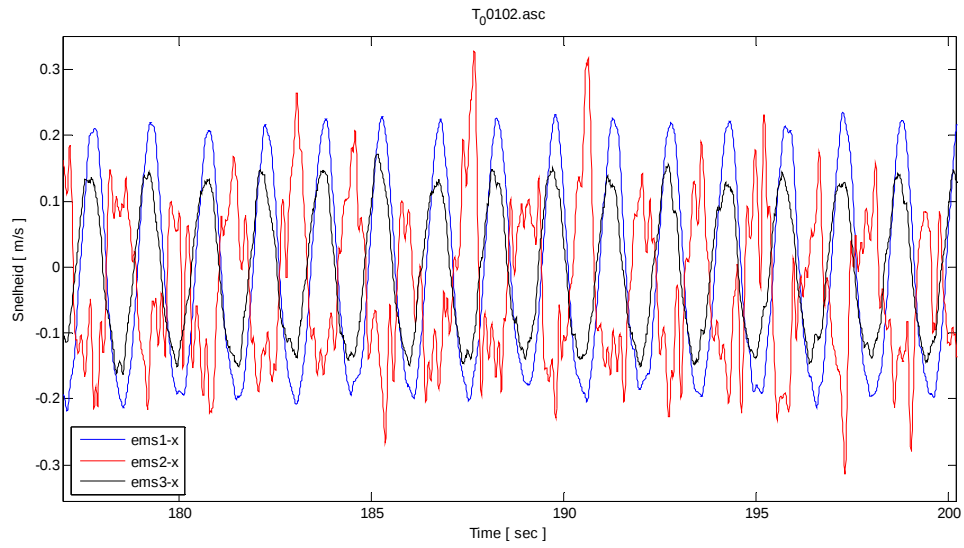


Afbeelding 4.1: Opstelling met holle ruimte (l) en opbouw met snelheidsmeter (r).

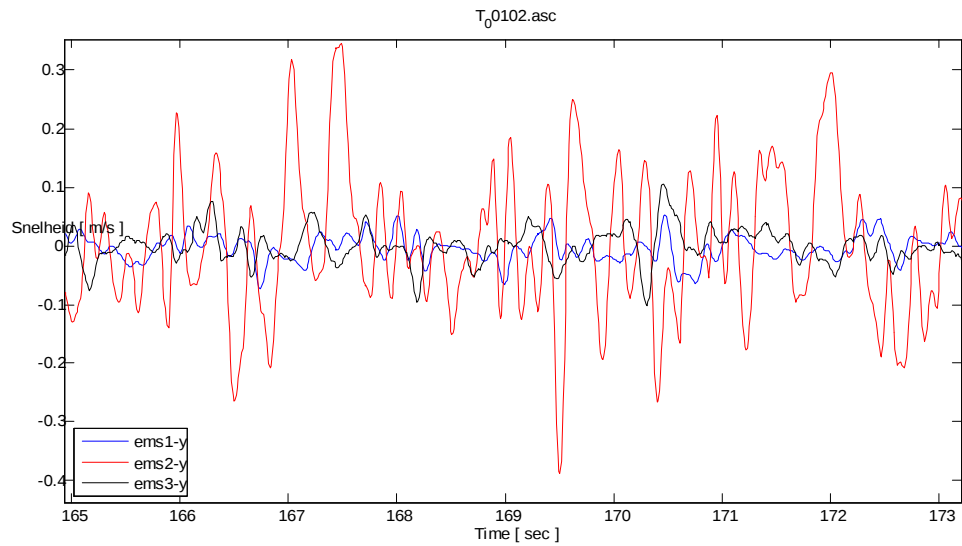
Bij de eerste serie metingen was de constructie volledig doorlaatbaar. Voor de tweede serie metingen zijn in de holle ruimte twee houten schotten geplaatst tegen de kubussen aan. Op die manier kon enkel water van bovenaf de holle ruimte inkomen. Er is bij deze proef gewerkt met regelmatige golven.

4.2 Resultaten

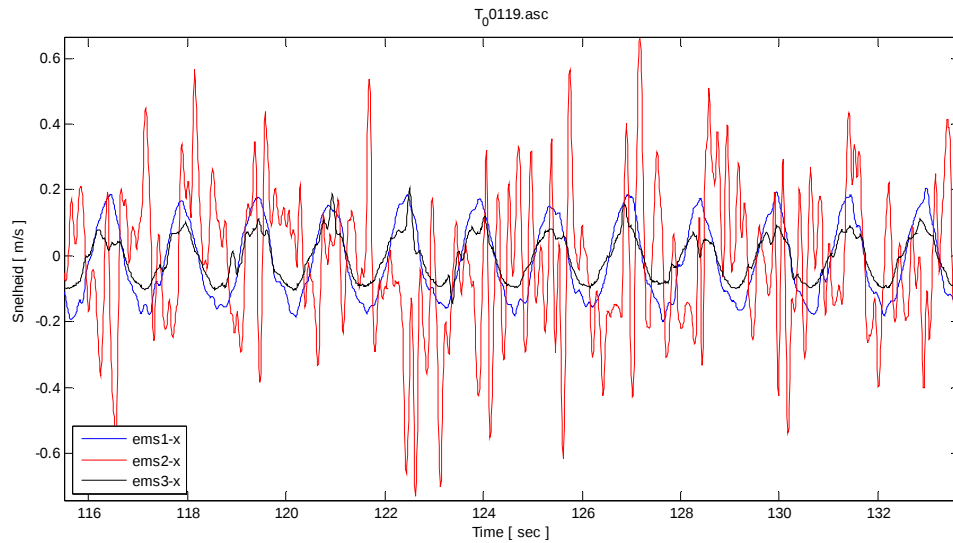
Hieronder zijn de resultaten te zien van twee metingen, een zonder schotten en een met. Voor beide proeven is een waterdiepte van 45cm, een golfhoogte van 15cm voor regelmatige golven met een golfperiode T_p van 1,5s aangehouden. De snelheden zijn gemeten op 15cm boven de bodem, waarbij EMS1 voor het rif, EMS2 in de holte van het rif en EMS3 achter het rif stond.



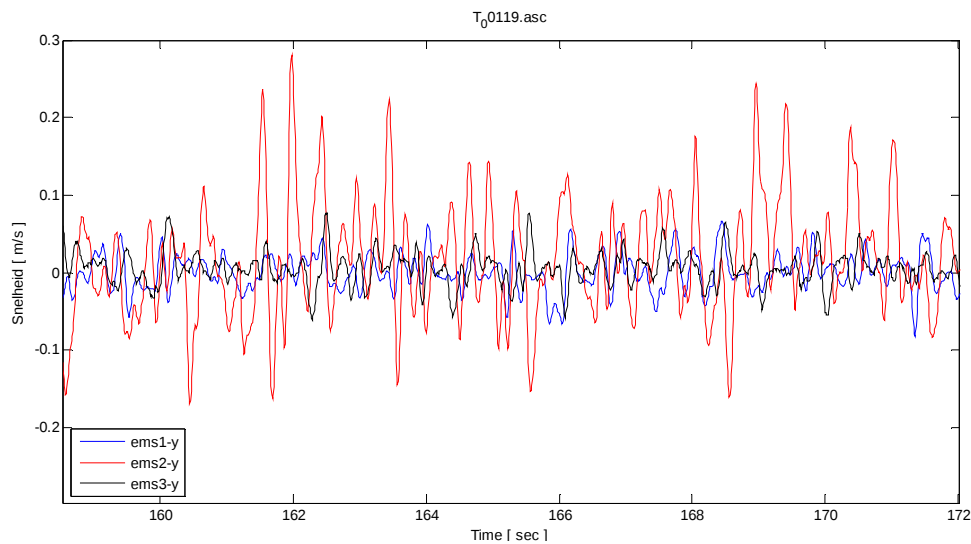
Afbeelding 4.2: Holle ruimte zonder schotten, snelheid in x-richting.



Afbeelding 4.3: Holle ruimte zonder schotten, snelheid in y-richting.



Afbeelding 4.4: Holle ruimte met schotten, snelheid in x-richting.



Afbeelding 4.5: Holle ruimte met schotten, snelheid in y-richting.

4.3 Conclusies

In de x-richting neemt de snelheid van het water af achter de constructie. Er ontstaan relatief kleine snelheden in de y-richting. In de holle ruimte ontstaan in beide richtingen grote snelheden die een turbulent karakter hebben. Er is geen duidelijk verschil zichtbaar tussen de constructie met of zonder schotten. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat er een neer ontstaat in de holle ruimte doordat de stroming in de ruimte voor een belangrijk deel aangedreven wordt door water dat bovenaf uitwisseling heeft met de holle ruimte. De schotten hebben hier weinig invloed op.

5. Valproeven

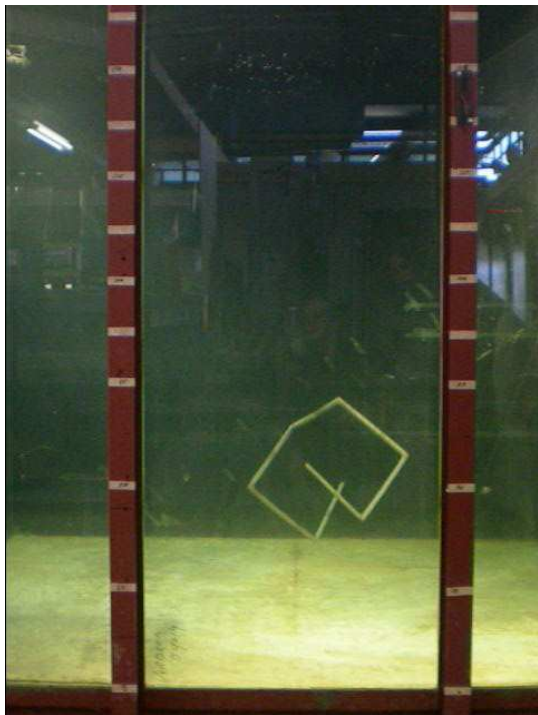
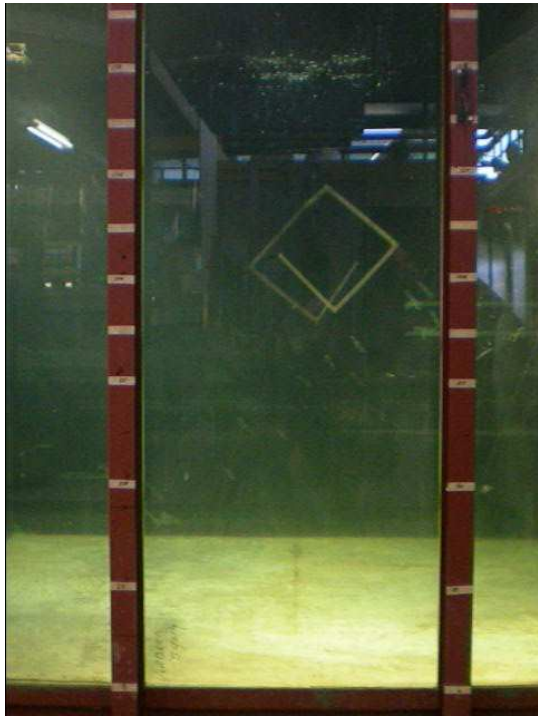
5.1 Proefopstelling

Voor deze proef is een glazen bak van 2m x 2m x 2m gevuld met een waterlaag van 1,75m. De GC's met ribbe 0.31m en een rechthoekige draaddoorsnede van 12 bij 12 mm zijn gemaakt van composietmateriaal en worden juist boven het wateroppervlak losgelaten. Op een film is vastgelegd hoe de GC's vallen en kantelen (Zie bijgevoegde dvd, 'valproef.avi'). Met dit beeldmateriaal kan de valsnelheid van GC's in water bepaald worden.

5.2 Resultaten

Hieronder zijn screenshots uit de film achter elkaar gezet. Hierop is een GC te volgen die naar de bodem zinkt.







5.3 Conclusie

De GC's vallen allemaal op dezelfde manier, namelijk recht naar beneden zonder te draaien. Pas op het moment dat de eerste hoek van een GC de bodem raakt, kantelt de GC totdat deze stabiel op de bodem ligt. De gemiddelde valsnelheid van de GC's in water is 0,38m/s.

6. Conclusies en aanbevelingen

Uit de schaalproeven is gebleken dat GC's golven kunnen dempen. De hoeveelheid demping is sterk afhankelijk van de hoeveelheid GC's die wordt gebruikt en de waterhoogte boven de kruin van de constructie. De dempende werking van de elementen gevuld met GC's is tot op zekere hoogte lineair. Waar 1 kubus 80% van de golfhoogte doorlaat, laten 2 kubussen ca. 64% door. Zolang rekening gehouden wordt met het materiaal dat zich het dichtst bij het water oppervlak bevindt is een redelijke schatting te maken. Een kubus is daardoor effectiever dan een driehoek met hetzelfde volume omdat de laatste maar weinig materiaal bovenin de waterkolom heeft.

Het lijkt erop dat door de kleine schaal van het experiment de demping wat onderschat wordt. De draaddiameter van 2mm is zo klein dat de stroming eromheen in het experiment laminair is terwijl deze op prototypeschaal turbulent zal zijn. In het laatste geval zal het energieverlies en dus de demping groter zijn. Een logisch vervolg voor dit onderzoek is dan ook een experiment op prototypeschaal.

De snelheden die in een holle ruimte binnen een GC constructie door de golfbeweging gegenereerd worden, zijn niet significant kleiner ten opzichte van de snelheden voor en achter de constructie. Het creëren van een luwtegebied lijkt daarom eenvoudiger achter de constructie te realiseren dan erin. Uit de proeven is slechts gebleken dat er in de holte onregelmatige waterbeweging met hoge snelheden ontstaan. Om te begrijpen wat er precies gebeurt, is verder onderzoek nodig.

Bijlage 1. Meetresultaten

1.1 Onregelmatige golven

Kubus

d (in m)	gemeten H voor (in m)	gemeten H na (in m)	gemeten Tp voor (in s)	gemeten Tp na (in s)	transmissie (%)	reductie (%)
0,33	0,094	0,074	1,12	1,15	78,1	21,9
0,33	0,125	0,102	1,74	1,74	82,0	18,0
0,45	0,083	0,073	1,01	1,01	87,3	12,7
0,45	0,124	0,111	1,41	1,41	89,6	10,4
0,45	0,165	0,148	1,88	1,93	89,5	10,5
0,55	0,075	0,071	1,00	1,00	94,0	6,0
0,55	0,123	0,113	1,31	1,31	92,0	8,0
0,55	0,176	0,157	1,74	1,74	89,0	11,0
0,6	0,069	0,067	0,95	0,95	96,5	3,5
0,6	0,120	0,112	1,26	1,26	93,5	6,5
0,6	0,168	0,155	1,71	1,71	92,0	8,0

Driehoek

d (in m)	gemeten H voor (in m)	gemeten H na (in m)	gemeten Tp voor (in s)	gemeten Tp na (in s)	transmissie (%)	reductie (%)
0,33	0,094	0,083	1,18	1,18	88,4	11,6
0,33	0,124	0,111	1,74	1,74	89,3	10,7
0,45	0,085	0,080	1,01	1,01	93,7	6,3
0,45	0,127	0,119	1,45	1,45	93,4	6,6
0,45	0,164	0,152	1,97	1,97	92,7	7,3
0,55	0,073	0,070	1,00	1,03	96,3	3,7
0,55	0,132	0,125	1,31	1,31	95,0	5,0
0,55	0,175	0,163	1,74	1,74	93,4	6,6
0,6	0,069	0,067	0,92	0,92	97,2	2,8
0,6	0,119	0,114	1,26	1,26	95,6	4,4
0,6	0,170	0,162	1,71	1,71	95,3	4,7

Driehoek-kubus-driehoek

d (in m)	gemeten H voor (in m)	gemeten H na (in m)	gemeten Tp voor (in s)	gemeten Tp na (in s)	transmissie (%)	reductie (%)
0,33	0,095	0,063	1,12	1,12	66,5	33,5
0,33	0,123	0,087	1,74	1,74	70,4	29,6
0,45	0,084	0,069	0,94	1,07	82,7	17,3
0,45	0,126	0,103	1,41	1,41	81,6	18,4
0,45	0,163	0,131	1,97	1,97	80,5	19,5
0,55	0,074	0,068	1,00	1,00	92,5	7,5
0,55	0,124	0,109	1,31	1,31	87,8	12,2
0,55	0,176	0,148	1,74	1,74	84,2	15,8
0,6	0,069	0,066	0,98	0,98	95,1	4,9
0,6	0,121	0,110	1,26	1,26	90,5	9,5
0,6	0,171	0,149	1,72	1,72	87,4	12,6

Kubus-kubus

d (in m)	gemeten H voor (in m)	gemeten H na (in m)	gemeten Tp voor (in s)	gemeten Tp na (in s)	transmissie (%)	reductie (%)
0,45	0,084	0,068	0,94	1,07	81,3	18,7
0,45	0,125	0,104	1,45	1,41	82,6	17,4
0,45	0,163	0,134	1,97	1,97	81,8	18,2
0,33	0,094	0,063	1,18	1,18	66,4	33,6
0,33	0,123	0,088	1,74	1,94	71,5	28,5

Kubus- afstand van een kwart golflengte-kubus

d (in m)	gemeten H voor (in m)	gemeten H na (in m)	gemeten Tp voor (in s)	gemeten Tp na (in s)	Transmissie (%)	reductie (%)
0,45	0,084	0,068	0,96	1,07	81,4	18,6
0,45	0,125	0,101	1,41	1,41	81,3	18,7
0,45	0,162	0,131	1,97	1,97	80,7	19,3
0,33	0,094	0,062	1,15	1,15	66,5	33,5
0,33	0,123	0,087	1,83	1,83	70,8	29,2

Kubus- afstand van een halve golflengte-kubus

d (in m)	gemeten H voor (in m)	gemeten H na (in m)	gemeten Tp voor (in s)	gemeten Tp na (in s)	transmissie (%)	reductie (%)
0,45	0,084	0,068	1,07	1,07	81,1	18,9
0,45	0,125	0,102	1,49	1,49	81,7	18,3
0,45	0,162	0,131	1,97	1,97	80,9	19,1
0,33	0,095	0,063	1,15	1,15	66,4	33,6
0,33	0,124	0,089	1,73	1,73	71,4	28,6

Kubus- afstand van een kwart golflengte (minus 40cm)-kubus

d (in m)	gemeten H voor (in m)	gemeten H na (in m)	gemeten Tp voor (in s)	gemeten Tp na (in s)	transmissie (%)	reductie (%)
0,45	0,125	0,102	1,45	1,45	81,4	18,6

Kubus- afstand van een halve golflengte (minus 40cm)-kubus

d (in m)	gemeten H voor (in m)	gemeten H na (in m)	gemeten Tp voor (in s)	gemeten Tp na (in s)	transmissie (%)	reductie (%)
0,45	0,125	0,102	1,41	1,41	81,6	18,4

Kubus-kubus

d (in m)	gemeten H voor (in m)	gemeten H na (in m)	gemeten Tp voor (in s)	gemeten Tp na (in s)	transmissie (%)	reductie (%)
0,45	0,117	0,097	1,60	1,60	83,0	17,0
0,45	0,093	0,075	1,10	1,10	81,1	18,9
0,45	0,051	0,043	0,80	0,80	83,9	16,1
0,33	0,104	0,074	1,60	1,60	71,6	28,4
0,33	0,090	0,059	1,01	1,01	65,0	35,0

Kubus-holle ruimte-kubus

d (in m)	gemeten H voor (in m)	gemeten H na (in m)	gemeten Tp voor (in s)	gemeten Tp na (in s)	transmissie (%)	reductie (%)
0,45	0,124	0,098	1,41	1,41	79,3	20,7
0,33	0,124	0,084	1,74	1,94	67,8	32,2

Driehoek-kubus-holle ruimte-kubus-driehoek

d (in m)	gemeten H voor (in m)	gemeten H na (in m)	gemeten Tp voor (in s)	gemeten Tp na (in s)	transmissie (%)	reductie (%)
0,33	0,094	0,051	1,12	1,15	54,1	45,9
0,33	0,123	0,073	1,83	1,83	59,3	40,7

Rechthoek met kunststof GC's (plat)

d (in m)	gemeten H voor (in m)	gemeten H na (in m)	gemeten Tp voor (in s)	gemeten Tp na (in s)	transmissie (%)	reductie (%)
0,45	0,084	0,074	1,07	1,07	87,9	12,1
0,45	0,126	0,108	1,41	1,41	85,9	14,1
0,45	0,155	0,137	1,97	1,97	88,4	11,6
0,55	0,073	0,069	0,99	1,00	94,6	5,4
0,55	0,124	0,112	1,31	1,31	90,6	9,4
0,55	0,166	0,147	1,74	1,74	88,4	11,6
0,6	0,070	0,066	1,01	0,97	95,1	4,9
0,6	0,122	0,111	1,29	1,29	91,3	8,7
0,6	0,166	0,150	1,72	1,63	90,3	9,7
0,33	0,093	0,071	1,12	1,12	76,4	23,6
0,33	0,124	0,096	1,88	1,78	77,3	22,7

1.2 Regelmatige golven

Kubus-holle ruimte-kubus

d (in m)	amplitude voor (in m)	amplitude na (in m)	Tp voor (in s)	Tp na (in s)	transmissie (%)	reductie (%)
0,45	0,046	0,036	1,00	1,00	78,1	21,9
0,45	0,048	0,038	1,50	1,50	78,4	21,6
0,45	0,047	0,041	2,00	2,00	87,2	12,8
0,45	0,048	0,043	2,50	2,50	89,2	10,8
0,45	0,049	0,046	3,00	3,00	93,4	6,6
0,45	0,046	0,039	3,50	3,50	84,3	15,7
0,33	0,045	0,025	1,00	1,00	54,8	45,2
0,33	0,046	0,032	1,50	1,50	70,2	29,8
0,33	0,051	0,033	2,00	2,00	64,6	35,4
0,33	0,044	0,040	2,50	2,50	89,8	10,2

Driehoek-kubus-holle ruimte-kubus-driehoek

d (in m)	amplitude voor (in m)	amplitude na (in m)	Tp voor (in s)	Tp na (in s)	transmissie (%)	reductie (%)
0,45	0,054	0,038	1,00	1,00	71,5	28,5
0,45	0,058	0,040	1,50	1,50	69,2	30,8
0,45	0,056	0,044	2,00	2,00	78,5	21,5
0,45	0,058	0,046	2,50	2,50	80,0	20,0
0,45	0,061	0,049	3,00	3,00	80,2	19,8
0,33	0,051	0,024	1,00	1,00	45,9	54,1
0,33	0,055	0,032	1,50	1,50	57,7	42,3
0,33	0,061	0,034	2,00	2,00	54,9	45,1

Driehoek-kubus-holle ruimte-kubus-driehoek

d (in m)	amplitude voor (in m)	amplitude na (in m)	Tp voor (in s)	Tp na (in s)	transmissie (%)	reductie (%)
0,45	0,049	0,035	0,95	0,95	71,3	28,7
0,45	0,056	0,039	1,43	1,43	69,7	30,3
0,45	0,065	0,035	2,00	2,00	53,6	46,4

Driehoek-kubus-holle ruimte met schotten- kubus-driehoek

d (in m)	amplitude voor (in m)	amplitude na (in m)	Tp voor (in s)	Tp na (in s)	transmissie (%)	reductie (%)
0,45	0,046	0,029	1,00	1,00	62,3	37,7
0,45	0,047	0,027	1,50	1,50	56,9	43,1
0,45	0,046	0,030	2,00	2,00	63,7	36,3
0,45	0,048	0,030	2,50	2,50	62,9	37,1
0,45	0,050	0,030	0,95	0,95	60,9	39,1
0,45	0,056	0,030	1,43	1,43	52,7	47,3
0,45	0,067	0,040	1,90	1,90	58,6	41,4
0,33	0,052	0,015	1,11	1,11	29,7	70,3
0,33	0,056	0,020	1,67	1,67	34,6	65,4
0,55	0,049	0,042	0,86	0,86	84,0	16,0
0,55	0,058	0,042	1,29	1,29	72,2	27,8
0,55	0,077	0,052	1,72	1,72	68,0	32,0

Kubus met kunststof GC's, hoog en smal

d (in m)	amplitude voor (in m)	amplitude na (in m)	Tp voor (in s)	Tp na (in s)	transmissie (%)	reductie (%)
0,45	0,050	0,040	0,95	0,95	80,3	19,7
0,45	0,055	0,047	1,43	1,43	84,3	15,7
0,45	0,074	0,062	1,90	1,90	83,6	16,4
0,33	0,052	0,033	1,11	1,11	64,7	35,3
0,33	0,054	0,037	1,67	1,67	68,5	31,5
0,55	0,048	0,044	0,86	0,86	91,4	8,6
0,55	0,058	0,050	1,29	1,29	85,9	14,1
0,55	0,074	0,063	1,72	1,72	85,2	14,8