

Modelonderzoek naar het aanbrengen van kubussen in de toplaag van een golfbreker met een zijschuifstorter

Eindverslag

**C. Bisschop
Delft, maart 2002**

Afstudeercommissie

Prof.dr.ir. M.J.F. Stive

Ir. H.J. Verhagen

Ir. J. Olthof

Dr.ir. H.L. Fontijn

sectie Waterbouwkunde

sectie Waterbouwkunde

Boskalis Westminster nv

sectie Vloeistofmechanica

Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen,
Sectie Waterbouwkunde

Voorwoord

Dit afstudeerverslag, getiteld 'Modelonderzoek naar het aanbrengen van kubussen in de toplaag van een golfbreker met een zijschuifstorter', vormt de afronding van mijn doctoraalstudie aan de Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de Technische Universiteit Delft. Bij dit verslag hoort een apart gepubliceerd document met alle bijlagen.

Tijdens het onderzoek zijn een aantal modelproeven uitgevoerd in het Laboratorium voor Vloeistofmechanica, Stevin III, van de Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen. De modelproeven zijn uitgevoerd in de periode september tot december 2001.

Mede dankzij de hulp van een aantal mensen heeft dit afstudeerwerk vorm en inhoud gekregen. Deze mensen wil ik graag bedanken.

In de eerste plaats wil ik de leden van mijn afstudeercommissie, die mij tijdens het afstuderen begeleid hebben, bedanken; Prof.dr.ir. M.J.F. Stive, Ir. H.J. Verhagen, Ir. J. Olthof en Dr.ir. H.L. Fontijn. Naast de huidige commissieleden wil ik ook Prof.Ir. K. d'Angremond bedanken voor het begeleiden van het eerste gedeelte van mijn afstuderen.

Ook gaat er een woord van dank uit naar de medewerkers van het Laboratorium voor Vloeistofmechanica; Fred, Jaap, Kadir, Karel, Hans en Arie voor de hulp op allerlei fronten tijdens mijn afstuderen.

Tenslotte dank ik een ieder die op welke wijze dan ook een bijdrage aan dit afstudeerproject heeft geleverd.

Cor Bisschop
Delft, maart 2002

Samenvatting

In een poging de aanleg van golfbrekers economisch aantrekkelijker te maken, is door de Technische Universiteit Delft en het Waterloopkundig Laboratorium onderzoek verricht naar de toepassing van een enkele laag kubussen in de toplaag van een golfbreker. Vooralsnog worden de toplagen van rubble mound golfbrekers uitgevoerd met een dubbele toplaag. Het blijkt namelijk dat door toepassing van deze enkele laag kubussen niet alleen de materiaalkosten maar ook de uitvoeringskosten voordeliger uitvallen, omdat er in totaal minder kubussen gemaakt en op de golfbreker aangebracht hoeven worden.

In een voorgaand afstudeeronderzoek [VAN DER VLIET, 2001] is de enkele laag kubussen met behulp van een kraan(schip) op de golfbreker aangebracht. In dit onderzoek wordt getracht deze enkele laag kubussen met behulp van een zijschuifstorter op de golfbreker aan te brengen. Ten opzichte van een kraan(schip) heeft deze methode van aanbrengen vooral economische voordelen.

Uit het onderzoek van het Waterloopkundig Laboratorium, is gebleken dat een enkele laag betonnen kubussen op een golfbreker toegepast kan worden, mits er aan verschillende eisen wordt voldaan. Een belangrijke eis die wordt gesteld aan de enkele laag is dat de hoeveelheid kubussen die per vierkante meter op de golfbreker moeten liggen, de zogenaamde plaatsingsdichtheid van de orde grootte van 70 à 75% moet zijn. Ook aan de porositeit van een gestorte laag, de hoeveelheid holle ruimte in een gestorte laag worden, hetzij indirect, eisen gesteld en dus wordt ook deze eigenschap van een laag tijdens dit onderzoek bepaald.

De doelstelling van het onderzoek is tweeledig en luidt als volgt:

- 1) Het bepalen van een, in de praktijk haalbare, plaatsingsdichtheid van betonnen kubussen in de toplaag van een golfbreker met een zijschuifstorter,
- 2) het vaststellen van de factoren die de plaatsingsdichtheid van de betonnen kubussen in de toplaag van een golfbreker tijdens de bouw beïnvloeden.

Tijdens dit onderzoek zijn een aantal series uitgevoerd. Iedere serie bevat een aantal proeven, per proef wordt zoveel mogelijk één parameter gevarieerd. Op deze manier kan het effect van een parameter op het resultaat, de plaatsingsdichtheid en de porositeit goed bepaald worden.

De volgende proefparameters zijn tijdens het onderzoek gevarieerd:

- Tussenafstand zowel in lengte- als in dwarsrichting op de golfbreker;
- Oriëntatie van de kubussen ten opzichte van de golfbreker;
- Waterdiepte (maximaal) waarbij kubussen gestort worden;
- Aantal kubussen dat tegelijk met het model worden afgeschoven.

Uit het onderzoek blijkt dat de tussenafstand van de kubussen de belangrijkste parameters is, die gevarieerd kan worden. Ook de oriëntatie is van invloed op het uiteindelijke resultaat, hetzij in mindere mate. De verwachte invloed van de waterdiepte volgt niet uit het onderzoek.

De bedoeling van het onderzoek is, het aanbrengen van totale lagen kubussen op het model van de golfbreker, waarbij met het model meerdere kubussen tegelijk worden afgeschoven. Als snel bleek dit niet goed mogelijk te zijn. Er treden namelijk twee verschijnselen op, deze zijn:

- 1) De kubussen worden niet tegelijk van het model afgeschoven.
- 2) Als deze wel tegelijk van het model afgeschoven worden, treedt er een grote spreiding op.

Ad 1) Het blijkt dat als er meerder kubussen met het model tegelijk worden afgeschoven dat de ene sneller valt dan de andere. Het gevolg hiervan is dat er op deze manier geen goede laagopbouw gerealiseerd kan worden.

Ad 2) Door de spreiding die tegelijk afgeschoven kubussen ondergaan, ontstaan er op de waterbodem grote open ruimten tussen de gestorte kubussen, zodat eveneens op deze wijze geen goede laag opbouw gerealiseerd kan worden.

De tijdens het onderzoek uitgevoerde series en hun resultaten zijn.

In serie A is een oriëntatie, waarin het valgedrag van een kubus als deze van een vlak plateau wordt afgeschoven, gedaan. Hieruit zijn de eisen aan het model van de zijschuifstortter bepaald. Als belangrijkste eis wordt gesteld dat iedere kubus op dezelfde manier moet worden afgeschoven.

In serie B wordt het ontworpen model getest en wordt de valbeweging van een afgeschoven kubus, zowel in den droge als in het water, met behulp van videobeelden nauwkeurig geanalyseerd. Er wordt geconcludeerd dat een kubus steeds op dezelfde manier afgeschoven wordt. Ook is de afschuifsnelheid gevarieerd, hieruit volgt dat de afschuifsnelheid, die bereikt kan worden met het model niet van invloed is op de valbeweging van een kubus, zodat tijdens het onderzoek de afschuifsnelheid niet steeds bepaald hoeft te worden.

In serie C wordt een totale laag kubussen gestort, door deze één voor één af te schuiven, hiermee kunnen de resultaten goed vergeleken worden met de resultaten van het voorgaande onderzoek van VAN DER VLIET, 2001. Het blijkt dat de resultaten van beide ongeveer van dezelfde orde van grootte zijn. Het verwachte voordeel van de rotatie op de uiteindelijke plaatsingsdichtheid komt dus tijdens deze serie niet naar voren. Wel volgt duidelijk uit deze serie dat de tussenafstand de belangrijkste proefparameter is van het onderzoek.

In serie D, E en F worden verschillende hoeveelheden kubussen tegelijk afgeschoven, met en zonder tussenafstand en tijdens serie F zelfs met een verkleinde waterdiepte. Zoals al is beschreven, is op deze manier geen goede laagopbouw mogelijk. Voor het tegelijk afschuiven van kubussen is een spreidingsparameter ingevoerd, die de verhouding weergeeft tussen de afstand van de zwaartepunten voordat de kubussen zijn afgeschoven en nadat ze zijn afgeschoven en dus op de waterbodem liggen. Het blijkt dat de tussenafstand, het aantal kubussen en de waterdiepte van invloed zijn op de grootte van de spreidingsparameter. Zo zorgen zowel de afnemende waterdiepte als het toenemende aantal kubussen, dat tegelijk wordt afgeschoven, voor een kleinere spreidingsparameter.

Tijdens de volgende series worden de kubussen, weer één voor één afgeschoven.

In serie G wordt er gestort met een verkleinde waterdiepte, waarbij de tussenafstand van de kubussen stapsgewijs worden gewijzigd, zodat een duidelijk beeld ontstaat wat de invloed van de tussenafstand is op het uiteindelijke resultaat en wanneer de plaatsingsdichtheid maximaal is. Het blijkt dat de plaatsingsdichtheid een minimum bereikt bij een tussenafstand (in de X-richting, evenwijdig aan de golfbreker) van 20 cm (h.o.h). De bereikte plaatsingsdichtheid voldoet aan de gestelde eis van 70%.

In serie H, worden ook kubussen afgeschoven bij een verkleinde waterdiepte maar nu onder een oriëntatie van 45 graden ten opzichte van de lengte-as van de golfbreker. Ook hier zijn de tussenafstanden gevarieerd. Het is gebleken dat nu niet de tussenafstand in de lengterichting van de golfbreker maar loodrecht op de golfbreker (in de Y-richting) van belang is. De maximale plaatsingsdichtheid wordt nu gevonden bij een tussenafstand van 10 à 11 cm. Ook deze waarden voldoen aan de gestelde eis.

Wel kan opgemerkt worden dat de resultaten van serie H beter zijn dan die van serie G. Dit volgt vooral uit het feit dat de invloed van de tussenafstand in serie H minder effect heeft op de plaatsingsdichtheid en dat een gestorte laag in serie H visueel beter is dan een gestorte laag volgens serie G.

Uit de literatuur blijkt dat er een verband bestaat tussen de gemeten plaatsingsdichtheid en porositeit.

In tegenstelling tot de resultaten van VAN DER VLIET, 2001 is tijdens dit onderzoek het gestelde verband wel gevonden. In theorie wordt een waarde voor de zogenaamde laagdiktefactor van 1,1 toegepast; tijdens dit onderzoek wordt een gemiddelde waarde van 1,09 gevonden, terwijl tijdens het onderzoek van VAN DER VLIET, 2001 een waarde van 1,16 werd gevonden. Uit de waarschijnlijk nauwkeuriger bepaalde oppervlakte van de gestorte lagen en het grotere aantal uitgevoerde proeven kan veel waarde gehecht worden aan de gevonden waarde voor de laagdiktefactor van 1,09.

Concluderend kan worden gesteld dat een enkele toplaag van kubussen in het model kan voldoen aan de door het Waterloopkundig Laboratorium gestelde eis van 30%. Of dit ook in de praktijk zal opgaan is met dit onderzoek niet duidelijk aan te geven, omdat er rond de verschillende eigenschappen van een vallende kubus, waaronder de luchtinsluiting, geen voldoende duidelijkheid bestaat. Ook zijn de schaaffecten hiervan, als de modelsituatie opgeschaald wordt naar een prototype-situatie, nog niet in hun geheel duidelijk. Eveneens kan er niet gesteld worden dat er geen andere schaaffecten kunnen optreden als er kubussen in een prototype-situatie gestort worden.

Inhoudsopgave

<u>Voorwoord</u>	
<u>Samenvatting</u>	<i>i</i>
<u>Inhoudsopgave</u>	<i>iv</i>
<u>Lijst met symbolen</u>	<i>vii</i>
<u>Lijst met figuren</u>	<i>ix</i>
<u>Lijst met tabellen</u>	<i>x</i>
<u>1 Inleiding</u>	<i>1</i>
<u>1.1 Algemeen</u>	<i>1</i>
<u>1.2 Probleemstelling</u>	<i>2</i>
<u>1.3 Doelstelling</u>	<i>2</i>
<u>1.4 Opbouw van het verslag</u>	<i>2</i>
<u>2 Stortproces van een kubus met een zijschuifstorter</u>	<i>3</i>
<u>2.1 Inleiding</u>	<i>3</i>
<u>2.2 Valproces van een kubus in water</u>	<i>3</i>
<u>2.3 Stortproces van een zijschuifstorter</u>	<i>8</i>
<u>2.3.1 Werking van een zijschuifstorter</u>	<i>8</i>
<u>2.3.2 Positiebepaling van een zijschuifstorter</u>	<i>9</i>
<u>2.4 Valbeweging van een afgeschoven kubus door een zijschuifstorter</u>	<i>9</i>
<u>2.4.1 Beschrijving van valbaan uit literatuuronderzoek</u>	<i>9</i>
<u>2.4.2 Optreden van het Magnus-effect</u>	<i>11</i>
<u>2.4.3 Uiteindelijke valbeweging van een afgeschoven kubus</u>	<i>12</i>
<u>3 Relevant (model)onderzoek</u>	<i>13</i>
<u>3.1 Inleiding</u>	<i>13</i>
<u>3.2 Reconstructie van de golfbrekers te Arzew, Algerije</u>	<i>13</i>
<u>3.3 Toepassen van enkele laag kubussen als toplaag van een golfbreker</u>	<i>14</i>
<u>3.4 Modelonderzoek naar het storten van een enkele toplaag met een kraan(schip)</u>	<i>16</i>
<u>3.5 Conclusies uit de literatuurstudie</u>	<i>18</i>
<u>4 Schaafeffecten bij proeven met betonnen kubussen</u>	<i>19</i>
<u>4.1 Inleiding</u>	<i>19</i>
<u>4.2 Schaalregels</u>	<i>19</i>
<u>4.3 De Navier-Stokes vergelijking</u>	<i>19</i>
<u>4.4 Elasticiteitscoëfficiënten en schaafeffecten</u>	<i>22</i>
<u>5 De experimenten</u>	<i>23</i>
<u>5.1 Inleiding</u>	<i>23</i>
<u>5.2 Proefopstelling</u>	<i>23</i>
<u>5.2.1 Het model van de golfbreker</u>	<i>23</i>
<u>5.2.2 Definitie van het assenstelsel</u>	<i>24</i>
<u>5.2.3 Gebruikte materialen en hulpmiddelen</u>	<i>25</i>

<u>5.3</u>	<u>Model(schuifstorter)</u>	27
5.3.1	<u>Eisen aan het model</u>	27
5.3.2	<u>Uiteindelijk ontwerp van het model</u>	28
<u>6</u>	<u>Proefparameters</u>	30
<u>6.1</u>	<u>Inleiding</u>	30
<u>6.2</u>	<u>Parameters</u>	30
<u>7</u>	<u>Uitvoering van de experimenten</u>	33
<u>7.1</u>	<u>Inleiding</u>	33
<u>7.2</u>	<u>In- en uitpeiling van een gestorte laag</u>	33
7.2.1	<u>Onderlinge afstand in de x- en y-richting</u>	33
7.2.2	<u>Nauwkeurigheid van de peilmethode</u>	33
7.2.3	<u>Nauwkeurigheid van de gemeten laagdikte</u>	35
<u>7.3</u>	<u>Uitvoering van de experimenten</u>	36
7.3.1	<u>Bepalen van de afwijking uit de verticaal</u>	36
7.3.2	<u>Storten van een hele laag kubussen</u>	37
<u>7.4</u>	<u>Plaatsingsdichtheid versus porositeit</u>	37
7.4.1	<u>Plaatsingsdichtheid</u>	37
7.4.2	<u>Porositeit</u>	38
7.4.3	<u>Verband tussen plaatsingsdichtheid en porositeit</u>	38
<u>7.5</u>	<u>Beoordeling van de gestorte laag</u>	40
<u>7.6</u>	<u>Overzicht van de uitgevoerde experimenten</u>	40
<u>8</u>	<u>Serie A: Oriëntatie</u>	44
<u>8.1</u>	<u>Inleiding</u>	44
<u>8.2</u>	<u>Handmatig afschuiven van kubussen</u>	44
<u>8.3</u>	<u>Primitief model voor het afschuiven van kubussen</u>	45
<u>8.4</u>	<u>Handmatig afschuiven van kubussen in water</u>	47
<u>8.5</u>	<u>Conclusies van serie A</u>	48
<u>9</u>	<u>Serie B: Testen model en analyseren van de valbeweging</u>	49
<u>9.1</u>	<u>Inleiding</u>	49
<u>9.2</u>	<u>Afschuiven van kubussen met het model in den droge</u>	49
<u>9.3</u>	<u>Afschuiven van kubussen met het model in het water</u>	52
<u>9.4</u>	<u>Bepalen van de verplaatsingen van de zwaartepunten</u>	54
<u>9.5</u>	<u>Conclusie Serie B</u>	56
<u>10</u>	<u>Serie C: Storten van totale laag</u>	57
<u>10.1</u>	<u>Inleiding</u>	57
<u>10.2</u>	<u>Tussenafstanden</u>	57
<u>10.3</u>	<u>Bevindingen en resultaten van de proeven</u>	58
<u>10.4</u>	<u>Overzicht van de belangrijkste resultaten</u>	61
<u>10.5</u>	<u>Algemene conclusies van de serie</u>	62
<u>11</u>	<u>Serie D/E/F: Afschuiven van meerdere kubussen tegelijk</u>	63
<u>11.1</u>	<u>Inleiding</u>	63

<u>11.2</u>	<u>Spreidingsparameter</u>	63
<u>11.3</u>	<u>Serie D: Meerdere kubussen tegelijk zonder tussenafstand</u>	64
<u>11.4</u>	<u>Serie E: Meerdere kubussen tegelijk met tussenafstand</u>	66
<u>11.5</u>	<u>Serie F: meerdere kubussen tegelijk met een verkleinde waterdiepte</u>	67
<u>11.6</u>	<u>Algemene conclusies van de series D, E en F</u>	70
<u>12</u>	<u>Serie G: Storten van totale laag met een verkleinde waterdiepte</u>	71
<u>12.1</u>	<u>Inleiding</u>	71
<u>12.2</u>	<u>Tussenafstanden</u>	71
<u>12.3</u>	<u>Bevindingen en resultaten van de proeven</u>	72
<u>12.4</u>	<u>Overzicht van de belangrijkste resultaten</u>	73
<u>12.5</u>	<u>Conclusies van de serie</u>	74
<u>13</u>	<u>Serie H: Storten van totale laag onder oriëntatie van 45 graden</u>	76
<u>13.1</u>	<u>Inleiding</u>	76
<u>13.2</u>	<u>Tussenafstanden</u>	76
<u>13.3</u>	<u>Bevindingen en resultaten van de proeven</u>	78
<u>13.4</u>	<u>Overzicht van de belangrijkste resultaten</u>	79
<u>13.5</u>	<u>Conclusies van de serie</u>	80
<u>14</u>	<u>Plaatsingsdichtheid versus porositeit</u>	81
<u>14.1</u>	<u>Inleiding</u>	81
<u>14.2</u>	<u>Plaatsingsdichtheid versus porositeit</u>	81
<u>15</u>	<u>Conclusies en aanbevelingen</u>	83
<u>15.1</u>	<u>Inleiding</u>	83
<u>15.2</u>	<u>Belangrijkste conclusies per serie</u>	84
<u>15.3</u>	<u>Conclusies</u>	86
<u>15.4</u>	<u>Aanbevelingen</u>	86
	<u>Literatuurlijst</u>	88

Bijlagen

Lijst met symbolen

Symbol	Dimensie	Omschrijving
a	m/s^2	versnelling van een voorwerp
A_s	m^2	oppervlakte van het voorwerp loodrecht op de valrichting
b	m	breedte
C_D	-	weerstandscoefficiënt voor een kracht in de valrichting
C_L	-	weerstandscoefficiënt voor een kracht loodrecht op de valrichting
d_i	m	equivalente laagdikte
d_{teen}	m	dikte van de teen van een golfbreker
$D_{(n)}$	m	karakteristieke voorwerpafmeting
D_{bol}	m	diameter van een bolvormig lichaam
$D_{k(ubus)}$	m	diameter van een kubus
D_{n50}	m	nominale steendiameter berekend uit de steenmassa, die door 50% van de stenen uit een sortering wordt onderschreden
D_{15}	m	zeefmaat van een steensortering; maat van een zeef met vierkante openingen, waar 15% van de stenen uit een sortering doorheen gaat
D_{85}	m	zeefmaat van een steensortering; maat van een zeef met vierkante openingen, waar 85% van de stenen uit een sortering doorheen gaat
f	-	wrijvingscoëfficiënt tussen twee materialen
F_L	N	liftkracht (loodrecht op de valrichting)
F_w	N	weerstandskracht in de valrichting
F_z	N	verticale kracht als gevolg van de zwaartekracht en de opwaartse kracht
g	m/s^2	gravitatieversnelling ($=9,81 m/s^2$)
h	m	hoogte
H	m	valhoogte van een voorwerp
l	m	lengte
M	kg	massa van een voorwerp
$M_{toplaag}$	kg	massa van een individueel voorwerp in de toplaag
M_{50}	kg	massa van een voorwerp, die door 50% van de voorwerpen in een sortering wordt onderschreden
$M_{50-filterlaag}$	kg	massa van een voorwerp in de filterlaag, die door 50% van de voorwerpen in een sortering wordt onderschreden
n_p	-	plaatsingsdichtheid
N	-	aantal horizontale richtingswisselingen van de versnelling
N_{kubus}	m^{-2}	aantal kubussen per vierkante meter
N_{od}	-	bezwijkcriterium van de toplaag van een golfbreker
s	m	afgelegde weg, valhoogte
s_{om}	%	golfsteilheid op basis van de gemiddelde golfperiode
S_{hor}	m	horizontale afstand die een voorwerp aflegt tussen twee richtingswisselingen
S_{ver}	m	verticale afstand die een voorwerp aflegt tussen twee richtingswisselingen
S_x	m	maximale horizontale verplaatsing
St	-	kental van Strouhal
t	s	tijdsduur
T	s	periode van wervelafschudding
T_m	s	gemiddelde golfperiode op diep water

$U_{\text{wegspring}}$	m/s	snelheid van een wegspringend voorwerp
U_x	m/s	horizontale snelheid van een wegspringend voorwerp
U_y	m/s	verticale snelheid van een wegspringend voorwerp
v	m/s	snelheid van een voorwerp
V_s	m^3	volume van een voorwerp
w	m/s	momentane snelheid van een voorwerp
Δ	-	relatieve dichtheid
ϕ	$^\circ$	wegspringhoek (graden)
ϕ	-	alternatieve maat voor de plaatsingsdichtheid
ρ_{kubus}	kg/m^3	massadichtheid van een kubus
ρ_s	kg/m^3	massadichtheid van een steen
ρ_w	kg/m^3	massadichtheid van water
ω	rad/s	cirkelfrequentie

Lijst met figuren

Figuur 2.1	Vier fasen in het valproces van een voorwerp in water	3
Figuur 2.2	Luchtinsluiting en vrijkoming tijdens val van kubus	5
Figuur 2.3	Werkingsprincipe van een zijschuifstorter	8
Figuur 2.4	Waargenomen spreidingen en kansdichtheidsfuncties van gestorte kubussen	10
Figuur 2.5	Liftkracht als gevolg van het Magnus-effect	11
Figuur 2.6	Baan van een kubus	12
Figuur 5.1	Dwarsdoorsnede van de proefopstelling	24
Figuur 5.2	Assensetel proefopstelling	24
Figuur 5.3	Schematisatie bovenaanzicht van het model van de zijschuifstorter	29
Figuur 5.4	Foto uiteindelijke model	29
Figuur 6.1	Schematische weergaven van de patronen van plaatsen	31
Figuur 7.1	Meetfout bij peiling met een halve bol	35
Figuur 7.2	Correctiefactor voor de laagdikte	35
Figuur 7.3	Schematisatie van de denkbeeldige positie voordat een kubus wordt afgeschoven	36
Figuur 7.4	Weergave laagdikte opbouw van gestorte laag kubussen	38
Figuur 7.5	Porositeit als functie van de plaatsingsdichtheid	39
Figuur 8.1	Schematische weergave handmatig afschuiven	44
Figuur 8.2	Foto primitieve opstelling	45
Figuur 9.1	Raken van het wateroppervlak met een vlak (A) of met een ribbe (B)	51
Figuur 10.1	Bepaling van de theoretische tussenafstand in de y-richting	58
Figuur 11.1	Schematisatie spreidingsparameter	64
Figuur 11.2	Grafische weergave spreidingsparameter	65
Figuur 11.3	Resultaten van serie F ten opzichte van serie D	69
Figuur 12.1	Plaatsingsdichtheid versus tussenafstand in de x-richting	74
Figuur 13.1	Bepaling van de tussenafstand in x-richting	76
Figuur 13.2	Bepaling van de tussenafstand in de y-richting	77
Figuur 13.3	Grafiek plaatsingsdichtheid versus tussenafstand in de y-richting	79
Figuur 14.1	Porositeit als functie van de plaatsingsdichtheid	82
Figuur 15.1	Plaatsingsdichtheid van serie G versus tussenafstand in de x-richting	85
Figuur 15.2	Plaatsingsdichtheid van serie H versus tussenafstand in de y-richting	85

Lijst met tabellen

Tabel 2-1	Overzicht nauwkeurigheid van GPS en DGPS	9
Tabel 3-1	Overzicht proevenseries en resultaten	17
Tabel 5-1	Reynoldsgetallen van kubussen met verschillende ribbenlengten	25
Tabel 8-1	Ontwikkeling van de rotatie en valsnelheid met primitief model	46
Tabel 8-2	Resultaten van de verschuiving van de zwaartepunten van de kubussen	48
Tabel 8-3	Afstand van het zwaartepunt tot het oorspronkelijke zwaartepunt	48
Tabel 9-1	Overzicht omwentelingssnelheden bij verschillende snelheden	50
Tabel 9-2	Berekende en theoretische valsnelheden	51
Tabel 9-3	Valhoogte voor vlak- en ribbencontact van het wateroppervlak	52
Tabel 9-4	Gemeten valsnelheden versus theoretische valsnelheden	54
Tabel 9-5	Afstand van het zwaartepunt tot het oorspronkelijke zwaartepunt (serie B)	55
Tabel 10-1	Overzicht van de resultaten van serie C	61
Tabel 10-2	Uitkomstenserie VAN DER VLIET, 2001	62
Tabel 11-1	Overzicht uitgevoerde proeven tijdens serie D	64
Tabel 11-2	Overzicht van de resultaten van serie D	65
Tabel 11-3	Overzicht uitgevoerde proeven tijdens serie E	66
Tabel 11-4	Resultaten serie E	67
Tabel 11-5	Overzicht uitgevoerde proeven tijdens serie F	68
Tabel 11-6	Overzicht van de resultaten van serie D	68
Tabel 12-1	Overzicht tussenafstanden van serie G	72
Tabel 12-2	Resultaten van serie G	73
Tabel 12-3	Resultaten van de uitpeiling met de kleine halve bol	74
Tabel 13-1	Overzicht tussenafstanden van serie H	77
Tabel 13-2	Resultaten van serie H	79
Tabel 13-3	Resultaten van de uitpeiling met de kleine halve bol	80
Tabel 14-1	Overzicht verschil tussen gemeten en berekende porositeit	81

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Golfbrekers zijn kunstwerken die al eeuwen lang worden gebouwd. Ondanks de lange geschiedenis van deze waterbouwkundige (kunst)werken, is de ontwikkeling van de wetenschap met betrekking tot golfbrekers nog lang niet uitgekristalliseerd.

Het doel van een golfbreker kan globaal onderverdeeld worden in twee punten:

- Het reduceren van de golfhogte in een haven, zodat de schepen ‘rustig’ aan de kaden kunnen blijven liggen;
- Het voorkomen van de dichtslibbing van de toegangseuvel van een haven, door sedimenttransport langs de kust.

Golfbrekers zijn onder te verdelen in twee hoofdtypen:

- Monolitische golfbrekers, deze bestaan veelal uit grote betonnen delen, bv. een caisson;
- Rubble mound golfbrekers, deze bestaan uit relatief klein materiaal dat afgedekt wordt met materiaal met een grotere gewicht, ten einde voldoende stabiel te zijn bij een golfaanval.

Dit onderzoek richt zich op de rubble mound golfbrekers. Bij de uitvoering met kubussen in een armour-layer van een golfbreker, wordt de afdeklaag altijd dubbel uitgevoerd. Dat wil zeggen dat de afdeklaag bestaat uit twee lagen kubussen. De functie van de afdeklaag is dan ook het voorkomen van het wegspoelen van het onderliggende fijnere materiaal, de filterlaag.

De laatste jaren is er veel onderzoek gedaan naar de stabiliteit van elementen in de armour-layer (=toplaag) van een rubble mound golfbreker. Het meest recente onderzoek, VAN GENT EN SPAAN, 1998, BAGHELOE, 1998 en VAN DER VLIET, 2001, richt zich op een armour-layer met daarin een enkele laag elementen. Deze elementen kunnen breuksteen, kubussen of andere kunstmatige vormen zijn.

In dit verslag wordt het onderzoek beschreven naar de praktische uitvoering van een dergelijke, dicht gepakte enkele afdeklaag. Dit onderzoek bestaat uit een literatuurstudie en modelproeven. In de literatuurstudie zijn al de processen bekeken die van invloed zijn op het valgedrag van kubussen en de verschillende praktijkvoorbeelden, zoals de uitbreiding van de golfbreker bij Hoek van Holland en de reconstructie van de golfbreker bij Arzew, Algerije. De modelproeven zijn nodig, omdat een praktijkproef bijzonder duur is, en een computermodellering niet mogelijk, omdat er nog te weinig bekend is van de valbeweging van een kubus en de krachten die op de kubus worden uitgeoefend tijdens het vallen. Modelproeven zijn echter goed uitvoerbaar, geven een duidelijk beeld van de processen die optreden en zijn relatief goedkoop.

In tegenstelling tot het voorgaande onderzoek door VAN DER VLIET, 2001 is er hier geen gebruik gemaakt van de reguliere plaatsingsmethode, het plaatsen van de kubussen met een kraan op een ponton of op de kruin van de golfbreker, maar naar plaatsing met behulp van een zijschuifstort. Deze methode heeft een aantal voordelen.

- Zoals gezegd is het een zeer grote klus om al de kubussen één voor één te storten. Daarbij komt dat er al heel snel enorme kranen op de golfbreker moeten komen, die een relatief kleine last moeten plaatsen. De kranen moeten zo groot zijn vanwege de grote vlucht die zij moeten kunnen bestrijken, want bij een golfbreker met een hoogte van 20 m ligt de teen al snel op zo'n 30 m vanaf de kruin van de golfbreker.
- Zo zouden er op dit schip een aantal rijen van deze kubussen geplaatst kunnen worden, die in één keer op de goede positie overboord kunnen worden gestort, dit scheelt waarschijnlijk veel kostbare uitvoeringstijd.
- Een ander voordeel kan zijn dat de kubussen tijdens het vallen, van een hele rij tegelijk, niet de mogelijkheid hebben om veel af te wijken van hun valbaan, zodat ze zeer goed op de gewenste

positie neer zouden kunnen komen, wat weer met zich meebrengt dat een hogere plaatsingsdichtheid zou kunnen worden gehaald.

- Ook zal waarschijnlijk de rotatie van de kubussen ertoe kunnen bijdragen dat de kubussen als het ware tegen de voorganger aan kunnen roteren, zodat ook weer een betere plaatsingsdichtheid kan worden gehaald.

In dit verslag van het modelonderzoek worden de bovenstaande en andere hypothesen uitvoerig behandeld en beproefd in het model, zodat een beeld kan worden gekregen van de geldigheid van de hypothesen. In de volgende paragrafen worden allereerst de probleem- en doelstelling van het verslag gegeven waarna in §1.4 de opbouw van dit gedeelte van het verslag gegeven wordt.

1.2 Probleemstelling

De probleemstelling kan onderverdeeld worden in twee onderdelen, te weten:

1. Welke plaatsingsdichtheid van betonnen kubussen in de enkele toplaag van een golfbreker is in de praktijk haalbaar, onder de voorwaarde dat de kubus een vrije val maakt en afgeschoven wordt met een zijschuifstorter.
2. Welke factoren beïnvloeden de plaatsingsdichtheid van de betonnen kubussen in de toplaag van een golfbreker tijdens het plaatsingsproces.

1.3 Doelstelling

Doelstelling van het (model)onderzoek is (1) het bepalen van een, in de praktijk haalbare, plaatsingsdichtheid van betonnen kubussen in de toplaag van een golfbreker met een zijschuifstorter, en (2) het vaststellen van de factoren die de plaatsingsdichtheid van de betonnen kubussen in de toplaag van een golfbreker tijdens de bouw beïnvloeden.

1.4 Opbouw van het verslag

Zoals al gesteld is het onderzoek opgebouwd uit een literatuuronderzoek en een hoofdonderzoek. In het literatuuronderzoek zijn alle processen die spelen rond het thema uitvoerig bestudeerd. In het hoofdonderzoek zijn de belangrijkste zaken beschreven die spelen rond de uitvoering van de modelproeven.

Na dit inleidende hoofdstuk, worden in hoofdstuk 2 en 3 de belangrijkste bevindingen uit de literatuurstudie weergegeven. Zo wordt in HOOFDSTUK 2 het val- en stortproces van een kubus beschreven als deze al dan niet met een zijschuifstorter wordt afgeschoven. In HOOFDSTUK 3 wordt vervolgens een overzicht gegeven van recent uitgevoerde (model)onderzoeken, na de toepassing van enkele laag kubussen in de toplagen van een golfbreker.

Vanaf HOOFDSTUK 4 wordt er begonnen met de beschrijving van het uiteindelijke modelonderzoek. Zo wordt in hoofdstuk 4 de schaalproblematiek besproken die optreden aan de hand van de geldende schaalregels. In HOOFDSTUK 5 wordt een overzicht gegeven van de tijdens het onderzoek te gebruiken proefopstelling en de benodigde hulpmiddelen. De proefparameters worden in HOOFDSTUK 6 beschreven en kort toegelicht. In HOOFDSTUK 7 komt de uitvoering van de proeven uitgebreid aan de orde en worden de verschillende te bepalen eigenschappen van een gestorte laag gedefinieerd en beschreven.

In HOOFDSTUK 8 tot en met HOOFDSTUK 13 worden de verschillende uitgevoerde series uitgebreid beschreven. Van deze series worden zowel de proefconfiguraties als bevindingen, resultaten en conclusies beschreven. Als laatste worden in HOOFDSTUK 14 een kritische analyse en de algemene conclusies en aanbevelingen gegeven.

2 Stortproces van een kubus met een zijschuifstorter

2.1 Inleiding

Zoals in het inleidende hoofdstuk is beschreven, worden de kubussen gestort met behulp van een zijschuifstorter. Dit hoofdstuk vormt een samenvatting van de literatuurstudie, die is uitgevoerd als voorbereiding van het modelonderzoek. Achtereenvolgens wordt het valproces van een kubus in water, het stortproces van een schuifstorter en de valbaan van een kubus beschreven. Uit deze gegevens kunnen de verschillende optredende verschijnselen bij het afschuiven van een kubus met een zijschuifstorter onderkend worden en kunnen de eisen, die gesteld moeten worden, aan het model van de schuifstorter worden bepaald.

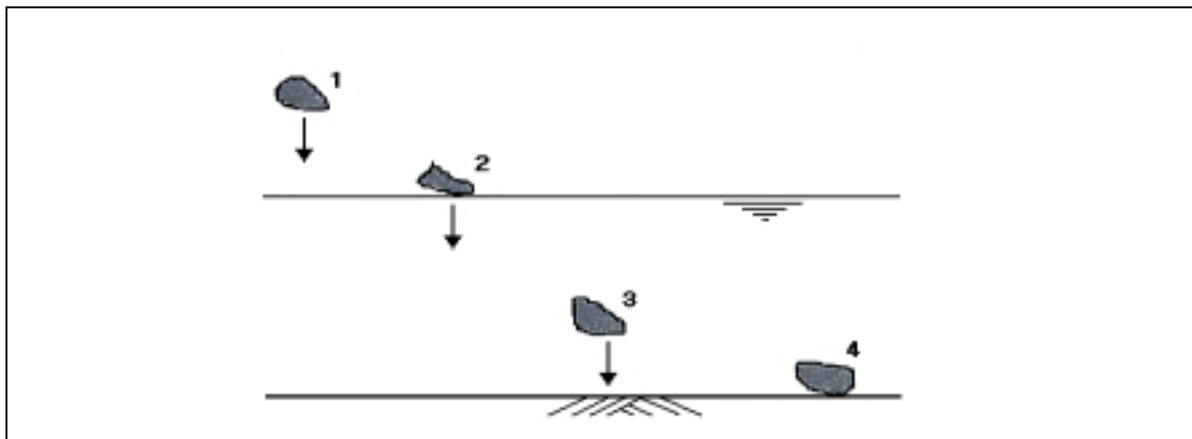
2.2 Valproces van een kubus in water

In deze paragraaf zal de aandacht uitgaan naar de theoretische beschrijving van het valproces van een voorwerp zoals beschreven is in de literatuur.

Door het Waterloopkundig Laboratorium is onderzoek gedaan ten behoeve van de bouw van de golfbrekers bij Hoek van Holland en Scheveningen [W.L., 1969] en [VAN HEERDE, 1973]. Ook zijn er recent een aantal studenten afgestudeerd rond verschillende processen van dit thema [VAN OORD, 1996], [WEUSTINK, 1998] en [VAN GELDEREN, 1999].

Het valproces bepaalt de uitwijking van een voorwerp of de spreiding hiervan op een onderwaterbodem of op bijvoorbeeld het talud van de golfbreker. Het valproces van een voorwerp in water wordt in dit hoofdstuk onderverdeeld in vier fasen, (zie figuur 2.1), te weten:

1. Vrije val boven het wateroppervlak;
2. treffen van het wateroppervlak;
3. vrije val in het water boven de bodem waarop gestort moet worden;
4. treffen van de bodem.



Figuur 2.1 Vier fasen in het valproces van een voorwerp in water

In onderstaande punten worden de verschillende fasen uitgebreider beschreven. Waar mogelijk zal een wiskundige benadering worden gegeven. Is dit niet mogelijk dan zullen er enkele aannamen gedaan worden over de processen die eventueel zouden kunnen optreden. Wellicht kunnen deze aannamen later door experimenten worden aangetoond.

Vrije val boven het wateroppervlak

Dit gedeelte van het valproces begint op het moment dat een voorwerp wordt losgelaten en eindigt als het voorwerp het wateroppervlak raakt.

Indien een element boven het wateroppervlak wordt losgelaten, zal deze door de zwaartekracht een versnelling ondergaan. Als er vanuit wordt gegaan dat een voorwerp slechts een korte tijd valt, zal de ontwikkelde snelheid gering zijn. Tijdens deze beschrijving wordt de eventuele invloed van de rotatie niet meegenomen. Doordat deze snelheid maar een fractie is van de evenwichtssnelheid van het voorwerp in lucht, mag de invloed van de luchtwrijving op het voorwerp verwaarloosd worden. De ontwikkeling van de snelheid van het voorwerp is dan alleen afhankelijk van de zwaartekracht en daarmee van de valhoogte¹ boven het wateroppervlak. Met behulp van eenvoudige vergelijkingen kan de valtijd en de valnelheid van een voorwerp boven het wateroppervlak worden beschreven. Deze vergelijking is:

$$a = \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} \quad (2.1)$$

Met de volgende vergelijkingen, waarin v_0 en s_0 integratieconstanten zijn, waarvoor geldt: voor $t = 0$ s is $v = 0$ m/s, dus $v_0 = 0$ m/s en voor $t = 0$ s is $s = 0$ m, dus $s_0 = 0$ m, worden de volgende vergelijkingen verkregen;

$$\frac{\delta v}{\delta t} = g, \quad v = g \cdot t + v_0 \quad (2.2)$$

$$\frac{\delta^2 s}{\delta t^2} = g, \quad s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0 \quad (2.3)$$

en hieruit volgen vervolgens weer de alom bekende bewegingsvergelijkingen voor vallende voorwerpen:

$$v = g \cdot t \quad (2.4)$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad (2.5)$$

Hierin is:

a	=	versnelling [m/s ²];
v	=	snelheid [m/s];
s	=	afgelegde weg, valhoogte [m];
t	=	tijd [s];
g	=	gravitatieversnelling [=9,81 m/s ²].

Treffen van het wateroppervlak

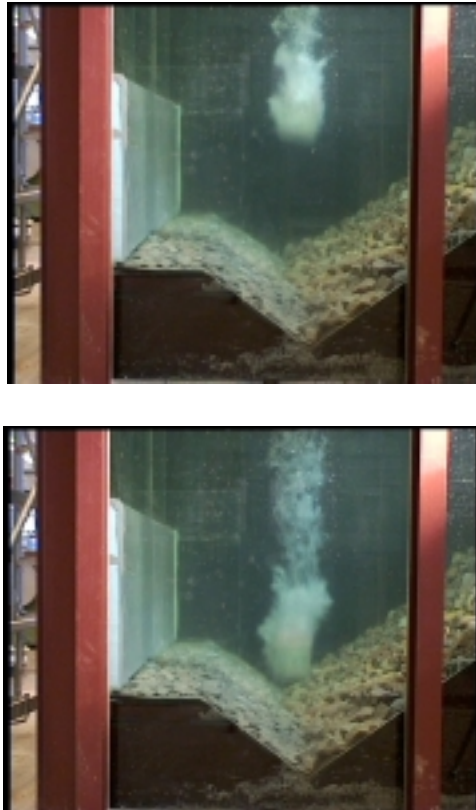
Op het moment dat een voorwerp overgaat van de vrije val in lucht naar water zal een hoeveelheid impuls van het vallende voorwerp worden overgedragen aan het water. Dit is algemeen erkend, maar het voert in het verband van dit onderzoek te ver om hier een nauwkeurigere uiteenzetting rond dit punt te geven.

Indien een voorwerp boven het water wordt losgelaten en daarna in het water valt, zal er aan de onderzijde van het voorwerp een aanzienlijke hoeveelheid lucht worden ingesloten. Deze hoeveelheid lucht is zo groot dat tijdens de val van een voorwerp een wolk van luchtbellen vrijkomt, die vele malen groter is dan de kubus zelf. Het blijkt dat dit verschijnsel in zijn geheel niet optreedt bij voorwerpen die (deels) in het water worden losgelaten. Uit onderzoek is wel gebleken dat deze

¹ Valhoogte is gedefinieerd als de afstand tussen het zwaartepunt van het voorwerp, voordat deze wordt losgelaten en het wateroppervlak

luchtinsluiting van belang is voor het vervolg van de valbaan van een voorwerp in water, maar een orde grootte of een precieze bepaling is niet te geven.

In figuur 2.2 zijn twee foto's weergegeven, waarin duidelijk te zien is dat er een grote hoeveelheid lucht met de kubus 'meegezogen' wordt en dat die tijdens de val vrijkomt.



Figuur 2.2 Luchtinsluiting en vrijkoming tijdens val van kubus

Vrije val in het water

In de collegehandleiding van het vak Vloeistofmechanica van de TU Delft [BATTJES, 1999] is het valproces van een voorwerp in water beschreven. Voor de algemene fysische beschrijving van het valproces wordt dan ook hiernaar verwezen.

In deze paragraaf zal in beknopte vorm nog wel de wiskundige beschrijving van het valproces van een kubus in water gegeven worden.

In het Waterloopkundig Laboratorium, is uitgebreid onderzoek gedaan naar het valproces van een kubus in water, [VAN OORSCHOT, 1972]. Hieruit komen de volgende resultaten:

- De evenwichtsvalsnelheid van een kubus wordt na 2 à $4 \cdot D_n$ bereikt;
- naarmate de valhoogte boven het water toeneemt, zal de afstand die nodig is om de kubus af te remmen ook iets toenemen;
- voor een kubus wordt een C_d -waarde van $1,32$ gevonden;
- de manier van loslaten, met een vlak, een punt of een ribbe naar beneden, is niet van invloed op het snelheidsverloop van de kubus.

Ook een vrijvallende kubus in water ondervindt invloed van de zwaartekracht. Alleen is nu, in tegenstelling tot §2.2.1, de weerstand van het water op de vallende kubus niet te verwaarlozen.

De kracht die een kubus zal ondervinden is, naast de resultante van de zwaartekracht en de opwaartse kracht volgens de Wet van Archimedes, dus ook de weerstandskracht. Deze twee invloeden staan achtereenvolgens in de volgende vergelijkingen weergegeven.

$$F_z = (\rho_s - \rho_w) \cdot V_s \cdot g \quad (2.6)$$

hierin is: F_z = verticale kracht als gevolg van de zwaartekracht en de opwaartse kracht van de Wet van Archimedes [N];
 ρ_s = massadichtheid van de steen [kg/m³];
 ρ_w = massadichtheid van water [kg/m³];
 V_s = volume van het voorwerp [m³];
 g = zwaartekrachtsversnelling [m/s²].

De opwaarts gerichte weerstandskracht wordt weergegeven door:

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot v^2 \cdot C_D \cdot A_s \quad (2.7)$$

hierin is: F_w = weerstandskracht in de valrichting [N];
 v = snelheid van het voorwerp [m/s];
 C_D = weerstandscoefficiënt voor de kracht in de valrichting [-];
 A_s = oppervlak van het voorwerp loodrecht op de valrichting [m²].

Tijdens de val van een kubus werken deze twee krachten tegen elkaar in. Als deze twee krachten aan elkaar gelijk zijn, zal er een constante evenwichtssnelheid (w) van het voorwerp ontstaan. De evenwichtsvalsnelheid van een kubus na gelijkstelling van vergelijking 2.6 en 2.7, wordt weergegeven in vergelijking 2.8:

$$w = \sqrt{2 \frac{V_s}{A_s} \Delta \frac{g}{C_D}} \quad , \text{met} \quad \Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \quad (2.8)$$

hierin is: Δ = relatieve dichtheid [-]
 w = evenwichtssnelheid van een voorwerp [m/s]

De verhouding V_s/A_s in bovenstaande vergelijking is een maat voor de afmeting van het voorwerp. Deze verhouding is bijvoorbeeld voor bolvormige voorwerpen ($A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{bol}}^2$ en $V_s = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot D_{\text{bol}}^3$) gelijk aan $0,67 \cdot D_{\text{bol}}$. Voor een kubusvormig voorwerp, dat zonder rotatie valt, geldt ($A_s = D^2$ en $V_s = D^3$) en dus wordt de verhouding V_s/A_s gelijk aan D , dit ingevuld in vergelijking 2.9 levert:

$$w = \sqrt{2 \cdot D_k \cdot \Delta \cdot \frac{g}{C_D}} \quad (2.9)$$

De weerstandscoefficiënt C_D is afhankelijk van de vorm van het lichaam in de aanstromingsrichting en dus afhankelijk van de rotatie.

Nu de krachten op de vallende kubus bekend zijn, kan uit de krachten de versnelling (of vertraging) van de kubus worden afgeleid. Dit gebeurt door de som van de krachten te delen door de massa (m) van de kubus ($m = V_k \cdot \rho_k$). Het resultaat is vergelijking 2.10 weergegeven.

$$a = \frac{F_{\text{totaal}}}{m} = \frac{(\rho_k - \rho_w) \cdot V_k \cdot g}{\rho_k \cdot V_k} - \frac{\frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_w \cdot D_k^2 \cdot v^2}{\rho_s \cdot D_k^3} \quad (2.10)$$

Met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $\rho_w = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $\rho_k = 2400 \text{ m}^3/\text{s}$, $C_d = 1,32$ (volgt uit [VAN OORSCHOT, 1972] en $V_k = D_k^3$, vereenvoudigt vergelijking 2.10 tot:

$$a = \left(1 - \frac{1}{2,4}\right) \cdot g - \frac{\frac{1}{2} \cdot 1,32 \cdot v^2}{2,4 \cdot D_k} \quad (2.11)$$

Doordat de uitdrukking voor de versnelling bekend is, kan de vergelijking voor de snelheid, als functie van de tijd, hieruit worden afgeleid:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = a = \left(1 - \frac{1}{2,4}\right) \cdot g - \frac{\frac{1}{2} \cdot 1,32 \cdot v^2}{2,4 \cdot D_k} \quad (2.12)$$

Zoals al is opgemerkt in VAN DER VLIET, 2001, kan deze vergelijking niet eenvoudig analytisch geïntegreerd worden. Makkelijker is om de oplossing te vinden door een numerieke benadering toe te passen, bijvoorbeeld met de methode van Euler. In bijlage B is deze methode met behulp van een spreadsheet programma uitgevoerd en is er een grafiek gegeven waarin de snelheden tegen de waterdiepte zijn uitgezet. Uit de grafieken blijkt dat de evenwichtssnelheid van een kubus in water na ongeveer 5 à 6 maal de diameter van een kubus bereikt wordt.

De uitkomsten van dit onderzoek komen redelijk overeen met de gevonden waarden tijdens het onderzoek van het Waterloopkundig Laboratorium [VAN OORSCHOT, 1972]. Zoals gesteld is door het W.L. gevonden dat na 2 à 4· D_n de evenwichtssnelheid bereikt wordt. Tijdens dit onderzoek is waargenomen dat bij de kubussen die boven het water losgelaten zijn de snelheden in het water eerst nog iets toenemen, voordat ze naar de evenwichtssnelheid afnemen.

Deze verschillen tussen de theoretische beschouwing en het modelonderzoek van het W.L. zijn door verschillende verklaringen te rechtvaardigen, bijvoorbeeld:

- Is er tijdens de berekening geen rekening gehouden met het verlies aan kinetische energie op het moment dat de kubus in het water terechtkomt. Deze afname van de energie draagt bij aan een kleinere valsnelheid van de kubus in het eerste gedeelte van de val in het water;
- de toename van de snelheid in het eerste gedeelte van de val kan verklaard worden doordat de wrijvingskracht een korte tijd nodig heeft om zich in te stellen;
- ook is de overgang van lucht naar water te abrupt en ook sluiten de kubussen die boven het water worden losgelaten een hoeveelheid lucht in, het effect op de valbeweging is niet bekend en daardoor ook niet in de berekening meegenomen.

Omdat de berekeningen dus een aantal hiaten bevatten, wordt tijdens de rest van het onderzoek uitgegaan van de resultaten van het onderzoek van het W.L.

Het treffen van de bodem

Wanneer voorwerpen nadat ze uit een vrije val op de bodem terechtkomen, zijn er verschillende mogelijkheden die kunnen optreden. De voorwerpen kunnen op die plek blijven liggen, wegspringen en/of afrollen.

• Wegspringen

Wegspringen van een voorwerp is afhankelijk van de mate waarin de kinetische energie die de steen tijdens de val van het wateroppervlak naar de bodem bezit kan worden gedissipeerd. In bijlage C wordt het wegspringen van een voorwerp gemodelleerd. Uit dit model volgt dat het wegspringen niet meer dan 2,2 maal de karakteristieke afmeting zal bedragen.

• Afrollen

Afrollen speelt alleen een belangrijke rol in het geval het voorwerp terechtkomt op een helling, en is dus van groot belang bij dit onderzoek. Deze helling kan veroorzaakt worden doordat de zeebodem een helling vertoont of omdat het voorwerp op het talud van het stortprofiel van de eerder gestorte

elementen terecht komt. Afrollen heeft dus betrekking op individuele voorwerpen terwijl afschuiven veelal betrekking heeft op het vervormen van het gehele stortprofiel.

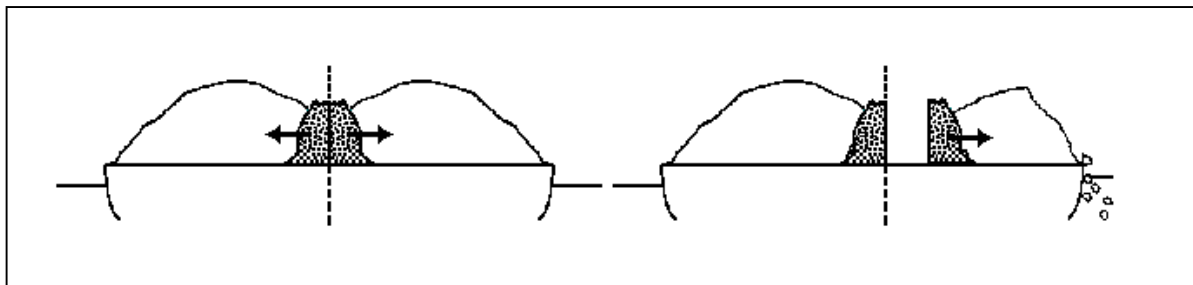
Over het afrolgedrag van een voorwerp is nog zeer weinig onderzoek gedaan. Wel kan gesteld worden dat afrollen zich vooral voordoet wanneer de component van de zwaartekracht groter is dan de wrijvingskracht die de steen ondervindt ten gevolge van de bodem en de andere aanwezige voorwerpen. Het is echter zeer gecompliceerd om afrollen te modelleren omdat er geen eenduidige methode is om de ruwheid van voorwerpen te beschrijven. Haast ieder gedeelte van een voorwerp heeft een afwijkende ruwheid waarbij het uiteindelijke wel of niet afrollen in sterke mate wordt bepaald door de ruwheidsinteractie (de zogenaamde, haakweerstand) tussen de bodem en het gedeelte van het voorwerp dat de bodem raakt. Het dynamische karakter van nog in het water aanwezige turbulentie en/of losgelaten wervels ten gevolge van de valbeweging van gestorte voorwerpen heeft mogelijkwerwijs eveneens invloed op het wel of niet afrollen van de stenen.

2.3 Stortproces van een zijschuifstorter

De zijschuifstorter wordt in het algemeen gebruikt voor het aanbrengen van relatief dunne lagen van relatief klein granulair materiaal (zoals de uitvullaag en de afdeklagen van waterwegen. Het schuift de lading overboord terwijl het zich met een constante snelheid, de verhaalsnelheid, zijdelings verplaatst langs een vooraf bepaalde koers, de stortkoers. De vaarkoers is de richting waarin de boeg van de schuifstorter wijst, de stortkoers staat hier loodrecht op.

2.3.1 Werking van een zijschuifstorter

Een schuifstorter is een schip met een vlak horizontaal dek. Op dit dek zitten afhankelijk van het type schuifstorter één of twee schuiven. In het vervolg van dit verslag wordt uitgegaan van een schuifstorter met twee schuiven, die dan in het midden en in de lengte-as van het schip liggen. Zie de doorsnede van een willekeurige schuifstorter in figuur 2.3.



Figuur 2.3 Werkingsprincipe van een zijschuifstorter

Bij aanvang van het stortproces bewegen de hydraulische schuiven zich, met een in te stellen schuifsneldheid, naar de zijkanten van het dek. De lading die zich dan op het dek bevindt, wordt mogelijk eerst in elkaar geschoven, waarna het materiaal overboord valt. Vanaf de brug van het schip, die zich meestal aan de voorkant van het schip bevindt, kan men de schuiven, dan wel individueel, dan wel tegelijk besturen, afhankelijk van het type zijschuifstorter.

De stortcyclus van een zijschuifstorter is onder te verdelen in de volgende fasen:

- Laden van de schuifstorter;
- varen naar de stort;
- lossen van de lading;
- terug varen naar laadpunt;
- laden van de zijschuifstorter.;
- enz,.....

In bijlage D-1 is zonder volledig te willen zijn een overzicht van al de in Nederland aanwezige schuifstorters weergegeven. Van deze schuifstorter zijn de kenmerkende eigenschappen weergegeven. In dit verslag wordt gerefereerd aan één van de schuifstorters van de firma Boskalis Westminster n.v, de Cetus, zie bijlage D-2. Van dit schip is in de bijlage een uitgebreidere specificatie opgenomen. In bijlage D-3 is een overzicht opgenomen van de stortmethoden van een zijschuifstorter en de invloed van de vrijheidsgraden van het schip op de uiteindelijke stort.

2.3.2 Positiebepaling van een zijschuifstorter

Van grote invloed op de uiteindelijke ligging van het te storten materiaal is de nauwkeurigheid waarmee de positie van de schuifstorter kan bepaald worden voor en tijdens het storten en de mate waarin het schip kan worden bijgestuurd wanneer dit afwijkt van de gewenste positie als gevolg van stroming en golven.

Een plaatsbepalingsysteem wordt gebruikt om de exacte positie, door middel van een x –en y –en zelfs een z-coördinaat, van het stortschip te bepalen. Er kan onderscheidt gemaakt worden tussen twee soorten systemen, optische en radiografische, die afhankelijk van de vereiste nauwkeurigheid en de opstelmogelijkheden van de meetapparatuur kunnen worden ingezet. Voor een uitgebreide beschrijving van de plaatsbepalingsystemen wordt verwezen naar de literatuur, [VAN DER SCHRIECK, 2000, §4.3]. Vooral de radiografische systemen, vooral (D)GPS-systemen, zijn de laatste tientallen jaren sterk ontwikkeld en zijn tegenwoordig standaard aanwezig op de schuifstorters.

Voor de nauwkeurigheid van deze systemen wordt onderscheidt gemaakt tussen horizontale en verticale nauwkeurigheid en een nauwkeurigheid in het driedimensionale vlak. Het verschil tussen het gewone GPS en de DGPS in nauwkeurigheid is, weergegeven in tabel 2-1.

Positie nauwkeurigheid	Standaard GPS [m]	D(ifferential)GPS [m]
Horizontaal	50,0	1,3 *
Verticaal	78,0	2,0
3 - Dimensionaal	93,0	2,8

* Met de nieuwste ontvangers worden nauwkeurigheden van 0,5 m gehaald

Tabel 2-1 Overzicht nauwkeurigheid van GPS en DGPS, bron [VAN DER SCHRIECK, 2000, p.60]

Door toepassing van deze plaatsbepalingsystemen is het mogelijk om dus mogelijk om een nauwkeurig van ongeveer 0,5–1,3 meter te halen. Tijdens het onderzoek moet blijken of dit nauwkeurig genoeg is voor het afschuiven van kubussen, teneinde een enkele laag te storten in een toplaag van een golfbreker.

2.4 Valbeweging van een afgeschoven kubus door een zijschuifstorter

2.4.1 Beschrijving van valbaan uit literatuuronderzoek

Ten behoeve van de realisatie van de Deltawerken is door het Waterloopkundig Laboratorium veelvuldig onderzoek gedaan naar de opbouw van blokkendammen, waarvoor betonnen kubussen werden gebruikt. In de rapporten met de titels ‘Valproeven met een betonkubus, M856’ [VAN OORSCHOT, 1972] en ‘blokkendam, stortproeven bij varend bedrijf, M995’ [VAN HEERDE, 1973], worden de volgende conclusies getrokken:

1. De stand van de kubus bij het loslaten (zodanig dat de kubus met een vlak, een ribbe of een punt met de waterspiegel in aanraking kwam) heeft vrijwel geen invloed op het snelheidsverloop van de kubus.

2. Bij proeven waarbij de kubus bij het raken van het water reeds een rotatie had meegekregen, kan hetzelfde snelheidsverloop worden aangehouden als bij niet-roterende kubussen.
3. Het slingeren of kantelen van de blokken, die zonder rotatie gestort worden, begint op een waterdiepte van ongeveer 5 à 8 maal de ribbe van de blokken vanaf de waterspiegel.

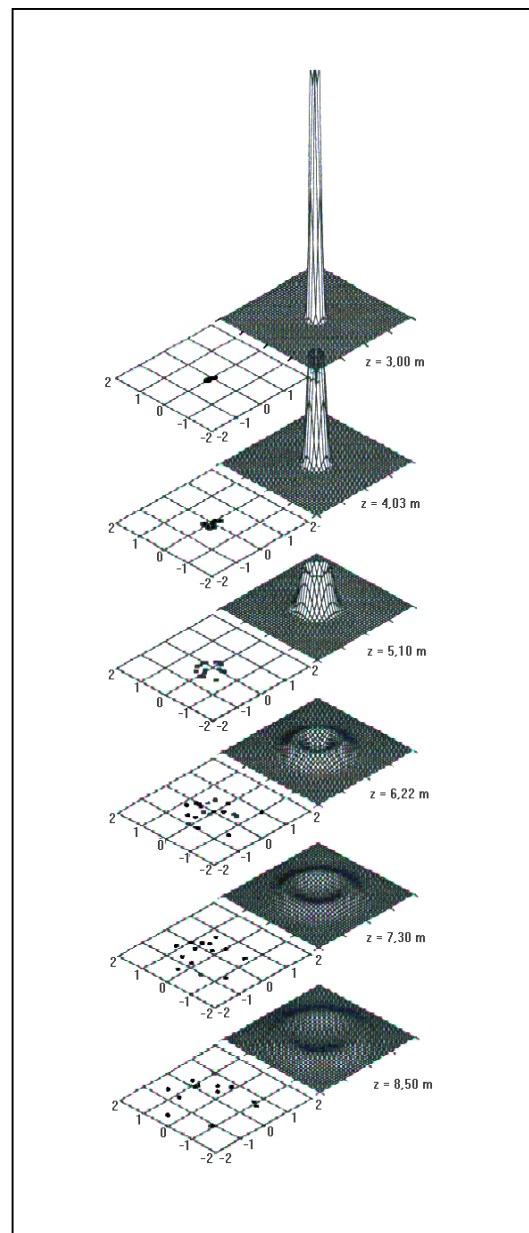
Ten aanzien van de valbeweging en de valbaan van kubussen is onderzoek verricht door STÜCKRATH ET AL., 1996. In hun onderzoeksrapport worden de volgende zes waarnemingen beschreven:

1. De kubussen roteren met een constante rotatiesnelheid, met als gevolg een zijwaartse beweging.
2. De inspelperiode is kort.
3. De evenwichtsvalsnelheid van gelijke kubussen varieert nauwelijks. De momentane valsnelheid oscilleert om de gemiddelde waarde.
4. De kubussen wijken tijdens de val af van de verticaal.
5. De richting van de afwijking van de verticaal is toevallig.
6. De valbanen zijn rechte lijn, spiraalvormig of willekeurig (veelvuldig van richting veranderend).

Het roteren van kubussen bij het vallen in water is ook door VAN OORD, 1996 waargenomen. VAN OORD gebruikte onder andere aluminium kubussen ($D_k = 0,0145$ m, $D_k = 0,0249$ m en $D_k = 0,050$ m) en betonnen kubussen ($D_k = 0,015$ m en $D_k = 0,0516$ m). De afstand die de kubussen in de experimenten hadden afgelegd alvorens zij gingen roteren, is groter dan de afstand die in door VAN OORSCHOT, 1972 wordt beschreven. VAN OORD neemt pas een roterende beweging waar bij een waterdiepte van 8 à 15 maal de ribbe van de kubus.

Bij spreidingsproeven met betonkubussen door ZINKCON BV, 1985 is geconcludeerd dat de betonnen kubussen een sterk afwijkend spreidingsgedrag vertonen ten opzichte van de spreidingsproeven met diverse grindsortering- en. Dit werd veroorzaakt door rotatie van de kubussen, die begon na een waterdiepte van 0,30 meter. De kubussen hadden een ribbe van 15 millimeter, zodat de rotatie begon op een waterdiepte van 20 keer de ribbe van de kubus.

Zowel in [STÜCKRATH ET AL., 1996] als in [VAN OORD, 1996] wordt geconstateerd dat de valbaan van de kubus, vanaf het moment dat de rotatie begint, een (min of meer) constante hoek van 1:5 (11°) maakt met de verticaal. Gevolg van deze valbaan is, dat de kubussen, bij voldoende grote waterdiepte, in een soort ring om het op de bodem geprojecteerde loslaatpunt terechtkomen. Bij kleiner wordende waterdiepte zal de diameter van de ring afnemen, totdat de waterdiepte uiteindelijk zo klein is geworden dat de kubussen nog niet in rotatie zijn gekomen, en het stortprofiel overgaat in een Gaussprofiel. Een overzicht van het stortprofiel van kubussen op verschillende waterdiepten is gegeven in figuur 2.4



Figuur 2.4 Waargenomen spreidingen en kansdichtheidsfuncties van gestorte kubussen [STÜCKRATH ET AL., 1996]

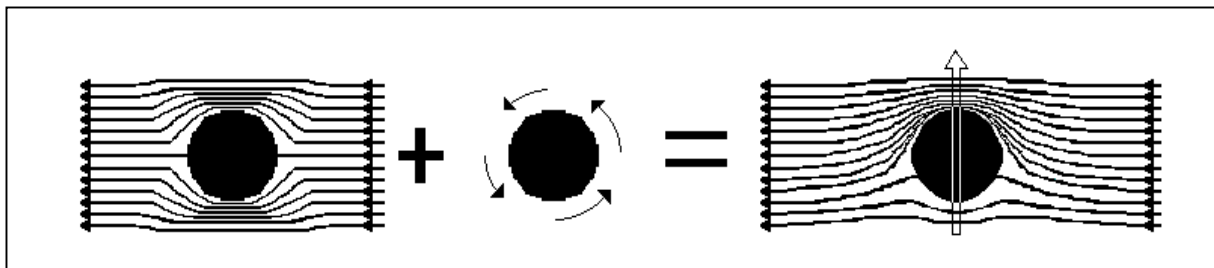
Geconcludeerd kan worden dat kubussen in het algemeen een roterende valbeweging uitvoeren. Deze roterende valbeweging vangt aan na een waterdiepte van een aantal maal de ribbe van de kubus. Over de precieze grootte is geen eenduidig antwoord te geven, aangezien deze varieert van 5 tot 20 maal de ribbe van de kubus.

Het gevolg van de rotatie van de kubus is dat de kubus onder een constante helling van 1:5 zal gaan afwijken van de verticaal. Dit kan worden verklaard op basis van het Magnus-effect, zie §2.4.2. De gevolgde baan is een rechte lijnige, spiraalvormige (gyroscopisch effect) of een willekeurige. Het stortprofiel dat ontstaat bij het storten van een groot aantal kubussen is afhankelijk van de waterdiepte waarop wordt gestort. Bij voldoende grote waterdiepte zullen de kubussen in een ring om het op de bodem geprojecteerde loslaatpunt terechtkomen.

2.4.2 Optreden van het Magnus-effect

Het effect van de rotatie van een voorwerp op zijn valbaan kan beschreven worden met behulp van het Magnus-effect [VAN GELDEREN, 1999] en [STÜCKRATH ET AL., 1996]. In deze paragraaf zal dit proces worden beschreven. Uit verschillend uitgevoerd onderzoek en uit literatuur is bekend dat een voorwerp aan het eind van de eerste fase (de instelfase, nadat het in het water terecht is gekomen) in een roterende beweging is gekomen met een (gemiddelde) constante rotatiesnelheid. Door de rotatie wordt op de kubus een horizontale kracht uitgeoefend, dit verschijnsel wordt aangegeven als het Magnus-effect.

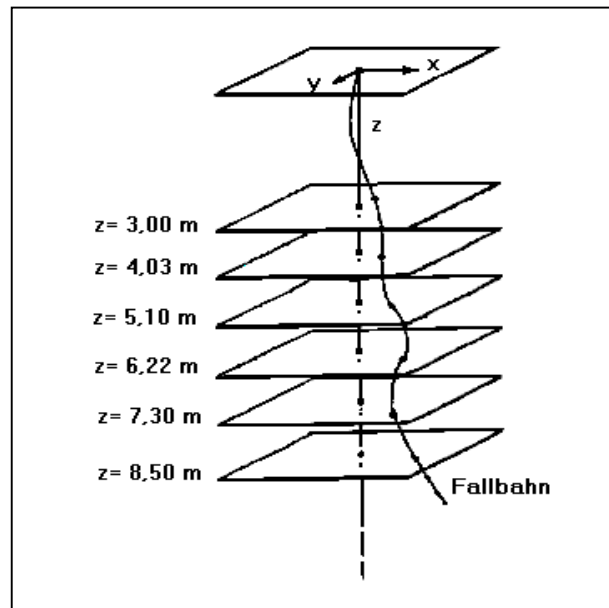
In figuur 2.5 is een (sterk vereenvoudigde) schematisatie gegeven van de oorzaak van de horizontale kracht op het voorwerp (in dit geval een bol). Ten gevolge van de wrijving tussen de bol en de omgeving zal het omringende water mee willen bewegen in de richting van de rotatie. Aan de ene zijde van de bol zal de snelheid van het omringende water ten opzichte van de omgeving toenemen, terwijl aan de andere zijde van de bol de snelheid van het omringende water ten opzichte van de omgeving zal afnemen. Op basis van de potentiaaltheorie kan met behulp van de vergelijking van Bernoulli de richting van de kracht op het voorwerp worden bepaald. In dit geval (stroming van rechts naar links en rotatie van de bol linksom) is de resulterende kracht van onder naar boven gericht.



Figuur 2.5 Liftkracht als gevolg van het Magnus-effect [MEERMANS, 1998]

In elke volgende tijdstap is de horizontale uitwijking in richting en grootte volledig afhankelijk van de uitwijking in de beschouwde tijdstap. Omdat de krachten in opvolgende tijdstappen niet wisselen, kan de gehele val van het voorwerp gedacht worden op te treden in één tijdstap. Aan het eind van de tweede fase van het valproces zal de uitwijking van het vallende voorwerp evenredig zijn met de waterdiepte.

Door de rotatie van het voorwerp wordt een gyroscopisch moment veroorzaakt dat een (veel tragere) rotatie loodrecht op de eerste roterende beweging tot gevolg heeft. Als gevolg van de door de zwaartekracht, beide rotaties en daardoor opgewekte krachten en momenten zal het vallende voorwerp een spiraalvormige baan gaan beschrijven, die een (gemiddeld) constante hoek met de verticaal maakt. In [STÜCKRATH ET AL., 1996] is dit onderzocht voor betonnen kubussen. Zij registreerden de baan van de kubus met videocamera's. Een schets van de geregistreerde baan is gegeven in figuur 2.6.



Figuur 2.6 Baan van een kubus [STÜCKRATH ET AL., 1996]

2.4.3 Uiteindelijke valbeweging van een afgeschoven kubus

Als een kubus van een schuifstorter wordt geschoven, zal de kubus waarschijnlijk een rotatie ondergaan. Gesteld wordt dat deze rotatie tijdens de val aanwezig blijft, ook bij het raken van het wateroppervlakte. Door deze voorkeursrotatie en door het Magnus-effect zal er geen ring ontstaan, zoals is weergegeven in figuur 2.3, maar slechts een beperkt gedeelte van deze cirkel. Verder wordt ook opgemerkt dat het raken van het talud door de kubus een groot effect zal hebben op de uiteindelijke positie van de kubus.

Een ander 'extern' effect op de uiteindelijke positie van de kubus is de invloed van de golven en de stroming. In bijlage E is een schematisatie van beide invloeden op de valbaan van de kubus weergegeven. Uit de bijlage blijkt dat vooral de invloed van de stroming effect heeft op de valbaan van een vallende kubus. De invloed van de golven is te verwaarlozen. Door een eis aan de maximale stroomsnelheid waarbij nog gewerkt mag worden in te stellen ($u_{\max} = 0,50 \text{ à } 0,75 \text{ m/s}$) kan er voldoende nauwkeurig gewerkt worden.

3 Relevant (model)onderzoek

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden in het kort de resultaten beschreven van voorgaand relevant (model)onderzoek. Zo wordt in §3.2 een beschrijving gegeven van het onderzoek dat is uitgevoerd door Zinkcon, een werkmaatschappij van Boskalis Westminster n.v., die in 1990 naar aanleiding van een reconstructie van een golfbreker te Arzew, Algerije, enig onderzoek heeft uitgevoerd aan het aanbrengen van betonnen kubussen met een schuifstorter. In §3.3 worden de resultaten van het onderzoek van het W.L. gegeven, waarin de randvoorwaarden en eisen beschreven zijn waaraan een enkele laag kubussen in een toplaag van een golfbreker moet voldoen, om voldoende stabiel te zijn en tijdens de gebruiksfase ook te blijven. In §3.4 worden kort de resultaten van voorgaand onderzoek van VAN DER VLIET, 2001 beschreven. Deze onderzoeken zijn de basis voor het in het vervolg van dit hoofdstuk beschreven onderzoek, vandaar dat ze hier genoemd worden. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk worden er enkele algemene conclusies gegeven en worden enkele onderzoeksvragen gesteld, die waar mogelijk worden opgelost in dit onderzoek.

3.2 Reconstructie van de golfbrekers te Arzew, Algerije

In bijlage F-1 is een overzicht gegeven van de haven van Arzew en tevens de locatie van de golfbrekers, Zinkcon, 1987 Ook is er een dwarsprofiel van een beschadigde golfbreker weergegeven en de voorgestelde reconstructie. Naast de genoemde reconstructie van de golfbreker moest deze ook verder versterkt worden. Voor de reconstructie moesten voor de teen van de golfbreker betonnen kubussen van 12 ton gestort worden in water met een diepte tot 21,5 m. De kubussen met een diameter van 1,70 m, dienden volgens een bepaald patroon geplaatst te worden om het gewenste aantal blokken per strekkende meter te halen. Voor de opbouw van de toplaag, op het talud, moesten achtereenvolgens kubussen gebruikt worden van 40 ton en 60 ton. Deze hebben een ribbenlengte van respectievelijk 2,55 m en 2,9 m. Tijdens deze proef zijn alleen de kubussen van 12 ton gebruikt.

Voor het onderzoek naar het afschuiven van betonnen blokken vanaf het dek van de schuifstorter 'Cetus' zijn de volgende doelstellingen opgesteld:

- Bepaling van de afwijking van een blok van zijn verticale baan als deze wordt afgeschoven met de "Cetus";
- bepaling van de valbaan van een blok, eventueel het onderkennen van de optredende rotatie;
- onderzoeken of er schade aan de blokken optreedt en zo ja, hoeveel;
- bepaling van de valsnelheid van de individuele blokken;
- waarnemen of de blokken de scheepswand raken als ze van het dek afgeschoven worden;
- gedrag van de schuiven tijdens het afschuiven van de blokken.

Tijdens de proef zijn een aantal parameters gevarieerd, deze zijn:

- Grootte van de valhoogte;
- tussenafstand van de blokken onderling;
- tegelijk of trapsgewijs storten van de blokken.

In onderstaande punten worden de parameters uitgebreider beschreven en wordt het verwachte effect van de variatie aangegeven.

Valhoogte

Tijdens de experimenten is de valhoogte, hier gedefinieerd als de verticale afstand tussen het waterniveau en het dek, gevarieerd. Er zijn drie verschillende valhoogten toegepast, $H = 1,0$ m, 1,5 m, 2,0 m. De valhoogte kan van grote invloed zijn op het stortgedrag van de blokken, omdat deze afstand de rotatie van het blok bepaald en dus hoe een blok het wateroppervlak raakt. Uit modelproeven is namelijk gebleken dat het spreidingsgedrag van blokken die met een ribbe in het water kwamen,

anders is dan van blokken die met een vlak in het water kwamen, terwijl het snelheidsverloop wel hetzelfde is, zie §2.4.

Tussenafstand van de blokken

De verwachting was dat deze afstand van invloed is op de valbaan van de gestorte kubussen als deze min of meer tegelijk vallen. Dit zal ook in het hoofdonderzoek door middel van experimenten kunnen worden aangetoond.

Tegelijk of trapsgewijs storten van de kubussen

Door afstandhouders tussen de schuiven en de blokken te plaatsen, kunnen de blokken trapsgewijs gestort worden. Ook dit kon meegenomen worden als variabele. Verder is het mogelijk om de kubussen trapsgewijs te storten door de schuiven onafhankelijk te laten bewegen. Dit zou kunnen worden bereikt door de diverse scharnieren tussen de schuiven te vervangen door spieën.

Zowel de randvoorwaarden en uitgangspunten die gebruikt zijn tijdens de proef als ook de uitvoering van de proef en de waarnemingen die tijdens de proef gedaan zijn staan weergegeven in bijlage F-2

Uit de uitgevoerde proeven konden de volgende conclusies getrokken worden:

- Er is gebleken dat de onderste laag van de steunberm zonder problemen kan worden gestort;
- schade aan de blokken, waarvoor men van te voren bang was, is te verwaarlozen;
- het valgedrag van de blokken is te beschrijven als vrijwel recht naar beneden;
- het zogenaamde ‘dwarrelgedrag’, wat tot zeer grote afwijkingen zou kunnen leiden treedt niet op;
- er treedt ook geen schade aan het schip op, voor het mooie zouden echter de schuiven wel aangepast moeten worden, omdat deze de neiging hebben met de onderkant in het dek te willen ‘happen’.

3.3 Toepassen van enkele laag kubussen als toplaag van een golfbreker

In onderzoek van het Waterloopkundig Laboratorium en uit het afstudeeronderzoek van G.S. BHAGELOE, 1998 dat hiervoor als vooronderzoek diende, zie respectievelijk [VAN GENT en SPAAN, 1998] en [BHAGELOE, 1998] is gekeken of de toepassing van een enkele laag kubussen als toplaag voor een golfbreker stabiel genoeg kan zijn. Ook zijn de eigenschappen deze laag dan zou moeten bezitten, tijdens deze onderzoeken onderzocht.

Het doel van het onderzoek is inzicht te geven in de mogelijkheid om enkele toplagen van kubussen toe te passen. Er is daarbij gekeken naar omstandigheden die bij toepassing in constructies bij de landaanwinning ‘Maasvlakte 2’ relevant kunnen zijn. Er is aandacht besteed aan aspecten zoals de golfsteilheid, de kruinhoogte, de waterdiepte, de plaatsingsdichtheid van de elementen en de invloed van onderliggende filterlagen. (Deze samenvatting zal zich voornamelijk richten op het aspect plaatsingsdichtheid van de elementen) Het onderzoek is uitgevoerd op basis van tweedimensionaal modelonderzoek, waarbij gebruik is gemaakt van eerder uitgevoerd modelonderzoek naar dubbele [o.a. VAN DER MEER, 1986] en enkele toplagen [BHAGELOE, 1998]

Zoals gesteld is, zijn tijdens het onderzoek de onderstaande parameters gevarieerd. De parameters zijn:

- Kruinhoogte en waterstand;
- filter;
- golven;
- plaatsingsdichtheid.

Op de plaatsingsdichtheid na, die hieronder zal worden beschreven, zullen de andere parameters in de bijlagen worden beschreven. Ook is hier een tabel opgenomen die een totaal overzicht van de proeven weergeeft.

Plaatsingsdichtheid

Tijdens het onderzoek van het W.L. is de term plaatsingsdichtheid voor een gestorte laag ingevoerd. Deze parameters wordt bepaald door het aantal kubussen dat per vierkante meter op het talud van een golfbreker is aangebracht. Zie voor een nauwkeurigere beschrijving en een wiskundige benadering §7.4. In het onderzoek van het W.L. is de plaatsingsdichtheid (n_p), gedefinieerd als een fictieve porositeit van een toplaag bij een laagdikte gelijk aan de dikte van een kubus van de toplaag, die afhangt van het aantal kubussen op het talud. Op basis van de gewenste plaatsingsdichtheid per serie en de diameter van de kubussen kan vervolgens het benodigde aantal kubussen per vierkante meter (N_{kubus}) bepaald worden door een equivalente laagdikte (d_l) te definiëren:

$$d_l = (1 - n_p) \cdot D_{kubus} \quad (3.1)$$

$$N_{kubus} = \frac{d_l}{D_{kubus}^3} \quad (3.2)$$

hierin is:

d_l	=	equivalente laagdikte [m];
n_p	=	plaatsingsdichtheid [-];
D_{kubus}	=	diameter kubus [m];
N_{kubus}	=	aantal kubussen per vierkante meter [m ⁻²].

Als alternatieve maat voor de plaatsingsdichtheid kan de parameter $\phi = 1 - n_p$ gebruikt worden waarbij de plaatsingsdichtheid toeneemt bij toenemende ϕ .

Na de feitelijke plaatsing van de kubussen is steeds bepaald wat de gerealiseerde plaatsingsdichtheid voor de betreffende serie was. De gerealiseerde plaatsingsdichtheid was bij elke proef vrijwel gelijk aan de gewenste plaatsingsdichtheid.

Uit de uitgevoerde haalbaarheidsstudie, die is uitgevoerd naar aanleiding van de proeven, is gebleken dat het construeren van een golfbreker of zeewering met een enkele toplaag bestaande uit kubussen in principe een geschikt alternatief is voor de traditionele dubbele toplaag. Doordat er na 'begin van schade' slechts een beperkte restweerstand is, moeten er aan een constructie met een enkele toplaag wel hogere eisen gesteld worden (onder andere aan het ontwerp, de acceptabele schadeniveaus en de uitvoering).

Voor een compleet overzicht van de conclusies wordt verwezen naar de bijlagen of naar VAN GENT EN SPAAN, 1998. Hier wordt alleen de conclusie met betrekking tot de plaatsingsdichtheid gegeven:

- Van de drie toegepaste plaatsingsdichtheden is een plaatsingsdichtheid van $n_p = 40\%$ niet geschikt bevonden wegens de vrij extreme inzinking van de toplaag waardoor aan de bovenkant van het talud een open band ontstond. De overige twee plaatsingsdichtheden $n_p = 25\%$ en $n_p = 30\%$ voldoen beide en leiden tot ongeveer dezelfde schadeomvang. Hierbij moet opgemerkt worden dat bij een plaatsingsdichtheid van $n_p = 30\%$ ook enige inzinking optrad, zodat bij de kruin vrij grote open ruimtes ontstonden. Deze open ruimtes hebben in geen van de proeven tot uitspoeling van de filterlaag geleid.

3.4 Modelonderzoek naar het storten van een enkele topklaag met een kraan(schip)

Dit onderzoek is uitgevoerd naar aanleiding van het afstuderen aan de TU Delft [VAN DER VLIET, 2001]. Het doel van dit onderzoek was tweedelig, ten eerste het bepalen van een, in de praktijk haalbare, plaatsingsdichtheid van betonnen kubussen in de afdeklaag van een golfbreker. Ten tweede het vaststellen van welke factoren de plaatsingsdichtheid van de betonnen kubussen in de afdeklaag van een golfbreker tijdens de uitvoering beïnvloeden.

Uit het onderzoek bleek dat er een groot aantal proefparameters aanwezig zijn die gevarieerd zouden kunnen worden. De daadwerkelijk tijdens dit onderzoek gevarieerde parameters zijn:

Zoals al uit de inleiding blijkt zijn er tijdens de proef een aantal parameters te variëren, uiteindelijk zijn de volgende daadwerkelijk veranderd tijdens de diverse series:

- Afstand tussen de kubussen in het stortpatroon;
- oriëntatie van de kubussen in het horizontale vlak;
- valhoogte boven de waterspiegel
- waterdiepte.

Tussenafstand van de kubussen

Verwacht werd dat de tussenafstand van de kubussen grote invloed heeft op de uiteindelijk te bereiken plaatsingsdichtheid. Worden de kubussen te dicht op elkaar gestort, een te kleine tussenafstand, dan zullen ze op elkaar vallen en zal er geen grote dichtheid bereikt worden. Wordt echter de tussenafstand te groot, dan zal eveneens de gewenste plaatsingsdichtheid niet bereikt worden. Er zal dus ergens een optimale tussenafstand zijn, die door verschillende proeven aangetoond zal moeten worden.

Oriëntatie van de kubussen in het horizontale vlak

Voor de oriëntatie in het horizontale vlak zijn drie verschillende mogelijkheden voorgesteld, deze zijn:

- De ribben van de kubus zijn evenwijdig aan de drie hoofdasen van de golfbreker;
- de horizontale ribben van de kubus staan onder een hoek met de x- en y-as;
- willekeurige oriëntatie.

Voor de definitie van het assenstelsel, zie §5.2.2.

Valhoogte boven het wateroppervlak

De valhoogte boven de waterspiegel kan variëren van $-0,5 \cdot D_k$ (kubus net geheel onder water) tot oneindig ver boven de waterspiegel. In de praktijk zal de maximum valhoogte op enkele keren de diameter van de kubus liggen. Uit vooronderzoek is gebleken er bij een valhoogte van 37,5 cm het beste resultaat bereikt werd. Deze waarde is dan ook tijdens het hoofdonderzoek toegepast.

Waterdiepte

De maximale waterdiepte is de afstand van het vrije wateroppervlak tot de bodem, ter plaatse van de overgang van teen naar talud. Deze afstand varieert in de praktijk van $2-3 \cdot D_k$ tot $10-15 \cdot D_k$.

Hier was de maximale waterdiepte afhankelijk van de afmeting van de bak, en was orde grootte $13 \cdot D_k$.

Het modelonderzoek was verdeeld in verschillende series, die op hun beurt weer onderverdeeld waren in verschillende proeven. Hieronder worden de uitgevoerde series kort beschreven.

In de serie A en B, is vooral gekeken naar het valgedrag van de kubussen en het bodemgedrag van de kubussen. In het restant van de series zijn er totale lagen gestort, waarvan de gemiddelde laagdikte, de plaatsingsdichtheid en de porositeit zijn bepaald.

In tabel 3-1 zijn van al de serie zowel de kenmerkende eigenschappen als de resultaten weergegeven.

Proefnr:	Valhoogte/ waterdiepte (cm)	Oriëntatie (°)	Tussenafstand X-richting (cm)	Tussenafstand Y-richting (cm)	Gem. laagdikte [mm]	Plaatsings- dichtheid [%]	Porositeit [%]
C1	37,5 / 150	45	$19\sqrt{2}$	$19\sqrt{2}$	173	61	41
C2	37,5 / 150	45	$17,5\sqrt{2}$	$17,5\sqrt{2}$	184	66	47
C3	37,5 / 150	45	$18,25\sqrt{2}$	$18,25\sqrt{2}$	175	72	38
C4-I	37,5 / 150	45	$18,25\sqrt{2}$	$18,25\sqrt{2}$, $17,5\sqrt{2}$	170	71	37
C4-II	37,5 / 150	45	$18,25\sqrt{2}$	$18,25\sqrt{2}$, $17,5\sqrt{2}$	175	75	36
C4-III	37,5 / 150	45	$18,25\sqrt{2}$	$18,25\sqrt{2}$, $17,5\sqrt{2}$	171	72	37
D1	37,5 / 150	0	$19\sqrt{2}$	$19\sqrt{2}$	182	64	47
D2	37,5 / 150	0	$18,25\sqrt{2}$	$18,25\sqrt{2}$	172	60	47
E1	0 / 150	45	$18,25\sqrt{2}$	$18,25\sqrt{2}$, $17,5\sqrt{2}$	170	64	43
F1	37,5 / 85	45	$17,5\sqrt{2}$	$17,5\sqrt{2}$	170	80	29

Tabel 3-1 Overzicht proevenseries en resultaten

De belangrijkste conclusies en aanbevelingen van het onderzoek worden hieronder gegeven, voor de overige conclusies en aanbevelingen wordt verwezen naar VAN DER VLIET, 2001.

- Kubussen met $D_k = 5$ cm vertoonden een grotere afwijking van de verticaal dan kubussen met $D_k = 10$ cm of $D_k = 15$ cm. Dit wordt veroorzaakt doordat kleine kubussen tijdens het neerkomen minder energie verliezen en daarom verder kunnen ‘wegspringen’
- indien kubussen in horizontale rijen (evenwijdig aan de kruin) gestort worden, dan dient de eerste rij op het talud gestort te worden, de tweede rij op de teen en alle volgende rijen op het talud. Op deze wijze ontstond voldoende ondersteuning voor de derde en volgende rijen op het talud;
- een minimaal porositeitsvolume en een maximale plaatsingsdichtheid van een afdeklaag werden bepaald door de afstand tussen de kubussen in x-richting en in y-richting in het stortpatroon. De afstand in y-richting tussen de kubussen nam hierbij af, naarmate hoger op het talud gestort werden;
- een oriëntatie van de kubussen in het horizontale vlak, waar bij de ribben van de kubussen een hoek van 45° maken met de x-as en de y-as gaf een beter resultaat ten opzichte van een oriëntatie van de kubussen waarbij de ribben evenwijdig stonden aan de x-as en de y-as;
- kubussen die in het water werden losgelaten, vertoonden bij een waterdiepte van $10 \cdot D_k$ een grotere afwijking van de verticaal dan kubussen die boven de waterspiegel werden losgelaten;
- kubussen die boven het water werden losgelaten, sluiten een hoeveelheid lucht in onder de kubus die tijdens de val in het water weer vrijkomt;
- een plaatsingsdichtheid van tenminste 75% (welke vereist is voor een afdeklaag, bestaande uit een enkele laag kubussen) bleek haalbaar voor een waterdiepte ter plaatse van de teen van $5,7 \cdot D_k$, of kleiner. Hierbij werden de kubussen boven de waterlijn losgelaten.

3.5 Conclusies uit de literatuurstudie

De belangrijkste conclusies die relevant zijn voor het hoofdonderzoek zijn:

- Het lijkt mogelijk om met een zijschuifstorter kubussen te storten. Door de goede plaatsbepalingstechnieken tegenwoordig is het ook mogelijk om een zijschuifstorter voldoende nauwkeurig te positioneren zodat de lading op de juiste plek afgeschoven kan worden;
- De stand van een kubus, bij het raken van het wateroppervlak (zodanig dat de kubus met een vlak, een ribbe of een punt het wateroppervlak raakt) heeft vrijwel geen invloed op het snelheidsverloop van een kubus, maar waarschijnlijk wel op de valbeweging in het water;
- Bij proeven waarbij de kubus al een rotatie heeft bij het intreden van het water, kan ook hetzelfde snelheidsverloop worden aangehouden als bij niet roterende kubussen;
- Na verloop van tijd zal de kubus door het Magnus-effect in een rotatie terecht komen. Het effect van deze rotatie is dat de kubus, na een bepaalde inspeelperiode onder een min of meer constante helling (1:5) van de verticaal af beweegt. Als de kubus zich al in een rotatie bevindt, wordt verwacht dat dit verschijnsel sneller optreedt;
- Uit de literatuur [W.L., 1983] volgt dat golven geen merkbaar effect hebben op de uitwijking van een kubus, echter, de stroming heeft wel degelijk effect op de uiteindelijke valbaan van een kubus;
- Uit modelonderzoek blijkt dat bij goede toepassing een enkele toplaag voor een golfbreker voldoende stabiel kan zijn. Er moet dan wel worden voldaan aan verschillende eisen en voorwaarden, met betrekking tot de grootte van het materiaal van de filterlaag, de kruinhoogte en waterstand, de golfsteilheid en de plaatsingsdichtheid. Uit de laatste parameter volgt dat een laag stabiel is als voldaan wordt aan een plaatsingsdichtheid tussen de 25 en 30%;
- In voorgaand modelonderzoek is met redelijk succes een enkele laag kubussen in een modelsituatie op een golfbreker aangebracht, de parameters die van invloed leken op het uiteindelijk resultaat waren, de tussenafstanden in x –en y-richting, de oriëntatie van de kubussen op het afschuifdek, de valhoogte en de waterdiepte;
- De maximale plaatsingsdichtheid die uit de proeven naar voren komt is 20%. Waarbij opgemerkt moet worden dat deze waarde slechts één keer bereikt is met het storten van de kubussen bij een beperkte waterdiepte.

De onderzoeksvragen die direct volgen uit het literatuuronderzoek zijn:

- Hoe wordt een zijschuifstorter op een goede manier verschaald naar de modelschaal? Wat zijn de kenmerkende eigenschappen en afmetingen?
- Wat gebeurt er met een kubus als deze in de modelsituatie wordt afgeschoven? Ontstaat er een rotatie? Zet deze rotatie door als de kubus het wateroppervlak raakt? Wordt deze rotatie op den duur constant als zal tijdens de val het Magnus-effect optreden?
- Welke parameters dienen tijdens het onderzoek te worden gevarieerd en wat is de invloed hiervan op het uiteindelijke resultaat? Verwacht wordt dat de tussenafstand, de oriëntatie en de waterdiepte van invloed zijn op het resultaat.

Verwacht wordt dat bovenstaande vragen gedurende het onderzoek kunnen worden beantwoord, hetzij door directe conclusies uit meetresultaten hetzij door waarnemingen tijdens het modelonderzoek.

4 Schaaleffecten bij proeven met betonnen kubussen

4.1 Inleiding

Modelproeven bieden de mogelijkheid om op relatief eenvoudige en goedkope manier de werkelijkheid (het prototype) in een schaalmodel na te bootsen. Dit laatste is echter ook het kritische probleem bij het uitvoeren van proeven op schaal; worden de processen en omstandigheden die zich werkelijk afspelen op de juiste wijze in het schaalmodel weergegeven, oftewel is er sprake van gelijkvormigheid van de bestudeerde verschijnselen in model en prototype? Op dit vraagstuk wordt in dit hoofdstuk ingegaan. Omdat er in de loop van de tijd verschillende onderzoeken zijn uitgevoerd in het kader van het afstuderen is er omtrent dit onderwerp al veel geschreven. Voor de totstandkoming van dit hoofdstuk is hier dan ook dankbaar gebruik van gemaakt. Gebruikt is onder andere de Collegehandleiding Waterloopkundig onderzoek, b80 [DE VRIES, 1977] en de afstudeerverslagen [VAN OORD, 1996], [VAN GELDEREN, 1999] en [VAN DER VLIET, 2001]

4.2 Schaalregels

De kwaliteit van modelonderzoek hangt in belangrijke mate af van de betrouwbaarheid van de resultaten, die wordt bepaald door de mate van gelijkvormigheid van de bestudeerde verschijnselen in model en prototype. Deze gelijkvormigheid wordt gekarakteriseerd door schaalregels, die zijn gebaseerd op fysische wetten. Afwijkingen van schaalregels geven verschillen tussen model en prototype, zogenaamde schaaleffecten. De volgende drie vormen van gelijkvormigheid worden onderscheiden:

- Geometrische gelijkvormigheid
Twee systemen zijn geometrisch gelijkvormig wanneer de verhouding van overeenkomstige geometrische parameters onderling gelijk zijn. Geometrische grootheden zijn onder andere oppervlakte en inhoud;
- Kinematische gelijkvormigheid
Twee systemen zijn kinematisch gelijkvormig als overeenkomstige afstanden in overeenkomstige tijdsintervallen worden afgelegd. Afgeleide grootheden zijn bijvoorbeeld snelheid en versnelling;
- Dynamische gelijkvormigheid
Twee systemen zijn dynamisch gelijkvormig indien overeenkomstige massa's onder invloed van overeenkomstige krachten kinematische gelijkvormigheid bezitten. Grootheden die in dit kader een rol spelen zijn bijvoorbeeld, dichtheid, kracht, energie en vermogen. Deze gelijkvormigheid is gebaseerd op de tweede Wet van Newton ($F = m \cdot a$)

4.3 De Navier-Stokes vergelijking

Voor de beschrijving van de vloeistofstroming rond een vallende kubus kunnen de vergelijkingen van Navier-Stokes worden gebruikt. Waarbij wel wordt opgemerkt dat deze vergelijkingen geen rekening houden met rotatie als ook de oorzaken die leiden tot snelheids- en drukveranderingen van en in de vloeistof, zowel in plaats als in tijd. De Navier-Stokes vergelijking voor drie, onderling loodrechte, richtingen wordt gegeven in vergelijking 4.1.

$$\rho_w \cdot \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} \right) + \rho_w \cdot \vec{u} \cdot (\nabla \vec{u}) = -\nabla p + \rho_w \cdot \vec{f} + \eta \cdot \nabla^2 \cdot \vec{u} \quad (4.1)$$

Hierin is:

ρ_w	=	massadichtheid van het water [kg/m^3],
η	=	dynamische viscositeit van het water [kg/ms],
p	=	waterdruk [N/m^2],
\vec{f}	=	versnelling ten gevolge van een externe kracht [m/s^2],
\vec{u}	=	snelheid van het water ten opzichte van de kubus [m/s].

Na het invoeren van de normerende grootheden, (U) voor de snelheid, (L) voor de lengte, (T) voor de tijd en (p_0) voor de druk, waarbij gesteld wordt dat de zwaartekrachtsversnelling (g) de enige externe kracht is, kunnen de volgende dimensieloze grootheden worden geformuleerd:

$$\bar{u}_d = \frac{\bar{u}}{U}, \quad t_d = \frac{t}{T}, \quad p_d = \frac{p}{p_0}, \quad \bar{g}_d = \frac{\bar{g}}{g}, \quad \nabla_d = L \cdot \nabla, \quad \nabla_d^2 = L^2 \cdot \nabla^2 \quad (4.2)$$

Deze dimensieloze grootheden ingevuld in vergelijking 4.2 geeft:

$$\left(\frac{\rho_w U}{T} \right) \cdot \frac{\partial \bar{u}_d}{\partial t} + \left(\frac{\rho_w U^2}{L} \right) \cdot \bar{u}_d \cdot (\nabla_d \cdot \bar{u}_d) = - \left(\frac{p_0}{L} \right) \cdot \nabla_d \cdot p_d + \bar{g}_d \cdot \rho_w \cdot g + \left(\frac{\eta U}{L^2} \right) \cdot \nabla_d^2 \cdot \bar{u}_d \quad (4.3)$$

Door vervolgens vergelijking 4.3 te delen door $\rho_w \cdot U^2 \cdot L^{-1}$ geeft dit:

$$\left(\frac{L}{UT} \right) \cdot \frac{\partial \bar{u}_d}{\partial t} + \bar{u}_d \cdot (\nabla_d \cdot \bar{u}_d) = - \left(\frac{p_0}{\rho_w U^2} \right) \cdot \nabla_d \cdot p_d + \bar{g}_d \cdot \left(\frac{gL}{U^2} \right) + \left(\frac{\eta}{\rho_w UL} \right) \cdot \nabla_d^2 \cdot \bar{u}_d \quad (4.4)$$

In vergelijking 4.4 zijn tussen de haken, vier verschillende dimensieloze kentallen te onderscheiden; het getal van Strouhal, het getal van Euler, het getal van Froude en het getal van Reynolds.

$St^{-1} = \frac{L}{UT}$ De reciproke van het getal van Strouhal. Dit getal geeft de verhouding tussen de stationaire traagheidskracht ($\rho_w U^2 L^2$) en de instationaire traagheidskracht ($\rho_w UL^3/T$) weer. Het getal is een maat voor het afschudden van wervels

$Eu^{-1} = \frac{p_0}{\rho_w U^2}$ De reciproke van het getal van Euler. Dit getal geeft de verhouding tussen de drukkracht ($p_0 L^2$) en de stationaire traagheidskracht ($\rho_w U^2 L^2$). De druk in de vloeistof zal niet veel invloed hebben op de valbeweging van de kubus in de zogenaamde tweede fase van het valproces.

$Fr^{-1} = \frac{gL}{U^2}$ De reciproke van het Froudegetal. Dit getal geeft de verhouding tussen de zwaartekracht ($\rho_w g L^3$) en de stationaire traagheidskracht ($\rho_w U^2 L^2$) aan. Het speelt een rol bij stroming met een vrije waterspiegel. De val van de kubus wordt geacht zich in een oneindige watermassa af te spelen, zodat er geen invloed van de vrije waterspiegel zal zijn. De stationaire traagheidskrachten kunnen in de tweede fase van het valproces van een kubus worden verwaarloosd.

$Re^{-1} = \frac{\eta}{\rho_w UL}$ De reciproke van het getal van Reynolds. Dit getal geeft de verhouding tussen de viskeuze kracht ($\eta UL/\rho_w$) en de stationaire traagheidskracht ($\rho_w U^2 L^2$) weer. De viscositeit van de vloeistof speelt bij de valbeweging van een kubus een belangrijke rol.

In de volgende punten worden de verschillende kentallen genoemd en verder beschreven.

Het getal van Strouhal

Als eerste is in de vergelijking het getal van Strouhal te zien. Het getal van Strouhal is een maat voor het afwisselend loslaten van wervels en leidt tot asymmetrische druk- en snelheidsprofielen rondom een vallend voorwerp. Dit heeft een versnelling van het voorwerp loodrecht op de valrichting tot gevolg. Het verschijnsel wordt ook wel vortex-shedding genoemd. Tijdens het modelonderzoek moet het getal van Strouhal overeenkomen met de waarde die geldt in de prototype-situatie. Dit houdt in dat voldaan moet worden aan de eis van gelijkvormigheid voor model en prototype overeenkomstig massadichtheid, vorm- en oppervlakterutheid.

De kubussen in het model vertonen relatief grove onregelmatigheden. Een kiezel die in één van de oppervlakken van een kubus ontbreekt, is voor een kubus in het model van veel grotere invloed dan voor één missend kiezeltje in de oppervlakte van de kubus van het prototype-formaat. Uit VAN OORD, 1996 volgt bovendien dat kubussen met afgeronde randen een iets kleinere afwijking van de verticaal vertonen dan kubussen met scherpe randen.

Doordat de kubussen tijdens het onderzoek meerdere malen worden gebruikt, raken de randen en hoekpunten op den duur licht beschadigd. Hierdoor ontstaat een kubus met een betere stroomlijn, die in theorie dus een kleinere afwijking van de verticaal zal hebben. Maar deze invloed wordt dusdanig klein geacht dat die tijdens dit onderzoek verwaarloosd is.

Omdat een modelkubus en een prototype kubus globaal dezelfde massadichtheid, vorm- en oppervlakteruwheid hebben, wordt geconcludeerd dat er aan de eis van het getal van Strouhal wordt voldaan.

Het getal van Euler

In VAN OORD, 1996 wordt gesteld dat het getal van Euler alleen een rol speelt bij compressibele of cavitierende stromingen. Volgens VAN OORD doen deze verschijnselen zich niet voor bij de valbeweging van een voorwerp in water, waardoor het getal van Euler in model en prototype gelijk is en de verschijnselen dus gelijkvormig zijn.

Voor de situatie dat een voorwerp in het water gehouden wordt en dan pas losgelaten wordt, gaat bovenstaande vergelijking waarschijnlijk wel op. Maar uit VAN DER VLIET, 2001 blijkt dat als een kubus boven water wordt losgelaten een aanzienlijke hoeveelheid lucht wordt meegenomen. En in tegenstelling tot alleen water, is het mengsel van water en lucht wel samendrukbaar. Het is echter niet duidelijk welke parameters een rol spelen bij de insluiting van lucht tijdens de val van een kubus en het vrijkomen van de lucht in het water. Het is daarom ook niet bekend of deze effecten lineair verlopen met de opschaling van model naar prototype, tevens is ook niet duidelijk wat de invloed is van de vrijkomende lucht op de valbeweging van de kubus. Door al deze onduidelijkheden kan niet zonder meer gesteld worden dat het getal van Euler voor model en prototype gelijk zijn. In de literatuur is niets bekend van het effect van luchtinsluiting onder vallende kubussen.

Het getal van Froude

Is in het model het Froudegetal gelijk aan het Froudegetal in het prototype, en is er sprake van een stroming met een vrije waterspiegel, dan wordt er gesproken van 'meetkundige gelijkvormigheid'. [DE VRIES, 1977, p.19] Het getal van Froude geeft voor afmetingen, gewichten en tijdschalen de verhouding aan bij verscaling van model naar prototype en omgekeerd. Hierbij wordt een schaalfactor (n) gebruikt. De schaalfactor bij een willekeurige variabele (i) is per definitie:

$$n_i = \frac{i_{\text{prototype}}}{i_{\text{model}}} \quad (4.5)$$

Op basis van de formule voor het getal van Froude worden de volgende schaalregels afgeleid voor het Froude-model:

n_l	= x	lengteschaal
n_u	= x ^{1/2}	snelheidsschaal
n_m	= x ³	gewichtsschaal
n_t	= x	tijdschaal

Schaaleffecten in een model op basis van het getal van Froude worden alleen uitgesloten indien ook de getallen van Reynolds en Strouhal in model en prototype gelijkvormig zijn.

Het getal van Reynolds

Schaaleffecten in de modelproeven met betrekking tot het getal van Reynolds worden uitgesloten wanneer het getal van Reynolds geen invloed heeft op de weerstandscoefficiënt (C_D). Algemeen wordt gesteld dat het getal van Reynolds groter moet zijn dan ongeveer 4000 [BATTJES, 1999]. Dit wordt veroorzaakt doordat de invloed van de viscositeit van het water op de stromingstoestand rondom de vallende kubus verwaarloosbaar is geworden door de toegenomen invloed van de traagheidskracht van de vallende kubus, met als gevolg dat de overgang van het karakter van de stroming van laminair naar turbulent verschuift.

Het getal van Reynolds kan als volgt worden geschreven:

$$\text{Re} = \frac{wD_k}{\nu} \quad (4.6)$$

Hierin is:

w	=	momentane snelheid van de kubus [m/s];
D_k	=	lengte van de ribbe van een kubus [m];
ν	=	kinematische viscositeit [m ² /s].

Met het getal van Reynolds kan de minimale afmeting van de in de modelproeven te gebruiken kubussen bepaald worden, maar hiervoor wordt verwezen naar §5.2.3.1.

4.4 Elasticiteitscoëfficiënten en schaaleffecten

Het materiaal van de kubussen in het model is gelijk aan het materiaal van de kubussen van het prototype, namelijk beton. In VAN OORSCHOT, 1972 wordt gesteld dat de kubussen in het model relatief verder zullen wegspringen ten opzichte van kubussen in een prototypesituatie, omdat de elasticiteitscoëfficiënt voor model en prototype gelijk zijn.

In het voorgaande onderzoek [VAN DER VLIET, 2001] is ook al het een en ander over dit onderwerp geschreven en is er zelfs een begin gemaakt met een modellering van een kubus die een onderwaterbodem raakt. Omdat hiermee geen duidelijke eenduidige oplossing voor het gegeven probleem wordt bereikt, is besloten om aan de uitkomsten van het onderzoek van dit verschijnsel meer waarde te hechten dan aan het model. Voor de volledigheid is het model wel opgenomen in de bijlagen, zie bijlage H.

De uitkomsten van het onderzoek van VAN DER VLIET, 2001 zijn dat de verplaatsing van kubussen met $D_k = 5$ cm groter zijn dan van kubussen met $D_k = 10$ cm of $D_k = 15$ cm. Het was duidelijk zichtbaar dat de kleinste kubussen omhoog stuiterden en zo verder werden verplaatst, dit in tegenstelling tot de grotere kubussen waarbij dit veel minder het geval was. Ondanks het beperkte aantal uitgevoerde proeven, wordt op grond van bovenstaande gesteld dat de kubussen in het model veel meer de neiging hebben weg te 'stuiteren' dan in de prototypesituatie. Dit is waarschijnlijk ook van invloed op de uiteindelijk te halen maximale plaatsingsdichtheid tijdens de proeven.

5 De experimenten

5.1 Inleiding

Net als bij het onderzoek van VAN DER VLIET, 2001 wordt ook tijdens het uitvoeren van dit onderzoek gebruik gemaakt van een reeds bestaande bakconstructie, zie foto A-1 en A-2 in bijlage A. In dit hoofdstuk komen allerlei zaken aan de orde die direct met de uitvoering van de experimenten te maken hebben. Zo wordt er begonnen met een beschrijving van de proefopstelling en de materialen en hulpmiddelen die tijdens de experimenten gebruikt worden. Vervolgens worden er verschillende te variëren parameters voorgesteld. Na een korte toelichting van deze parameters en het toetsen van deze aan de onderzoeksfilosofie, worden er een aantal gekozen die tijdens de experimenten gevarieerd worden. Om tot een goede modellering van een zijschuifstortor te komen is een aparte paragraaf in dit hoofdstuk opgenomen, die ingaat op de aan dit model te stellen eisen en het uiteindelijke ontwerp van het model.

5.2 Proefopstelling

5.2.1 *Het model van de golfbreker*

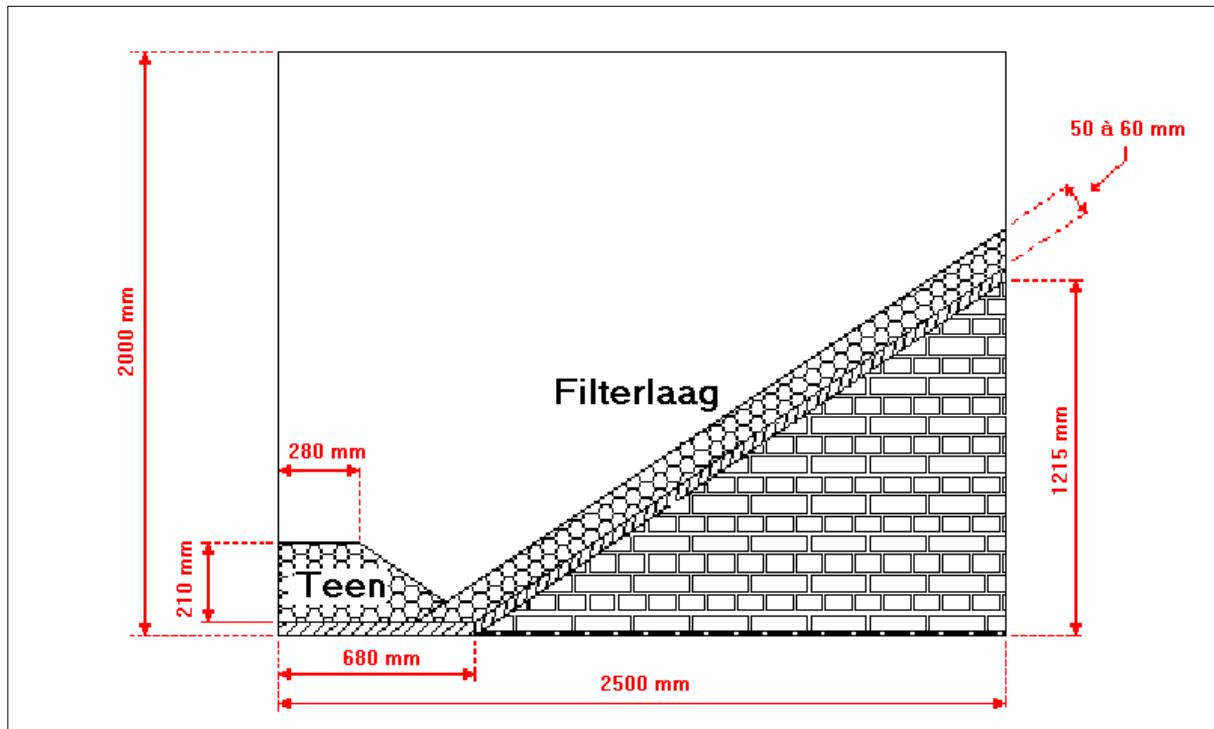
Het model van de golfbreker is geplaatst in een grote stalen bak met de afmetingen van ongeveer 2,5·2,5·2,0 m ($l \cdot b \cdot h$). De bak bestaat uit twee glasplaten, één aan de voorzijde en één aan de zijkant van de bak, zodat de waarnemingen tijdens de proef ook loodrecht op de bak gedaan kunnen worden. De overige twee zijkanten zijn opgebouwd uit stalen platen. De bovenzijde is in zijn geheel open. De golfbreker is op de bodemplaat van de bak gebouwd en bestaat uit een teen en een talud. Zowel de teen als het talud zijn opgebouwd uit holle bakstenen. In bijlage A zijn foto's van de proefopstelling als ook de hulpmiddelen opgenomen.

Op deze bakstenen is een doek aangebracht en daar overheen een laag cement met daarin breuksteen. In deze constructie zijn openingen aangebracht die ervoor moeten zorgen dat het water ongehinderd naar een gat in de achterwand kan stromen, zodat de bak onder vrij verval kan worden geleegd. Dit gat is met een afsluiter open en dicht te draaien.

Vervolgens is er een laag breuksteen in cement, op de helling aangebracht. Hierna is op deze vaste laag, een laag breuksteen als filterlaag aangebracht. Deze is niet vastgezet en ligt dus los op het model van de golfbreker (in het vervolg, gewoon: golfbreker). Zowel de in cement gestorte breuksteen als de losse breuksteen is van dezelfde gradatie. De dikte van de filterlaag op het talud is ongeveer $2 \cdot D_{n50}$, dat is ongeveer 0,12 m.

De teen is uitgevoerd als een massieve constructie. De bovenste laag van de teen bestaat uit ingemetseld breuksteen. De reden hiervoor is dat de teen de enige plek in de bak is, waarop gelopen moet kunnen worden zonder de constructie te beschadigen. Het uiteindelijke talud van de golfbreker staat onder een helling van 2:3, conform de in de praktijk voor betonnen elementen meest toegepaste helling.

In figuur 5.1 is een schematische weergave van het model van de golfbreker gegeven. Aan weerszijden aan de bovenkant van de bak zijn meetlinten aangebracht, waarmee de positie van de te storten kubussen kan worden vastgesteld.



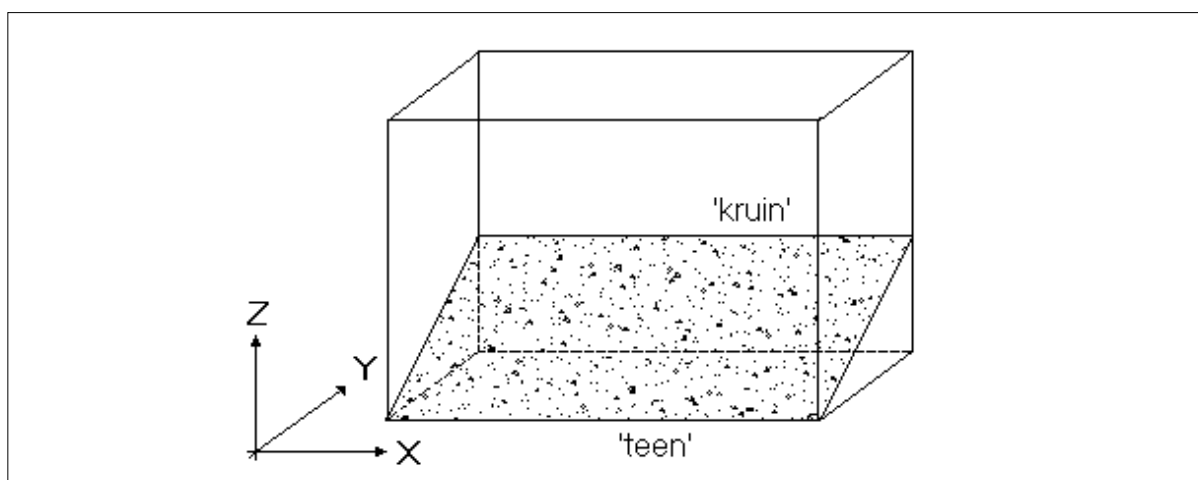
Figuur 5.1 Dwarsdoorsnede van de proefopstelling

5.2.2 Definitie van het assenstelsel

Door een vast driedimensionaal assenstelsel te definiëren, kan hieraan gerefereerd worden tijdens de experimenten. Het assenstelsel bestaat uit drie hoofdassen, deze zijn:

- x-as: deze loopt evenwijdig aan de snijlijn van de teen en het talud van de golfbreker;
- y-as: deze staat loodrecht op de x-as, en vormt samen met de x-as het totale horizontale vlak;
- z-as: deze is evenwijdig aan de verticaal en staat loodrecht op het horizontale (xy-)vlak.

De x-as is positief van links naar recht, als je recht voor het talud van de golfbreker staat. De y-as is dan positief van de teen richting de helling (dus van je af, als je voor de golfbreker staat) en de z-as is vanaf de teen naar de 'kruin' van de golfbreker (dus van beneden naar boven). Dit is ook schematisch weergegeven in figuur 5.2.



Figuur 5.2 Assenstelsel proefopstelling

5.2.3 Gebruikte materialen en hulpmiddelen

Ondanks het feit dat het meeste materiaal en materieel al gebruikt is in het voorgaande onderzoek, en dus ook voor dit onderzoek vast ligt, leek het toch verstandig om nog even de gemaakt stappen door te lopen, die ten grondslag hebben gelegen voor de eertijds gemaakte keuzen. Het materialen die tijdens deze experimenten gebruikt zijn, zijn:

- Betonnen kubussen;
- filtermateriaal;
- water uit het laboratoriumsysteem.

De (hulp)middelen, waarvan tijdens de experimenten gebruik van gemaakt is, zijn:

- Meetbalk;
- slee met een peilstok;
- verschillende bollen voor aan de peilstok;
- model van een zijschuifstorter.

Op het model van de zijschuifstorter na, worden de bovengenoemde materialen en hulpmiddelen in onderstaande punten verder beschreven.

5.2.3.1 Betonnen kubussen

De afmeting van de kubussen is aan de hand van twee voorwaarden gekozen. Ten eerste de eis dat tijdens de val van de kubus, een turbulente stroming rond de kubus zal ontstaan, omdat dat zich in de praktijk ook voor zal doen. Uit VAN DER VLIET, 2001 bleek het 'wegspringgedrag' van een kubus, sterk af te hangen van de grootte van de kubus. Hoe kleiner de kubus des te verder de kubus relatief zal wegspringen. Deze twee voorwaarden worden hieronder kort toegelicht, waarna een keuze volgt voor de uiteindelijk gebruikte afmeting van de kubussen.

Turbulente stroming

Om een stroming turbulent te laten zijn, wordt er een eis aan de grootte van het getal van Reynolds gesteld, zie §4.3. Deze eis is dat het getal voor zowel het model als het prototype groter is dan ongeveer 4000 [BATTJES, 1999]. Zoals al gegeven is kan het getal van Reynolds geschreven worden als:

$$Re = \frac{wD_k}{\nu} \quad (5.1)$$

Hierin is:

w	=	momentane snelheid van de kubus [m/s];
D_k	=	ribbenlengte van een kubus [m];
ν	=	kinematisch viscositeit [m ² /s].

Met behulp van vergelijking 5.1 zijn voor verschillende diameters de evenwichtssnelheden te berekenen. Voor de weerstandscoefficiënt (C_D) wordt hier een waarde van 1,32 gebruikt, deze volgt uit VAN OORSCHOT, 1972. In tabel 5-1 staan voor verschillende diameters de evenwichtssnelheden weergegeven, evenals de Reynoldsgetallen die behoren bij de desbetreffende diameters en eindsnelheden. Voor de berekening van de Reynoldsgetallen wordt aangenomen dat $\nu = 1,33 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Deze waarde geldt voor water met een massadichtheid van (ρ_w) 1000 kg/m^3 met een temperatuur van $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Eigenschappen:	Ribbenlengte:			
	R = 0,05 m	R = 0,10 m	R = 0,15 m	R = 2,00 m
Evenwichtssnelheid	1,02	1,44	1,77	6,45
Reynoldsgetal	38.347	108.461	199.256	9.701.076

Tabel 5-1 Reynoldsgetallen van kubussen met verschillende ribbenlengten

Uit de tabel volgt dat zelfs een kubus met een ribbenlengte van 0,05 m nog ver boven de genoemde grens van 4000 ligt. Dus al de kubussen zitten in het turbulente gebied.

Uit VAN DER VLIET, 2001 blijkt visueel zelfs dat er onder de kubussen lucht wordt ingesloten. Deze lucht komt tijdens de val vrij. Hierdoor neemt de viscositeit van het water-lucht mengsel toe. Maar ondanks deze toename van de viscositeit, waardoor de grootte van het Reynoldsgetal zal afnemen, blijkt uit de wervels die zich ontwikkelen tijdens de val van de kubus dat deze zich nog in het turbulente gebied bevindt.

Wegspringgedrag

Uit het wegspringgedrag van een kubus die de bodem raakt, kan ook een eis gesteld worden ten aanzien van de afmeting van de kubus. Uit VAN DER VLIET, 2001 blijkt dat kubussen met een $D_k = 5$ cm een grotere afwijking van de verticaal vertonen dan kubussen met een $D_k = 10$ cm of $D_k = 15$ cm. Hierdoor is het wenselijk een grotere ribbenlengte van de kubussen te gebruiken tijdens de uitvoering van de proeven.

Gekozen kubusafmeting

Op grond van bovenstaande berekeningen en bevindingen is gekozen om kubussen met een ribbenlengte van 0,15 m te gebruiken tijdens de experimenten. Het beton waar de kubussen van gemaakt zijn, heeft een soortelijk gewicht van ongeveer 2300 kg/m^3 , zodat het gewicht van een kubus ongeveer 7,76 kg is. Deze is nog goed te hanteren en in verhouding niet te groot voor de afmeting van de stalen bak.

5.2.3.2 Filtermateriaal

De afmetingen van het filtermateriaal zijn aan de hand van twee te stellen eisen gekozen. De eerste eis volgt uit de filterregels, die de verhouding aangeven tussen de breuksteen in de filterlaag en de kubussen van de afdeklag, deze eis is onder andere gegeven in de Shore Protection Manual, [S.P.M., 1984]. Hierin staat vermeldt dat de verhouding tussen het gewicht van de toplaag ten opzichte van de filterlaag ongeveer 10 à 15 is, dus $M_{\text{toplaag}}/M_{50\text{-filterlaag}} = 10\text{-}15$.

Ten tweede is de afmeting bepaald aan de hand van het in het literatuuronderzoek beschreven onderzoek naar golfbrekers met een enkele toplaag [VAN GENT, 1998]. Hieruit volgt dat het filtermateriaal met een sortering van $M_{\text{toplaag}}/M_{50\text{-filterlaag}} = 10\text{-}20$ het meest geschikt is voor de toepassing van een enkele toplaag.

Zoals in §5.2.1 al is aangegeven is als filtermateriaal gekozen voor breuksteen. De gekozen sortering van het materiaal heeft een karakteristieke grootte van; $D_n = 50\text{-}60$ mm en een soortelijk gewicht van ($\rho_{\text{breuk.}}$) 2650 kg/m^3 .

5.2.3.3 Water uit het laboratoriumsysteem

Het water dat gebruikt is voor het vullen van de stalen bak is afkomstig uit het systeem dat aanwezig is in het Laboratorium voor Vloeistofmechanica. In de praktijk wordt meestal gewerkt in zout water, dat een groter soortelijk gewicht heeft van ($\rho_{w,\text{zout}}$) $\pm 1025 \text{ kg/m}^3$. Maar tijdens de modelproeven wordt gewerkt met zoet water dat een soortelijk gewicht heeft van ($\rho_{w,\text{zoet}}$) $\pm 1000 \text{ kg/m}^3$. Zo is het verschil in evenwichtsvalsnelheid bij zoet en zout water maar 1% bij een vallende kubus met een soortelijk gewicht van (ρ_k) 2400 kg/m^3 . Dit verschil is zo klein dat het te verwaarlozen is.

5.2.3.4 Meetbalk

De meetbalk bestaat uit drie houten balken die op enige afstand van elkaar, door middel van dwarsbalken, schrankvrij aan elkaar zijn vastgemaakt, zie foto A-4 en A-8 in bijlage A. De meetbalk kan evenwijdig aan de x-as op de bak geplaatst worden. Een aantal meetlinten op de meetbalk zorgen voor een goede plaatsbepaling in de x-richting. Aan een van de zijanten van de meetbalk is een kloosje opgenomen, dat tegen de zijkant van de bak kan worden aangedrukt, zodat de balk op ieder ogenblik tijdens het onderzoek in dezelfde positie ligt.

De meetbalk heeft twee doeleinden. Ten eerste draagt hij de stalen slee met de peilstok en ten tweede wordt, tijdens het uitvoeren van de experimenten, het model van de zijschuifstorter hierop gelegd. Met de meetlinten van zowel de bak, zie §5.2.1, als de meetlinten op de meetbalk kan de juiste positie in zowel de x-richting als de y-richting bepaald worden.

5.2.3.5 Slee met peilstok

De slee met de peilstok, bestaat uit drie stalen hoekprofielen. Deze zijn zo aan elkaar gelast dat ze vrij kunnen schuiven over de meetbalk. Op deze slee is, loodrecht, een vierde stalen hoekprofiel gelast, waaraan een peilstok is bevestigd. Met deze peilstok kunnen verschillende diepten bepaald worden. (dus in de z-richting) Aan de peilstok zit over de gehele lengte een stalen meetband met millimeterschaal vast. Zie foto A-3 en A-4 in bijlage A.

5.2.3.6 Halve bollen voor de peilingen

Voor het inpeilen van de verschillende lagen wordt gebruikt gemaakt van de halve-bol-methode, zie CUR, 1991. Volgens deze methode moet een laag ingemeten worden met een halve bol met een diameter van 0,5 maal de karakteristieke afmeting van de laag. Omdat hier twee verschillende lagen moeten worden ingepeild, zowel de breukstenen filterlaag als de toplaag van betonnen kubussen, zijn er dus ook twee verschillende bollen nodig. En wel, een halve bol met een diameter van $(0,5 \cdot D_{n\text{-breuk}}) = 30$ mm en een halve bol met een diameter van $(0,5 \cdot D_k) = 75$ mm. Voor een foto van de gebruikte halve bollen zie foto A-5 in bijlage A. Zoals op de foto te zien is, is aan elke bol een draadstang bevestigd, waaraan een moer is geschroefd. Deze moer zorgt ervoor dat beide stangen even ver in de peilstok worden geschroefd, wat nodig is voor een goede laagdiktebepaling.

5.3 Model(schuifstorter)

Zoals gesteld is, worden de kubussen in de toplaag van de golfbreker tijdens dit onderzoek aangebracht met een zijschuifstorter. Dus ook deze moet op modelschaal worden gebouwd. In deze paragraaf worden de verschillende stappen doorlopen die geleid hebben tot het uiteindelijke ontwerp van deze (model)schuifstorter. Allereerst volgen hier nog even de belangrijkste eigenschappen van een schuifstorter, de “Cetus” volgens §2.3:

- De lengte van het laaddek van de ‘Cetus’ is ruim 45 meter;
- er zijn twee schuiven per kant, die niet onafhankelijk van elkaar kunnen bewegen;
- de schuiven en zodanige vorm dat ze de kubussen aan de onderzijde wegschuiven;
- de snelheid van de schuiven is 1,5 cm/s en is niet te variëren;
- met behulp van het DP-systeem en ankerlieren kan het schip goed en nauwkeurig op de juiste plek gemanoeuvreed worden;
- door middel van watertanks is het schip zo te ballasten dat het afschuifdek altijd horizontaal ligt; eveneens kan hier de valhoogte, hetzij in beperkte mate, mee gevarieerd worden.

Uit deze gegevens kunnen de volgende eisen aan het model worden gesteld

5.3.1 Eisen aan het model

Om een goed model van een schuifstorter te maken, worden naar aanleiding van de in vorige paragraaf genoemde punten, de volgende eisen gesteld:

- Het is niet zinvol om over de gehele breedte van de bak een schuif te maken, verwacht wordt dat er namelijk niet meer dan vijf kubussen tegelijk gestort hoeven te worden. Omdat verwacht wordt dat het wel verschil maakt als er één, twee, drie of vijf kubussen gestort worden, maar dat het verschil tussen het storten van vijf of meer niet veel meer zal uitmaken. Als er vijf kubussen onder een hoek (45°) op het model worden gezet, is er maximaal een model nodig met een lengte van

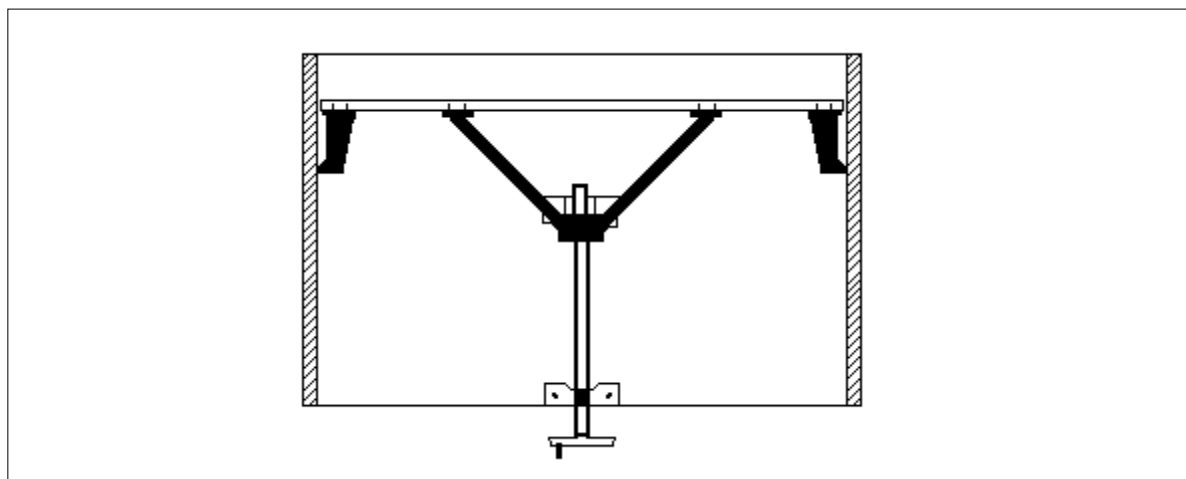
- 1,06 m. Wellicht moet er nog met een bepaalde tussenafstand gestort worden, dus wordt de uiteindelijke lengte van het model van de schuifstorter op 1,25 m gesteld;
- er hoeft maar één rij kubussen tegelijk afgeschoven worden. Dus als er een kubus onder een oriëntatie van 45 graden moet worden afgeschoven, hoeft de schuif hooguit 0,21 m verschoven te worden, om deze kubus in zijn geheel af te schuiven. Omdat er bij het afschuiven van een kubus onder een oriëntatie een hulpmiddel moet worden gebruikt om de kubussen tijdens het afschuiven onder dezelfde oriëntatie te houden, wordt gesteld dat de schuif 0,25 m verschoven moet kunnen worden;
 - de schuif moet worden gemaakt van een gladde plaat, die iets onderuit bevestigd wordt aan de aandrijving om ook in het model de kubussen aan de onderzijde weg te drukken;
 - als de afschuifsnellheid van het model wordt verschaald, volgens de schaalregels van Froude, dan moet het model, bij een modelschaal van 1:10, de kubussen afschuiven met een gemiddelde snelheid van 1,5 cm/s gedeeld door $\sqrt{10}$ is $\pm 0,5$ cm/s;
 - met de meetlinten langs de bak en op de meetbalk, kan een precieze plaatsing van de kubussen gerealiseerd worden. Handig is ook een schaalverdeling die zich op het model bevindt te gebruiken;
 - de valhoogte van de kubussen is het gemakkelijkst te variëren door de waterstand in de bak te variëren; hierbij verandert dus wel de waterdiepte, maar dit is waarschijnlijk van ondergeschikte invloed;
 - als er een aantal kubussen op het model worden gezet, bijvoorbeeld vijf met een totaal gewicht van ongeveer 40 kg, dan moet zowel het model als de meetbalk niet te ver doorbuigen, zodat de stortomstandigheden, steeds dezelfde zijn;
 - verder wordt opgemerkt dat de schuiven zonder horten en stoten en dus gelijkmatig de kubussen moeten kunnen afschuiven;
 - er hoeft maar één laaddek van een zijschuifstorter te worden gemodelleerd.

5.3.2 Uiteindelijk ontwerp van het model

Voor het uiteindelijke ontwerp van het model is het volgende besloten:

- Voor de aandrijving van de schuif wordt gekozen voor een spindel met een spoed van 4 millimeter, zodat bij één keer draaien aan de spindel de schuif 4 millimeter verschuift; dus kan vrij gemakkelijk en nauwkeurig de snelheid van 0,5 cm/s gehaald worden;
- het model bestaat grofweg uit een grondplaat (1,25 m bij 80 cm) met aan de zijkanten ook twee verticale plaatjes. Daartussen wordt een schuif (op wieltjes) geplaatst die op zijn plek gehouden wordt door de spindel die weer verbonden is met twee steunen die vast op de grondplaat vast zitten. Door aan weerszijden van de schuif twee schrankplaatjes te bevestigen, kan de schuif niet schranken tijdens het afschuiven van de kubussen en worden deze dus steeds op dezelfde manier recht afgeschoven;
- de spindel kan worden gedraaid door aan een wiel aan de achterkant van het model te draaien;
- het model wordt op de spindel en de steunen na verder in z'n geheel opgebouwd uit redelijk slijtvast, betonplex; dit is ook dusdanig sterk dat er verwacht wordt dat er geen vervormingen in het model zullen ontstaan als er een aantal kubussen op worden geplaatst.

In figuur 5.3 is een schematische voorstelling gegeven van het bovenaanzicht van het model van de zijschuifstorter. In figuur 5.4 is een foto weergegeven van het uiteindelijk gebruikte model, deze is eveneens weergegeven in bijlage A (foto A-7 en A-8).



Figuur 5.3 Schematisatie bovenaanzicht van het model van de zijschuifstorter



Figuur 5.4 Foto uiteindelijke model

6 Proefparameters

6.1 Inleiding

Zoals al in VAN DER VLIET, 2001 is beschreven zijn er tijdens het uitvoeren van de proeven veel parameters, die gevarieerd kunnen worden. Door deze parameters te variëren is een duidelijk beeld te krijgen van de invloed van deze parameters op bijvoorbeeld de uiteindelijke plaatsingsdichtheid. De te variëren parameters worden in onderstaande paragraaf genoemd, waarna ze in de volgende paragraaf, voor het storten met een schuifstorter worden toegelicht

6.2 Parameters

De volgende parameters kunnen tijdens de experimenten worden gevarieerd:

- Tussenafstand van de kubussen;
- methode van het storten van de kubussen;
- patroon van plaatsen van de kubussen;
- oriëntatie van de kubussen in het horizontale vlak;
- oriëntatie van de kubussen in het verticale vlak;
- valhoogte boven de waterspiegel;
- maximale waterdiepte tijdens de stort;
- invloed van golven en stroming;
- eigenschappen van de kubussen.

In de onderstaande punten worden de verschillende parameters uitgebreider beschreven en komt het nut om deze te variëren tijdens de proef aan de orde. Ook het verwachte effect van deze variatie wordt aangegeven.

Het is onmogelijk om alle parameters uitgebreid te gaan onderzoeken op hun relatie met de maximaal haalbare plaatsingsdichtheid. En omdat het op prijs gesteld wordt om liever een paar parameters goed te onderzoeken dan allemaal een klein beetje moest er een keuze gemaakt worden, welke parameters wel en welke niet worden gevarieerd tijdens de proeven.

Tussenafstand van de kubussen

Zoals al in §3.2 is beschreven is de tussenafstand die de kubussen hebben voordat ze gestort worden, van grote invloed op de te halen plaatsingsdichtheid. Door deze afstand tijdens verschillende proeven te variëren kan een indruk gekregen worden, wat de exacte invloed hiervan is en bij welke tussenafstand het beste resultaat bereikt wordt. De afstand tussen de kubussen kan zowel in x-richting als in y-richting gevarieerd worden. Deze moet voordat een proef uitgevoerd gaat worden, bepaald en genoteerd worden in een stortplan. Dit is dus een belangrijke parameter en zal gedurende de uitvoering van de experimenten voortdurend gevarieerd worden.

Methode van het storten van de kubussen

In dit onderzoek zullen de kubussen met een model van een zijschuifstorter worden afgeschoven, de volgende methoden van storten zijn daarbij mogelijk:

- Eén kubus tegelijk afschuiven, waarbij de rand van het 'afschuifdek' aan de zijde van de 'modelkruin' ligt (storten tegen het talud op);
- één kubus tegelijk afschuiven, waarbij de rand van het 'afschuifdek' aan de zijde van de 'modelteen' ligt (storten met het talud mee);
- meerdere kubussen tegelijk storten (tegen het talud op);
- meerdere kubussen tegelijk storten (met het talud mee);
- het afschuifdek van de schuifstorter onder een bepaalde hoek met de golfbreker.

Gekozen is hier om alleen kubussen te storten met het talud mee. Dit omdat de kubus waarschijnlijk een rotatie zal ondergaan en daardoor op deze manier goed tegen zijn voorganger aan zou kunnen gaan draaien.

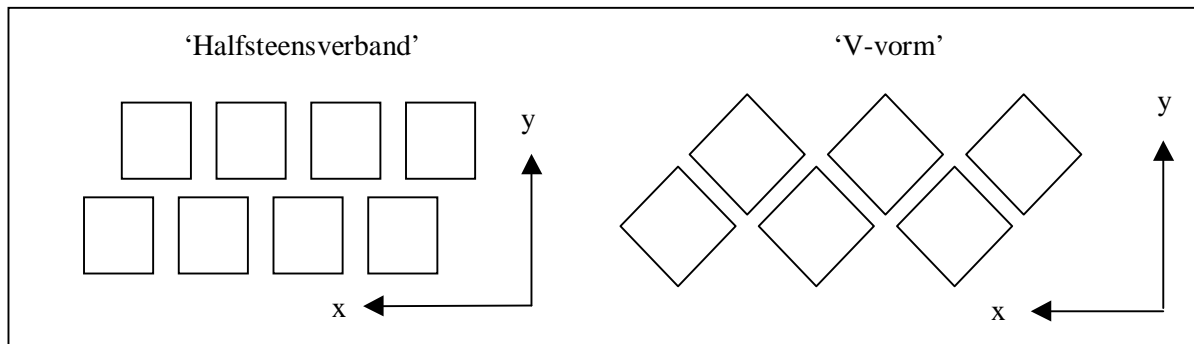
Wel zal gevarieerd worden tussen het storten van één of meerdere kubussen tegelijk. Ter vergelijking van de gevonden plaatsingsdichtheid tijdens het storten met een kraan, zie VAN DER VLIET, 2001, zullen enkele proeven worden uitgevoerd met het storten van één kubus tegelijk. Maar de uiteindelijke bedoeling is om meerdere kubussen tegelijk af te schuiven, wat een aanzienlijke tijdsinstroom in de praktijk zou kunnen opleveren. Het is echter nog niet duidelijk welke processen er optreden als er een aantal kubussen tegelijk overboord worden geschoven, dus dit zal allereerst uitgebreid moeten worden onderzocht.

Patroon van plaatsen van de kubussen

In VAN DER VLIET, 2001 worden een aantal patronen voor het plaatsen van de kubussen voorgesteld. Tijdens deze experimenten zullen er hiervan twee worden toegepast, dat zijn:

- Kubussen worden evenwijdig aan de assen geplaatst, maar de horizontale rijen verspringen steeds een halve ribbenlengte plus een halve afstand tussen de kubussen ('halfsteensverband');
- de kubussen worden onder een hoek van 45° met de assen geplaatst ('V-vorm').

In figuur 6.1 zijn deze figuren schematisch weergegeven.



Figuur 6.1 Schematische weergaven van de patronen van plaatsen

Oriëntatie van de kubussen in het horizontale vlak

Voor de oriëntatie van de kubussen in het horizontale vlak zijn er drie mogelijkheden:

- De ribben van de kubus evenwijdig aan de x-as, de y-as en de z-as van de golfbreker;
- de horizontale ribben van de kubus onder een hoek met de x-as en de y-as;
- willekeurige oriëntatie van de kubussen bij het afschuiven.

Uit het onderzoek van VAN DER VLIET, 2001 bleek dat de kubussen met een oriëntatie van 45° een beter resultaat gaven dan de kubussen die evenwijdig aan de hoofdasen werden gestort. Ook tijdens dit onderzoek zal de oriëntatie van de kubussen daarom worden gevarieerd.

Oriëntatie van de kubussen in het verticale vlak

Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat de valbeweging van een kubus ervan afhankelijk is hoe de kubus in het water terechtkomt. Dus maakt het verschil of een kubus met een hoekpunt, een ribbe of een vlak het wateroppervlak raakt. Doordat de kubussen geplaatst worden op een horizontaal afschuifdek van de schuifstorters is de oriëntatie van de kubus als deze het water raakt afhankelijk van de valhoogte van de kubus en dus van de ontstane rotatie van de kubus. Onderzoek zal moeten aantonen bij welke valhoogte de kubus met een ribbe of een vlak het water raakt. Wil de kubus het water met een hoekpunt raken dan zal de kubus in ieder geval onder een bepaalde oriëntatie van het dek moeten worden afgeschoven. Het is op voorhand niet te bepalen hoe de valhoogte gevarieerd moet worden, dus is deze parameter van ondergeschikt belang.

Valhoogte boven de waterspiegel

In tegenstelling tot het storten van kubussen met een kraan, is het spreidingsgebied van de valhoogte bij het storten met een schuifstortor veel kleiner. In §3.2 is gesteld dat de hoogte van het afschuifdek ongeveer kan worden gevarieerd tussen 1,0 m en 2,0 m ten opzichte van de waterspiegel. Naast de verticale oriëntatie die hierbij zal veranderen is een ander punt de te bereiken valsnelheid van de kubus boven het water, omdat deze rechtstreeks afhankelijk is van de valhoogte volgens, $u_k = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$.

Uit de literatuur en het onderzoek van VAN DER VLIET, 2001 blijkt dat deze parameter van invloed is op de valbaan en de beweging van een kubus. In de eerste, algemene proeven zal deze parameter wel worden gevarieerd. Maar als er gehele lagen kubussen worden gestort wordt rekening gehouden met de beperkte valhoogte tijdens de uitvoering in de praktijk en wordt een vaste valhoogte gekozen. Op deze manier zijn de andere proeven ook beter met elkaar te vergelijken.

Maximale waterdiepte tijdens de stort

De maximale waterdiepte wordt gedefinieerd als de afstand van het vrije wateroppervlak tot de bodem, ter plaatse van de overgang van teen en talud. Deze afstand varieert in de praktijk van ongeveer 2 à $3 \cdot D_k$ tot 10 à $15 \cdot D_k$. Uit figuur 2.3 blijkt duidelijk dat hoe groter de waterdiepte is des te groter de afwijking van de verticaal is. Verwacht wordt dat bij een relatief kleine waterdiepte een grotere plaatsingsdichtheid haalbaar is. Verwacht wordt dan ook dat deze parameter veel invloed zal hebben op het uiteindelijke resultaat; dus deze zal gevarieerd worden tijdens de experimenten.

Invloed van golven en stroming

Uit §2.4.3 en uit de daar genoemde bijlage volgt dat van deze twee invloeden alleen de invloed van de stroming een effect op de valbaan van een kubus zou kunnen hebben.

Omdat de invloed van golven en stroming niet in de bak na te bootsen is, kunnen deze parameters niet tijdens de proef worden gevarieerd. Wel kan er opgemerkt worden dat, als er één kubus gestort is, er een onregelmatige golfbeweging en wellicht een circulatiestroom in de bak ontstaat. Omdat het teveel tijd kost om te wachten tot deze beweging uitgedempt is, kan worden gesteld dat er altijd wel enige beweging in het water is. Of dit conform de werkelijkheid is, is onzeker.

Eigenschappen van de kubussen

Verschillende eigenschappen van de kubus, zijn van invloed op de valbaan die de kubus zal ondergaan, een en ander is al genoemd, bijvoorbeeld:

- De ribbenlengte van een kubus;
- het soortelijke gewicht dat samen met de ribbenlengte het gewicht van een kubus bepaalt;
- de hoekigheid van de hoekpunten en de ribben van de kubus, in verband met de gestroomlijndheid van een kubus;
- het soortelijke gewicht van het beton; aannemelijk is dat hoe hoger het soortelijk gewicht, des te zwaarder de kubus wordt en hoe hoger de evenwichtssnelheid van de kubus. Wat weer een kortere valtijd tot gevolg heeft en waarschijnlijk een minder afwijken van de verticaal;
- tijdens het onderzoek heeft iedere kubus een nummer gekregen en een bepaalde kleur, zodat achteraf gekeken kan worden waar de kubussen in de laag terecht zijn gekomen.

Er moet voor het storten van één laag kubussen een groot aantal kubussen worden gebruikt. Omwille van de tijd en het materiaalverbruik is besloten, de afmetingen van de kubussen niet te variëren. Er worden dus kubussen gebruikt, zoals weergegeven in §5.2.3.

7 Uitvoering van de experimenten

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de uitvoering van de experimenten in het hoofdonderzoek beschreven. Zo wordt in §7.2 dieper ingegaan op het in- en uitpeilen van een gestorte laag, waarbij ook de nauwkeurigheid van de methode aan de orde komt. In de volgende paragraaf worden twee kenmerkende experimenten beschreven die tijdens het hoofdonderzoek zullen worden uitgevoerd. Vervolgens wordt in §7.4 het verschil tussen de plaatsingsdichtheid en de porositeit en het verband tussen beide eigenschappen van een gestorte laag beschreven. Er wordt tijdens het onderzoek niet alleen gekeken naar de waarden voor de plaatsingsdichtheid en porositeit van een laag maar, zoals in §7.5 wordt beschreven, worden de gestorte lagen ook op andere beoordelingscriteria vergeleken. Als laatste wordt in §7.6 een overzicht gegeven van de in het hoofdonderzoek uitgevoerde experimenten.

7.2 In- en uitpeiling van een gestorte laag

Het in- en uitpeilen van een laag betonnen kubussen wordt uitgevoerd met behulp van een peilstok waaraan een halve bol bevestigd zit. Hiermee wordt het talud van de golfbreker afgetast. De nauwkeurigheid van deze laagdiktebepaling is sterk afhankelijk van een aantal factoren, die in deze paragraaf zullen worden behandeld, deze zijn:

- Onderlinge afstand in x- en y-richting tussen de meetpunten;
- nauwkeurigheid van de peilmethode;
- nauwkeurigheid van de gemeten laagdikte.

7.2.1 Onderlinge afstand in de x- en y-richting

Voor het inpeilen van de verschillende lagen wordt de slee met de peilstok op de meetbalk geplaatst, waarover de slee vrijuit kan schuiven. Als de meetbalk evenwijdig aan de x-as van de bak is gelegd, kan er een hele raai gepeild worden. Vervolgens wordt de meetbalk een bepaalde afstand verschoven en wordt een nieuwe raai ingemeten. Uit het onderzoek van VAN DER VLIET, 2001 (§4.5.4) blijkt dat er een bepaalde optimale tussenafstand gebruikt kan worden, waarbij nog steeds een nauwkeurige laagdikte wordt bepaald. Wordt er een kleiner tussenafstand gebruikt dan worden er ‘teveel’ meetpunten gemeten en als een grotere tussenafstand toegepast wordt gaat dit ten koste van de nauwkeurigheid van de laagdikte. Deze tussenafstand is voor zowel de x- als y-richting gesteld op 10 cm. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat er dan geen grote verschillen tussen de gemeten waarden mogen bestaan.

7.2.2 Nauwkeurigheid van de peilmethode

Er zijn zoals ook opgemerkt is in VAN DER VLIET, 2001 enige factoren die onnauwkeurigheden in de peilmethode veroorzaken. Deze factoren zijn:

- Gebrekkige stijfheid van de peilstok;
- gedefinieerde laagdikte versus werkelijke laagdikte;
- halve bol versus de vierkante kubussen;
- invloed van het schuine vlak.

Deze factoren worden hieronder puntsgewijs beschreven.

Gebrekkige stijfheid van de peilstok

De peilstok waarmee gepeild wordt is niet bijzonder stijf. Bovendien is de diepte waarover gepeild wordt relatief groot, deze varieert van 1,0 m tot 2,0 m. Ook staat de slee niet vast op de meetbalk, waardoor de peilstok wel een aantal centimeters heen en weer kan bewegen.

Een tweede oorzaak van de onnauwkeurigheid is dat de halve bol de neiging zal hebben tijdens het peilen om langs de breuksteen van de filterlaag of het oppervlak van een betonnen kubus naar beneden te glijden. Hierdoor zal een grotere diepte wordt gemeten dan er eigenlijk aanwezig is.

Gedefinieerde laagdikte versus werkelijke laagdikte

Bij het peilen van een laagdikte wordt aangenomen dat het contactpunt van de halve bol met het talud de grens is tussen het talud en de open ruimte erboven. Deze aanname vindt in deze peilmethode twee keer plaats, namelijk voor de positie van de breuksteen (bovenkant van de breuksteenlaag is onderzijde van de kubussenlaag) en voor de positie van de kubussen (bovenkant van de kubussenlaag is onderzijde van de luchtlaag er boven). Maar is dit in werkelijkheid wel het geval? Om een beter beeld hiervan te krijgen het volgende voorbeeld.

Er is een manier om de overgang van een laag naar de open ruimte erboven te definiëren. Hierbij wordt uitgegaan van een gemiddeld porositeitsvolume van een laag.

Stel een laag breuksteen heeft een porositeit van 40% en de luchtlaag daarboven heeft een porositeit van 100%. Tussen het gemiddelde van de laag en de open ruimte zal het porositeitsvolume toenemen van 40% naar 100%. De scheiding van de twee lagen zal dan liggen op het punt waar het porositeitsvolume 70% is, maar waar is dit punt?

Het probleem is dus hier in gelegen dat de definitie van de bovenzijde van een laag met behulp van een peilstok met een halve bol aan de onderzijde niet precies overeenkomt met de exacte definitie van de scheiding tussen de twee lagen, zoals hierboven is weergegeven. Het is dus mogelijk dat de bovenzijde van een laagdikte te laag of te hoog wordt gemeten. Opgemerkt wordt wel, dat verwacht wordt dat deze onnauwkeurigheid door genoeg metingen uit te voeren, wel wordt uitgemiddeld.

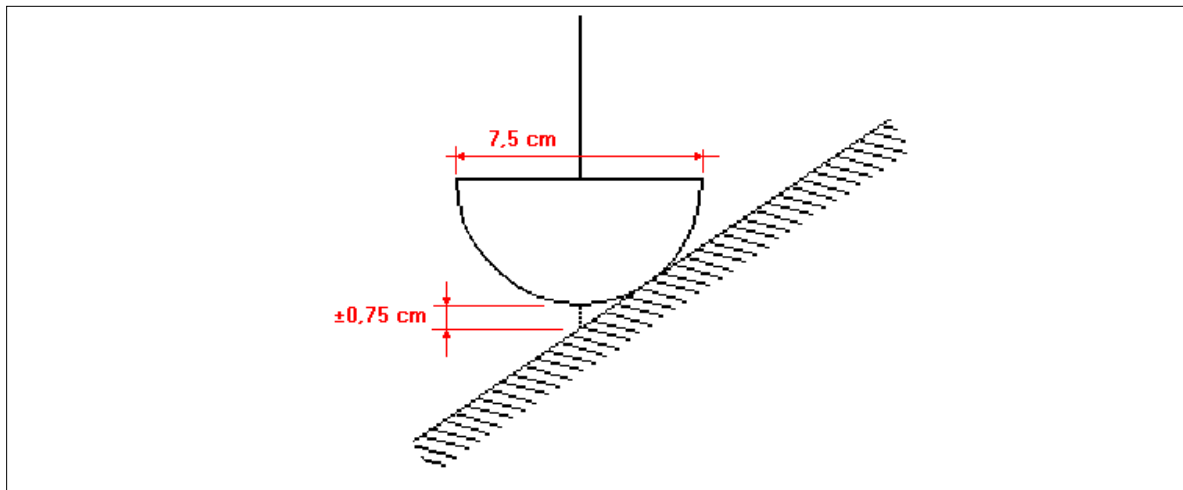
Tijdens de uitvoering van dit onderzoek is C. Bosma bezig met zijn onderwerp, dat handelt over deze problemen. Op het moment van de verslaglegging zijn de resultaten van zijn onderzoek bij mij nog niet bekend en deze zijn dus niet in dit onderzoek meegenomen.

Halve bol versus de vierkante kubussen

De methode van de halve bol is gebaseerd op de vorm van de in te meten breuksteen. De vorm van de breuksteen is in meer of mindere mate een ronde. De vorm van een kubus is dusdanig anders dat het twijfelachtig is of een halve bol wel geschikt is om een laag kubussen in te meten. Het in de vorige paragraaf genoemde probleem met betrekking tot de definitie van de overgang tussen twee lagen, kan dus voor kubussen zeer relevant zijn, waarschijnlijk meer dan voor breuksteen.

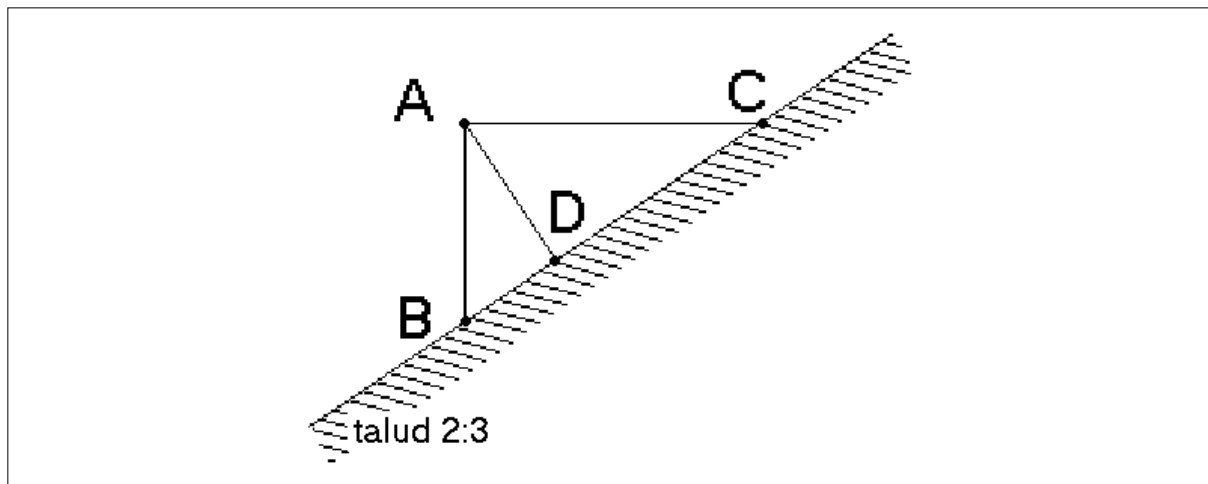
Invloed van het schuine vlak

Als er met de peilstok een volkomen glad talud moet worden ingepeild en de peilstok is verticaal naar beneden gebracht totdat deze de laag net raakt, dan wordt het talud aangeraakt met de zijkant van de halve bol, figuur 7.1. In het verlengde van de peilstok, tussen de halve bol en het talud, bevindt zich een open ruimte ($\pm 0,75$ cm), die niet gepeild wordt. Het te peilen punt ligt dus in werkelijkheid iets lager, dus wordt er een te kleine afstand gemeten. De aanname van een volledig vlak talud is uiteraard niet juist. Maar het is echter niet ondenkbaar dat vooral bij kubussen op deze wijze een fout in het meten wordt geïntroduceerd.



Figuur 7.1 Meetfout bij peiling met een halve bol

Als er op een bepaalde plek twee peilingen zijn geweest, zowel de inpeiling als de uitpeiling, en het verschil tussen deze twee waarden is berekend, is dit nog niet benodigde laagdikte. Want de dikte van een laag wordt altijd loodrecht op het talud bepaald en deze gevonden waarde staat niet loodrecht op het talud, figuur 7.2. De gevonden waarde moet, voor een helling van 2:3, namelijk nog vermenigvuldigd worden met een factor $3/\sqrt{13}$ om tot de juiste laagdikte te komen.



Figuur 7.2 Correctiefactor voor de laagdikte

De afstand A-B wordt namelijk gemeten tijdens de in- en uitpeiling, maar om de laagdikte loodrecht op het talud te meten, dient echter langs de lijn A-D gemeten te worden. Zoals in de figuur is weergegeven, heeft het talud een helling van 2:3. Na enig rekenwerk kan de afstand A-D dan berekend worden. Door deze vervolgens te delen op de lengte A-B, wordt de correctiefactor ($3/\sqrt{13}$) gevonden waarmee de gemeten laagdikte moet worden vermenigvuldigd.

7.2.3 Nauwkeurigheid van de gemeten laagdikte

In VAN DER VLIET, 2001, is bepaald welke afmetingen het meetraster maximaal moet hebben om een goede in- en uitpeiling te verkrijgen. Hiervoor is de porositeit van een laag bepaald, omdat deze rechtstreeks afhankelijk is van de te meten gemiddelde laagdikte van een gestorte laag. Uit dit onderzoek blijkt dat de afwijking van de gemiddelde laagdikte met een tussenafstand tussen de meetpunten van 10 cm ongeveer 2% bedraagt; voor de porositeit wordt een waarde van maximaal 1%

gevonden. Dit wordt voldoende nauwkeurig geacht, zodat besloten is om een afstand van 10 cm in te stellen. Deze afstand wordt ook tijdens dit onderzoek gehanteerd.

7.3 Uitvoering van de experimenten

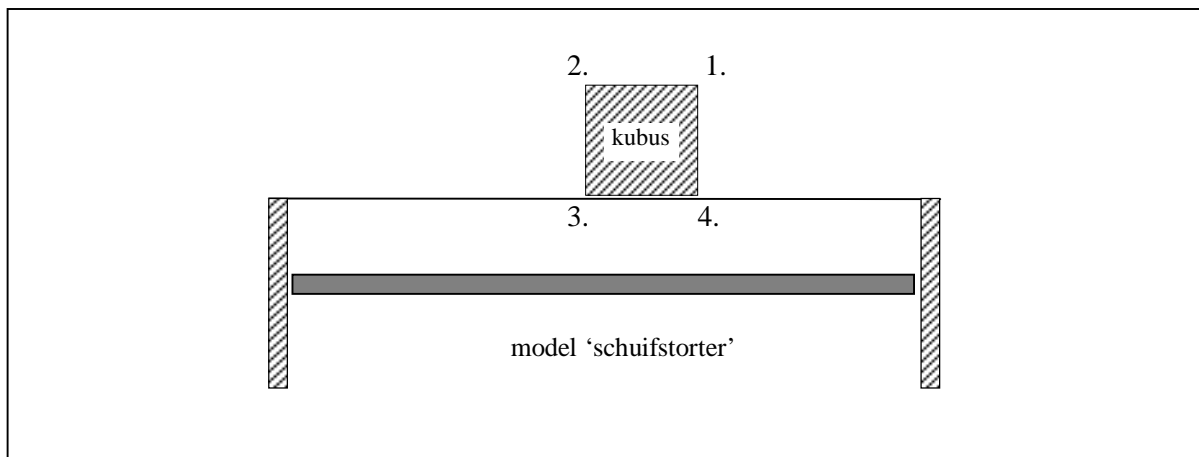
Het totale onderzoek is opgedeeld in verschillende series. Tijdens zo'n serie wordt slechts één parameter gevarieerd om zo een duidelijk beeld te krijgen van de invloed van de parameters op bijvoorbeeld de maximaal haalbare plaatsingsdichtheid. Per serie wordt een aantal proeven uitgevoerd, totdat voldoende duidelijk is wat een bepaalde parameter voor effect heeft op het uiteindelijke resultaat. Zoals in de inleidende paragraaf van dit hoofdstuk al is beschreven worden hier twee verschillende experimenten kort beschreven, die de hoofdzaak van het onderzoek zullen omvatten, deze zijn:

- bepalen van de afwijking van het zwaartepunt van een kubus uit de verticaal;
- storten van een hele laag kubussen teneinde de plaatsingsdichtheid hiervan te bepalen.

7.3.1 Bepalen van de afwijking uit de verticaal

Dit is dezelfde proef, zoals is uitgevoerd door VAN DER VLIET, 2001 ('Serie A Het wegspringeffect'). Het verschil is echter dat de kubussen nu afgeschoven worden, en dus waarschijnlijk een rotatie ondergaan. De gang van zaken tijdens de proef is als volgt:

- Allereerst wordt van tevoren bepaald waar de kubussen worden gestort;
- de coördinaten van de hoekpunten van de kubus worden genoteerd, de nummering van de hoekpunten blijkt uit figuur 7.3. In deze figuur is het bovenaanzicht van de schuifstorter gegeven, met de denkbeeldige positie van een kubus nadat deze geheel is afgeschoven maar nog niet valt. Deze coördinaten worden beschouwd als de coördinaten van de kubus vóór de val. De nummering van de hoekpunten van de kubus is tegen de wijzers van de klok in, waarbij het hoekpunt 'rechtsboven' het eerste is.



Figuur 7.3 Schematisatie van de denkbeeldige positie voordat een kubus wordt afgeschoven

- als de kubus op de bodem terecht is gekomen, worden weer vier hoekpunten gekozen, waarvan met de peilstok de coördinaten bepaald worden ten opzicht van de meetlinten op de bak en de meetbalk;
- van deze twee series coördinaten van hoekpunten worden de zwaartepunten bepaald en deze worden vervolgens van elkaar af getrokken, waarmee de verplaatsing van het zwaartepunt van de kubus in het horizontale vlak bepaald kan worden.

7.3.2 Storten van een hele laag kubussen

Voor het uitvoeren van deze proef moeten de volgende stappen in de juiste volgorde uitgevoerd worden, de stappen zijn:

- het met behulp van de peilstok, volgens een vast patroon, inpeilen van de eerste onderlaag (kleine bol, met een diameter van 30 mm);
- daarna de kubussen storten volgens een van te voren bepaald stortplan, waarin de positie van de kubussen evenals de valhoogte en dus de waterdiepte van de proef staan vermeld;
- het uitpeilen van de gestorte laag kubussen met de peilstok (grote bol, met een diameter van 75 mm);
- het visueel beoordelen van de gestorte laag en het maken van de nodige foto's en het bepalen van zowel de oppervlakte van de laag als de hoeveelheid kubussen die zich in deze laag bevinden;
- als laatste het verwerken van de gegevens en achtereenvolgens de gemiddelde laagdikte, de oppervlakte, de plaatsingsdichtheid en de porositeit van de gestorte laag bepalen.

7.4 Plaatsingsdichtheid versus porositeit

Nadat reeds in §3.3 de grootte, plaatsingsdichtheid, is aangegeven, wordt er nu een nieuwe grootte als eigenschap van een gestorte laag ingevoerd, de porositeit. Na een uitgebreidere beschrijving van het begrip plaatsingsdichtheid en de nauwkeurigheid van dit getal wordt in deze paragraaf ook het begrip porositeit nauwkeurig beschreven. Ook het verband, dat tussen beide getallen bestaat, wordt in deze paragraaf beschreven. Met behulp van in de literatuur gevonden vergelijkingen en bevindingen uit het onderzoek van VAN DER VLIET, 2001 kan dit verband uitgezet worden.

7.4.1 Plaatsingsdichtheid

Zoals uit de genoemde paragraaf blijkt wordt de plaatsingsdichtheid (n_p) bepaald door het aantal kubussen dat per vierkante meter op een golfbreker ligt. De plaatsingsdichtheid wordt door VAN GENT EN SPAAN, 1998, gekenmerkt als een fictieve porositeit van de toplaag bij een laagdikte gelijk aan de dikte van een kubus van de toplaag. Omdat in het hoofdonderzoek de plaatsingsdichtheid volgt uit een experiment, dit in tegenstelling tot het in §3.3 beschreven onderzoek waar men uitging van een bekende plaatsingsdichtheid, zijn de vergelijkingen enigszins herschreven:

$$1 - n_p = \frac{N}{A} \cdot D_k^2 \cdot 100\% = N_{kubus} \cdot D_k^2 \cdot 100\% \quad (7.1)$$

hierin is:	n_p	=	plaatsingsdichtheid [%];
	N	=	aantal kubussen in een laag;
	A	=	oppervlakte van de laag [m^2];
	D_k	=	diameter kubus [m];
	N_{kubus}	=	aantal kubussen per vierkante meter [m^{-2}].

Nauwkeurigheid van de bepaalde plaatsingsdichtheid

Zoals uit de vergelijking blijkt is het, voor de bepaling van de plaatsingsdichtheid van een laag, nodig dat de hoeveelheid kubussen die in de laag zitten en de oppervlakte van deze laag bekend zijn. Beide moeten worden opgemeten, door middel van tellen en meten met een meetlint. Uit de foto's in de bijlagen blijkt wel dat de bepaling van deze factoren nog niet zo gemakkelijk is. Want wordt een kubus die bijvoorbeeld voor een helft in de tweede laag van de teen zit, nu wel of niet meegeteld in de laag. Ook is het vrij duidelijk dat de oppervlakte van de laag niet op de vierkante centimeter nauwkeurig te bepalen is. Er wordt dan ook tijdens de uitvoering van de series een bepaalde marge van de meetwaarden ingesteld, zodat de uiteindelijke plaatsingsdichtheid, niet door één getal wordt

weergegeven, maar door twee uitersten. Uit de uitkomsten van de proeven zal blijken dat de spreiding in de plaatsingsdichtheid in sommige gevallen een aantal procenten is.

7.4.2 Porositeit

De porositeit van een laag gestorte kubussen is de verhouding tussen de in theorie aanwezige hoeveelheid beton in een laag en de op basis van de peilingen en metingen te berekenen hoeveelheid beton. In formulevorm is dit:

$$n_v = 1 - \frac{D_k^3 \cdot N}{d \cdot A} \cdot 100\% \quad (7.2)$$

Hierin is:

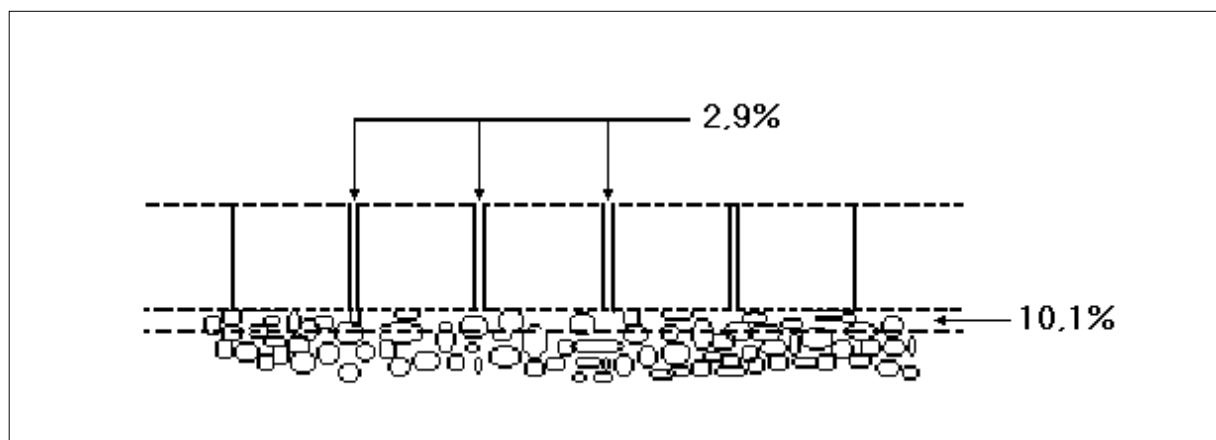
n_v	=	porositeitsvolume [%];
D_k	=	diameter van de kubus [m];
N	=	aantal kubussen in de laag;
A	=	oppervlakte van de laag [m ²];
d	=	gemeten laagdikte tijdens de proef [m].

Nauwkeurigheid van de bepaalde porositeit

Ook bij de bepaling van de porositeit komen bepaalde onnauwkeurigheden voor. Zo blijkt uit VAN DER VLIET, 2001, dat op basis van de gemeten gemiddelde laagdikte en een raster van 10 cm, er een onnauwkeurigheid van 1% op te treden. En ook hier gelden de onnauwkeurigheden in de bepaling van het aantal kubussen in de laag en de oppervlakte hiervan. Dus ook de porositeit wordt tijdens het onderzoek door een spreiding aangegeven.

7.4.3 Verband tussen plaatsingsdichtheid en porositeit

In proef C-0, zie §10.3, is zowel de plaatsingsdichtheid als de porositeit van een ‘gezette’ laag stenen bepaald. Er wordt een gemiddelde waarde van 97,1% gevonden voor de plaatsingsdichtheid; dit betekent dat er zich nog (100-97,1=) 2,9% holle ruimte, ondanks dat de kubussen zo strak mogelijk naast elkaar zijn geplaatst, tussen de kubussen bevindt. Nadat de invloed van het talud op de laagdikte is verrekend, wordt er een gemiddelde porositeit van 13% gevonden. Deze porositeit bestaat dus uit zowel de holle ruimte tussen de kubussen als ook de holle ruimte tussen de gezette laag kubussen en de eerste onderlaag. Hieruit volgt dus dat er in dit geval (13,0-2,9=) 10,1% holle ruimte tussen de eerste onderlaag en de laag kubussen zit. Voor de duidelijkheid is in figuur 7.4 de opbouw van de laag kubussen en de eerste onderlaag weergegeven.



Figuur 7.4 Weergave laagdikte opbouw van gestorte laag kubussen

In het recente verleden zijn er verschillende onderzoeken verricht naar het verband tussen de stabiliteit en het porositeitsvolume van de afdeklaag. In deze rapporten, bijvoorbeeld CUR, 1991, is het verband tussen de plaatsingsdichtheid en de porositeit als volgt berekend:

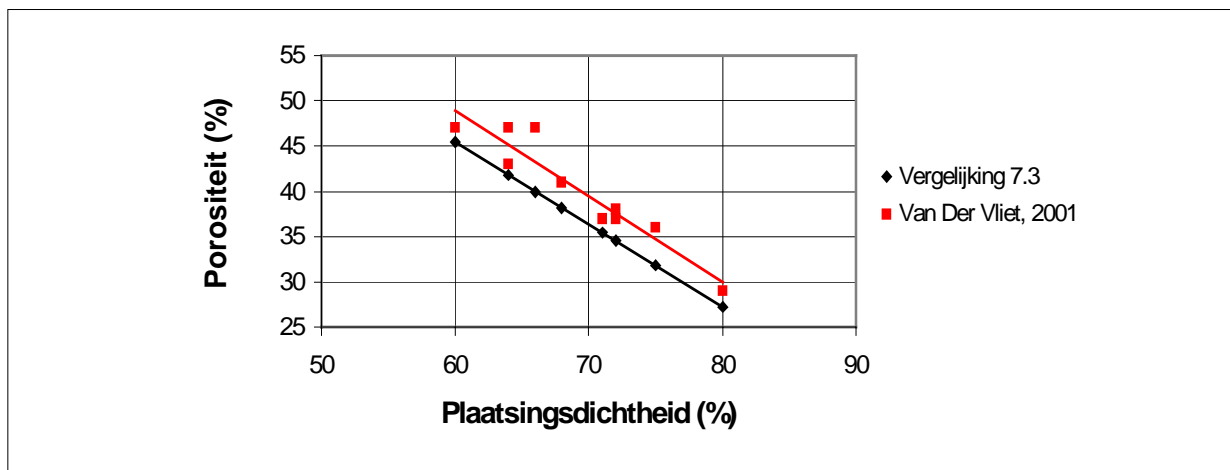
$$n_v = 1 - \left(N_{kubus} \cdot D_k^2 \cdot \frac{1}{d'} \right) \cdot 100\% = 1 - n_p \cdot \frac{1}{d'} \quad (7.3)$$

Hierin is: d' = laagdiktefactor [-].

De laagdiktefactor is gedefinieerd als de gemeten laagdikte gedeeld door de ribbenlengte van een kubus, dus $d' = d / D_k$.

De laagdiktefactor wordt onafhankelijk verondersteld van de methode van plaatsen en de plaatsingsdichtheid. De waarde die voor de laagdiktefactor gebruikt wordt is meestal 1,1. De waarde wordt voorgeschreven in CUR, 1991 en is geldig voor een afdeklaag, bestaande uit een dubbele laag kubussen. Er zijn een tweetal bezwaren voor de toepassing van de laagdiktefactor; de waarde van 1,1 is waarschijnlijk te laag voor een enkele laag kubussen en de waarde is niet constant maar vertoont een bepaalde spreiding.

In figuur 7.5 is het theoretische verband visueel weergegeven tussen de plaatsingsdichtheid en de porositeit. Ook zijn hier de gegevens uit het onderzoek van VAN DER VLIET, 2001, weergegeven. Hieruit blijkt dat de waarden uit het onderzoek iets hoger liggen dan uit de vergelijking volgt. Worden deze terug gerekend, dan wordt er een gemiddelde laagdiktefactor voor het onderzoek gevonden van ongeveer 1,16. Dit is dus zoals verwacht iets hoger dan de 1,1 uit de CUR, 1991.



Figuur 7.5 Porositeit als functie van de plaatsingsdichtheid

In VAN DER VLIET, 2001, (§12.3) wordt gesteld dat als voldaan moet worden aan de eis, die volgt uit het onderzoek van het W.L. [VAN GENT EN SPAAN, 1998], van een porositeit van tenminste 70%. Maar dit is geen porositeit maar de plaatsingsdichtheid, die wordt gedefinieerd als 'effectieve porositeit'. In dit onderzoek wordt dan ook alleen gekeken naar de waarde van de bepaalde plaatsingsdichtheid voor het voldoen aan de door het W.L. gestelde eis. Met vergelijking 7.3 kan deze eis wel omgerekend worden naar een eis voor de porositeit; deze mag dan niet groter zijn dan ongeveer 36% (op basis van een laagdiktefactor van 1,1).

7.5 Beoordeling van de gestorte laag

Door van de verschillende gestorte lagen met behulp van de peilmethode de porositeit en de plaatsingsdichtheid te berekenen, kunnen de verschillende lagen cijfermatig met elkaar vergeleken worden. Maar omdat dit ook maar getallen zijn, die niet alles over een laag zeggen, worden tijdens dit onderzoek de gestorte lagen ook visueel beoordeeld. De visuele beoordeling houdt in dat van iedere laag een aantal kenmerkende eigenschappen worden genoteerd. Deze eigenschappen zijn:

- aantal kubussen dat dubbel gestort is;
- aantal spleten dat ontstaan is en de lengte van de spleten;
- aantal gaten en de grootte van deze gaten (in klassen: $>50 \text{ cm}^2$, $>100 \text{ cm}^2$, $>150 \text{ cm}^2$ en $>200 \text{ cm}^2$).

Dubbele kubussen

Dit geeft een goed overzicht van de kwaliteit van een stort, omdat het aantal kubussen dat buiten de laag ligt, direct van invloed is op de plaatsingsdichtheid. Een relatieve waarde van deze eigenschap is dus ook een maat voor de kwaliteit van de gestorte laag (bijvoorbeeld 8 van de 50 gestorte kubussen ligt buiten de laag, dit is dus 16%).

Aantal spleten

Tijdens het onderzoek bleek dat er soms spleten in de gestorte laag ontstonden. Vooral nadat een kubus een flinke afwijking heeft gekregen borduurt dit door in de volgende lagen, wat een spleet tot gevolg heeft. Door nu het aantal spleten en de lengte van deze spleten te inventariseren kan iets gezegd worden over het herstellende vermogen van een bepaalde laag.

Aantal gaten

Het aantal gaten dat zich in een gestorte laag bevindt is natuurlijk ook van invloed op de kwaliteit van een laag. Stel dat zich in een laag maar één gat bevindt maar dit gat wel erg groot is, dan nog kan de plaatsingsdichtheid wel goed zijn. Maar voor een golfbrekertoplaag geldt ook dat deze zo sterk is als de zwakste schakel, dus vormt dit punt een grote bedreiging voor de stabiliteit van een laag. Terwijl een laag met meerdere kleinere gaten, niet aan de plaatsingsdichtheid voldoet, terwijl verwacht wordt dat deze laag in de praktijk veel sterker is.

7.6 Overzicht van de uitgevoerde experimenten

Zoals al is gesteld is het totale onderzoek onderverdeeld in een aantal series. Deze series zijn op hun beurt weer verdeeld in een aantal proeven, waarbinnen een gekozen parameter is gevarieerd.

In deze paragraaf wordt per serie aangegeven wat de doelstelling is en welke proeven met welke proefparameters zijn onderzocht.

Serie A: Eerste oriëntatie

Voor deze serie zijn een aantal doelstellingen gesteld, deze zijn:

- ‘feeling’ krijgen met de materie, waar moet rekening mee gehouden worden en wat is verwaarloosbaar;
- ondervinden wat de van belang zijnde parameters in het stortproces van een betonnen kubus met een schuifstorter zijn;
- bepalen welke factoren van belang zijn voor het ontwerp van een goed model van een zipschuifstorter.

Om bovenstaande punten te onderkennen zijn tijdens deze serie de volgende proeven gedaan:

- er is een aantal kubussen handmatig en in den droge van een tafelblad afgeschoven;
- met een versimpeld model kubussen van een tafel afschuiven;

- handmatig afschuiven van kubussen (in het water) en daarna de zijdelingse verplaatsing van de zwaartepunten bepalen.

Serie B: Testen model schuifstort en analyseren van valbeweging kubus

De doelstellingen van deze serie zijn:

- Testen van het model van de schuifstort, wat is er mogelijk en wat niet;
- analyseren van de valbeweging van een kubus boven en in het water;
- bepalen van de grootte-orde van de parameters, die van belang zijn bij de stort van kubussen (zoals: afschuifsnelheid, afzetgrootte en rotatiesnelheid);

De serie is onderverdeeld in de volgende proeven:

- Met twee verschillende snelheden (langzaam en snelst) afschuiven van kubussen in den droge;
- met het model kubussen afschuiven (in het water) en daarvan de zijdelingse verplaatsing van de zwaartepunten bepalen en deze vervolgens vergelijken met de uitkomsten van serie A.
- met behulp van video-opnamen de valbeweging van de kubussen boven en in het water analyseren.

Serie C: Storten van een totale laag, één voor één afschuiven

Nadat in de vorige hoofdstukken de valbewegingen van de kubussen, zowel boven als in het water zijn geanalyseerd en het model gebouwd en uitgebreid getest is, wordt er nu een totale laag kubussen gestort. Hierbij worden de kubussen één voor één afgeschoven. Van deze laag is vervolgens de porositeit en de plaatsingsdichtheid bepaald. Door deze uitkomsten te vergelijken met de gegevens van VAN DER VLIET, 2001, kan het effect van de rotatie op het uiteindelijke resultaat bepaald worden. Zoals gesteld wordt hier een hogere plaatsingsdichtheid verwacht, omdat de kubussen meer geneigd zijn naar hun voorganger te rollen wat de plaatsingsdichtheid ten goede zal komen.

De doelstellingen van deze serie zijn:

- Bepalen van de maximaal haalbare plaatsingsdichtheid en porositeit van een gestorte laag kubussen;
- ondervinden wat de invloed is van de tussenafstand op het uiteindelijke resultaat;
- vergelijking met de gevonden waarden tijdens het onderzoek van VAN DER VLIET, 2001.

Tijdens deze serie zijn er in totaal zes totale lagen kubussen gestort, met verschillende configuraties.

Serie D: Afschuiven van meerder kubussen tegelijk zonder tussenafstand

Het voordeel van een zijschuifstort is dat er meerdere kubussen tegelijk kunnen worden gestort. Voordat er ook hele lagen tegelijk worden gestort met meerdere kubussen tegelijk, is de valbeweging van meerdere kubussen onderzocht. Hiervoor zijn in deze serie, steeds een aantal kubussen naast elkaar op het model gezet, zonder tussenafstand, en vervolgens zijn deze afgeschoven. Van deze valbeweging zijn weer video-opnamen gemaakt, zodat achteraf de valbeweging kon worden geanalyseerd. Doordat bekend is wat de positie van de kubussen op het model is, en de positie van de afgeschoven kubussen op de bodem ingepeild is, kan er iets gezegd worden over de spreiding die de kubussen ondergaan.

De doelstellingen van deze proef zijn:

- Analyseren van de valbeweging van meerdere kubussen tegelijk;
- bepalen van de spreiding van de kubussen als deze afgeschoven zijn;
- bepalen van de eventueel overige parameters, die van belang zijn bij het afschuiven van meerdere kubussen tegelijk.

Tijdens deze serie zijn er in afzonderlijke proeven twee, drie, vier en vijf kubussen tegelijk afgeschoven zonder tussenafstand, waarna met behulp van de peilstok en de meetbalk achteraf de spreiding bepaald is.

Serie E: Afschuiven van meerdere kubussen tegelijk met een tussenafstand

In de vorige serie zijn de kubussen gestort zonder tussenafstand, in deze serie wordt gekeken wat het effect is als er meerdere kubussen worden afgeschoven met een tussenafstand. Ook van deze serie zijn video-opnamen gemaakt en is de uiteindelijke positie van de kubussen bepaald.

De doelstellingen van deze proef zijn:

- Analyseren van de valbeweging van meerdere kubussen tegelijk;
- bepalen van de spreiding van de kubussen als deze afgeschoven zijn;
- bepalen van de eventueel overige parameters, die van belang zijn bij het afschuiven van meerdere kubussen tegelijk.

Tijdens deze serie zijn twee of drie kubussen tegelijk afgeschoven met variabele tussenafstanden (variërend van 3,0 cm tot 6,0 cm).

Serie F: Afschuiven van meerdere kubussen tegelijk bij een verkleinde waterdiepte

Omdat verwacht wordt dat de waterdiepte van belang is bij het afschuiven van meerdere kubussen tegelijk, is er in deze serie een aantal kubussen afgeschoven boven een verkleinde waterdiepte. Ook van deze kubussen is weer de spreiding vastgesteld. Tijdens deze serie is er zonder tussenafstand afgeschoven, zodat de uitkomsten vergeleken kunnen worden met de uitkomsten van serie D.

De doelstellingen van deze proef zijn:

- Analyseren van de valbeweging van meerdere kubussen tegelijk;
- bepalen van de spreiding van de kubussen als deze afgeschoven zijn;
- bepalen van de eventueel overige parameters, die van belang zijn bij de afschuiven van meerdere kubussen tegelijk.

Een aantal kubussen, zonder tussenafstand, wordt afgeschoven bij een verkleinde waterdiepte, waarna weer achteraf de spreiding bepaald is.

Serie G: Storten van een totale laag bij een verkleinde waterdiepte

Doordat uit het resultaat van de series D, E en F, bleek dat het niet mogelijk was de kubussen tegelijk af te schuiven en zo een totale laag te storten, is besloten om nog een tweetal series uit te voeren met het storten van één kubus tegelijk. Tijdens deze serie is gekozen om de waterdiepte te verkleinen en het effect van de tussenafstand op de porositeit en de plaatsingsdichtheid nauwkeuriger te bepalen

De doelstelling van deze serie is te onderzoeken wat het effect is van de verkleinde waterdiepte op de maximaal haalbare plaatsingsdichtheid en de porositeit;

Tijdens deze serie zijn de volgende proeven uitgevoerd

- Er zijn tien lagen kubussen gestort, met verschillende tussenafstanden, de tussenafstanden variëren van 17,0 cm tot 22,0 cm (h.o.h.);
- er zijn twee proeven ook uitgepeild met de kleine halve bol, om het effect hiervan op het resultaat te bepalen.

Serie H: Storten van een totale laag met een oriëntatie van de kubussen van 45°

Uit het onderzoek van VAN DER VLIET, 2001, is geconcludeerd dat de kubussen gestort onder een oriëntatie van 45° een beter resultaat geven in vergelijking met de ‘gewoon’ gestorte kubussen. In deze serie wordt deze conclusie ook getest voor het afschuiven van de kubussen. Tijdens deze serie is weer de verkleinde waterdiepte toegepast.

De doelstelling van deze proef is het onderzoeken van het effect van een veranderde oriëntatie op de maximaal haalbare plaatsingsdichtheid en de porositeit;

Tijdens deze serie worden de volgende proeven uitgevoerd

- Er zijn negen lagen kubussen gestort bij een verkleinde waterdiepte, waarbij de tussenafstanden gevarieerd zijn;
- ook hier twee proeven extra uitgepeild met de kleine halve bol om het effect hiervan op het resultaat te bepalen.

8 Serie A: Oriëntatie

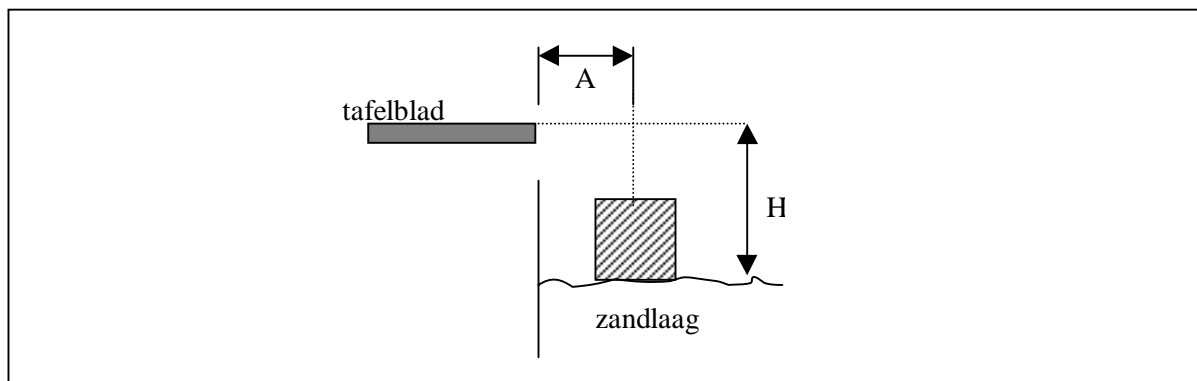
8.1 Inleiding

In deze serie worden wat algemeen oriënterende proeven uitgevoerd, die onder andere moeten leiden tot het ontwerp van het model van een zijschuifstort. Hiervoor worden de kenmerkende eigenschappen van een dergelijke schuifstort bepaald en beproefd met behulp van een primitief model. Daarnaast is een aantal kubussen in water afgeschoven (handmatig) om zo een idee te krijgen, hoe de valbeweging onder water is. De serie is onder te verdelen in de volgende drie onderdelen, die in het vervolg van dit hoofdstuk kort zullen worden behandeld. Voor een uitgebreide beschrijving van de resultaten wordt verwezen naar bijlage J, de onderdelen zijn:

- Handmatig afschuiven van kubussen;
- primitief model voor het afschuiven kubussen;
- handmatig afschuiven van kubussen in water.

8.2 Handmatig afschuiven van kubussen

Van een tafel, waarvan het blad zich op een hoogte van 75 cm boven de halvloer bevindt, worden kubussen afgeschoven in een, met zand gevulde, houten bak die zich evenwijdig aan de lange zijde van de tafel bevindt. Het zand in de bak, breekt de val van de kubussen, zodat deze niet kapot vallen op de betonnen halvloer. In figuur 8.1 is de situatie geschematiseerd.



Figuur 8.1 Schematische weergave handmatig afschuiven

Hierin is: H = hoogte van zandbed tot tafelblad [m];
 A = afzetgrootte [m].

In eerste instantie zijn de kubussen handmatig afgeschoven, maar al snel bleek dat dit niet werkte. Het met de hand afschuiven van kubussen gaat veel te stoterig en ook werden de kubussen vaak onder een hoek van het tafelblad afgeschoven.

Er is gezocht naar een simpele manier om het stoterige karakter en het onder een hoek afschuiven van de kubus tegen te gaan.

8.3 Primitief model voor het afschuiven van kubussen

Het primitieve model bestond uit een schroef, van een bankschroef, die in een houten opstelling was gezet, zie de foto in figuur 8.2. Deze schroef had een heel fijne spoed, zodat heel kleine eenparige snelheden konden worden bereikt.



Figuur 8.2 Foto primitieve opstelling

Met deze opstelling konden twee verschillende snelheidscategorieën voor het afschuiven worden bereikt; deze zijn:

- Langzaam draaien ($\pm 0,09$ cm/s);
- snelst draaien ($\pm 0,31$ cm/s).

Met deze opstelling is een aantal proeven uitgevoerd, waarmee de verschillende eigenschappen van afgeschoven kubussen met een schuifstortor kunnen worden onderzocht, deze eigenschappen worden in de onderstaande punten verdeeld:

- Effect van de methode van afschuiven op het rotatiepunt van de kubus;
- afzetgrootte bij dezelfde afschuifmethode;
- afzetgrootte bij verschillende afschuifmethoden;
- invloed afschuifsnellheid op de afzetgrootte;
- rotatieontwikkeling van een afgeschoven kubus;
- invloed van de kubusgrootte op bovenstaande eigenschappen.

In bijlage I-1 staan de gegevens, die verkregen zijn uit deze proeven, weergegeven. Het blijkt dat alleen 'het effect van de methode van afschuiven op het rotatiepunt van de kubus' en 'de rotatieontwikkeling van een afgeschoven kubus' met deze opstelling grof kunnen worden benaderd. In de onderstaande punten zullen de resultaten van deze onderdelen worden weergegeven.

Effect van de methode van afschuiven op het rotatiepunt van de kubus

Aangenomen wordt dat de methode van afschuiven verschil uitmaakt op het rotatiepunt van een kubus. Met de methode van afschuiven wordt bedoeld hoe een kubus wordt afgeschoven. Een manier van afschuiven kan zijn door een kubus met een vlakke schuif of met een lijnlast af te schuiven. Ook lijkt de hoogte van de lijnlast ten opzichte van het zwaartepunt van de kubus van belang op de positie van het rotatiepunt. Bevindt deze lijnlast zich aan de onderzijde, het midden of de bovenzijde van de kubus.

De verschillende geteste afschuifmethoden zijn:

- I. Afschuiven met een verticale schuif (of een gelijke kubus, zie de foto in figuur 8.2);
- II. Afschuiven met een lijndruk aan de onderkant van de kubus;
- III. Afschuiven met een lijndruk aan de bovenkant van de kubus;
- IV. Afschuiven met een lijndruk in het midden van de kubus.

Voor de resultaten van deze serie zie bijlage J-1.

Tijdens de uitvoering van de experimenten zijn de volgende waarnemingen gedaan:

- Bij de series III en IV kantelt de kubus vroegtijdig en draait hij door totdat hij van het dek afschuift. Door de vroegtijdige draaiing ontwikkelt zich geen volledige rotatie als de kubus valt;
- bij de series I en II hangt het zwaartepunt van de kubus ruim over de rand van het tafelblad voordat de kubus valt. De ontstane verticale kracht wordt opgenomen door de wrijving tussen de kubus en het afschuifmiddel. Bij serie II zou dan moeten blijken dat de kubus sneller afschuift, door het kleinere wrijvingsoppervlak, maar uit de gegevens blijkt dit niet juist te zijn. Misschien komt dit door het feit dat de grootste druk tussen de af te schuiven kubus en het afschuifmiddel aan de onderzijde ligt en daardoor een plaatselijk zeer grote wrijvingkracht ontstaat tussen het houten latje en de kubus;
- uit de gegevens blijkt ook dat hoe sneller er gedraaid wordt aan de schroef hoe sneller de kubus valt, (hoe groter de X-waarde is), dit is te verklaren doordat, als er snel gedraaid wordt, het stoteriger gaat en door deze kleine impulsjes zal de kubus eerder vallen. Er is dus een maximum aan de schroef, waarmee met de hand goed kan worden gedraaid.

Rotatieontwikkeling van een afgeschoven kubus

Verwacht wordt dat een kubus zal gaan roteren als deze afgeschoven wordt. Maar hoelang duurt het voordat de kubus een kwart, een halve of helemaal geroteerd is. En zal de rotatie op den duur constant worden. Heeft de afschuifsnelheid hier nog invloed op.

Er zijn drie kubussen, met methode I, met een lage snelheid afgeschoven en twee kubussen met de snelste afschuifsnelheid. Hiervan zijn videobeelden gemaakt, die later konden worden geanalyseerd. De valhoogte van de kubus is bepaald op ongeveer 75 cm. In tabel 8-1 worden de uitkomsten gegeven van de analyse die gemaakt is van de videobeelden. In de derde en vierde kolom van de tabel staat weergegeven hoelang het duurt voordat de kubus een kwartslag respectievelijk een halve slag is gedraaid. In de vijfde kolom is de totale valtijd van de kubus opgenomen, waaruit in kolom zes de gemiddelde valsnelheid van een kubus is berekend.

	kubusnr.:	¼ slag gedraaid (*1/25 s)	½ slag gedraaid (*1/25 s)	Valtijd (*1/25 s)	Valsnelheid [m/s]
Langzaam	1	11	16	5	3.5
	2	12	17	5	3.5
	3	14	19	5	3.5
Snelst	4	11	17	6	3.1
	5	11	17	6	3.1
	Gemiddeld:	11,8	17,2		

Tabel 8-1 **Ontwikkeling van de rotatie en valsnelheid met primitief model**

Het verschil tussen langzaam afschuiven en snel is alleen duidelijk terug te vinden in de valtijd en dus snelheid van een kubus. Omdat de gemeten waarden nogal onnauwkeurig zijn, zijn de waarnemingen van de rotatie van de kubus en de berekende valsnelheid alleen geldig als indicatie. Tijdens dezelfde proef, met het uiteindelijke model van de schuifstortor, zullen deze eigenschappen op een nauwkeurigere manier kunnen worden bepaald en berekend.

8.4 Handmatig afschuiven van kubussen in water

Tijdens deze proef zijn in drie series, 36 kubussen gestort. Dit is gebeurd onder de volgende omstandigheden:

- De kubussen zijn met een andere kubus handmatig van een horizontaal dek, dat op de bak ligt, afgeschoven;
- de valhoogte van de kubussen is steeds hetzelfde gehouden ($3,5 \cdot D_k$);
- de kubussen vallen op een vlak gemaakte horizontale bodem, bestaande uit materiaal van de eerste onderlaag;
- het vallen van de kubussen is op video genomen en kan daardoor achteraf geanalyseerd worden;
- met de peilstok wordt de uiteindelijke positie van de vier hoekpunten van iedere kubus bepaald.

Bevindingen

De volgende bevindingen volgen uit de analyse van de videobeelden:

- Bij de val van een kubus, ontstaat er een grote luchtinsluiting, die zich tijdens de val van een kubus over de gehele waterdiepte uitstrekt, zie figuur 2.2;
- de uitwijking van de kubus in het horizontale vlak is visueel niet duidelijk waarneembaar;
- de kubus roteert tijdens de gehele val;
- door deze rotatie komt het voor dat de kubus niet precies op een vlak terecht komt, maar ook op een hoekpunt of een zijde. Verwacht wordt dat hierdoor een grotere afwijking in het horizontale vlak ontstaat; dit zal uit de metingen blijken;

Verplaatsing van de zwaartepunten

Door de coördinaten van de hoekpunten, zowel voor als na het afschuiven van de kubussen, te bepalen, kan de verplaatsing van het zwaartepunt worden bepaald. De verplaatsing van de zwaartepunten van de kubus wordt op dezelfde manier aangegeven als in VAN DER VLIET, 2001:

$$\Delta X = X_1 - X_0 \tag{8.1}$$

$$\Delta Y = Y_1 - Y_0$$

hierin zijn:

- | | |
|------------------------------------|---|
| X | de coördinaten evenwijdig aan de x-as van de golfbreker; |
| Y | de coördinaten evenwijdig aan de y-as van de golfbreker; |
| (X ₀ , Y ₀) | coördinaten van het zwaartepunt van de kubus als deze denkbeeldig over de rand geschoven wordt zonder dat de kubus roteert, zie figuur 7.3; |
| (X ₁ , Y ₁) | coördinaten van de uiteindelijke positie van het zwaartepunt van de kubus. |

Vervolgens wordt dit omgerekend naar de afstand in het horizontale vlak tussen begin- en eindpositie van de kubus met de formule:

$$r = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2} \tag{8.2}$$

Deze waarde kan eventueel nog dimensieloos gemaakt worden door deze te delen door de nominale diameter van de kubus (D_n):

$$R = \frac{r}{D_n} \tag{7.3}$$

In tabel 8-2 staan de gevonden gegevens van VAN DER VLIET, 2001, en van deze proef onder elkaar. Daarbij zijn ook de randvoorwaarden vermeld waaronder de proeven zijn uitgevoerd.

	Valhoogte kubus [cm]	Ribbenlengte D_k [cm]	r-waarde [cm]	R-waarde [-]
VAN DER VLIET, 2001 (8 kubussen)	0	15,0	16,8	1,12
Serie A (36 kubussen)	52.5	15,0	12,8	0,85

Tabel 8-2 Resultaten van de verschuiving van de zwaartepunten van de kubussen

Uit de tabel blijkt dat de verplaatsing van de kubussen in dit onderzoek kleiner is dan in het voorgaand onderzoek. Terwijl juist verwacht werd dat door het doordraaien van de kubussen de verplaatsing groter zou zijn. Waarschijnlijk wordt het verschil veroorzaakt door de invloed van de valhoogte van de kubus. Uit de literatuur en uit het onderzoek van VAN DER VLIET, 2001, blijkt dat de valhoogte van invloed is op de valbeweging van een kubus en wel zo dat, als de valhoogte erg klein is, de kubus meer zal gaan 'dwarrelen' en daardoor een grotere afwijking zal ondergaan.

In bijlage I-2 is een grafiek weergegeven, waarin de verplaatsingen van de zwaartepunten t.o.v. het oorspronkelijke uitgangspunt (het punt 0,0) uitgezet worden. Uit de grafiek kunnen de volgende bevindingen worden gehaald:

- de meeste zwaartepunten liggen in het linker gedeelte van de grafiek en uit de foto's van de stort volgt ook dat de kubussen enigszins linksom gedraaid in het horizontale vlak liggen;
- In tabel 8-3 staat de hoeveelheid kubussen aangegeven, die binnen een bepaalde afstand van het oorspronkelijke zwaartepunt liggen, zowel in x-richting als in y-richting; tevens is een percentage ten opzichte van de totale hoeveelheid kubussen aangegeven. De totale hoeveelheid gestorte kubussen is 36.

	Afstand van het zwaartepunt tot het oorspronkelijke zwaartepunt			
	$\frac{1}{2} * D_n$	%	$1 * D_n$	%
X-richting	22	61,1	35	97,2
Y-richting	30	83,3	36	100

Tabel 8-3 Afstand van het zwaartepunt tot het oorspronkelijke zwaartepunt

8.5 Conclusies van serie A

De belangrijkste bevindingen uit serie A zijn hieronder nog eens weergegeven:

- handmatig afschuiven van de kubussen is geen optie; op deze manier zullen de kubussen niet uniform worden afgeschoven;
- met het simpele model zijn al wel betere resultaten geboekt;
- ook is duidelijk geworden dat zowel bij het afschuiven met een verticale schuif of een lijnlast die onderaan de kubus aangrijpt, er een goed resultaat zal ontstaan. D.w.z. dat de kubus tijdens de val gaat roteren, dit in tegenstelling tot de ander twee methoden;
- er dient een model gemaakt te worden, dat een schuifstorter zo dicht mogelijk benadert en waarvan de belangrijkste eigenschap is dat iedere kubus op dezelfde wijze afgeschoven wordt; voor de beschrijving van het uiteindelijk gemaakt model, zie §5.3.2;
- de eigenschappen van de valbeweging van een kubus zowel in den droge als in het water zijn niet visueel waar te nemen; er dient gezocht te worden naar een manier om deze wel zichtbaar te krijgen (bijvoorbeeld: het opnemen van een valbeweging met video en deze videobeelden later vertraagd af te spelen).

9 Serie B: Testen model en analyseren van de valbeweging

9.1 Inleiding

In deze serie wordt het gemaakte model van de zijschuifstorter uitgebreid getest. Hiervoor worden er enkele kubussen in den droge afgeschoven. Het model wordt hiervoor horizontaal op een tafelblad gelegd en de kubussen worden hiervandaan in een grote houten bak met zand geschoven. Van de valbewegingen van de kubussen zijn video-opnamen gemaakt, die later geanalyseerd zijn. Door deze videobeelden in de computer te zetten, kan per frame (foto van een enkel videobeeldje), de horizontale en verticale afstand tot het model worden berekend en zo kan de valbeweging van de kubus redelijk nauwkeurig worden vastgesteld. Ook is het model getest door enkele kubussen af te schuiven in het water, ook hier zijn opnamen van gemaakt, die ook weer met de computer zijn geanalyseerd. Als laatste is er een groot aantal kubussen vanaf vooraf bepaalde posities in het water geschoven, waarna de verplaatsingen van de zwaartepunten zijn bepaald.

Samengevat is de serie onder te verdelen in een aantal onderdelen, die in het vervolg van dit hoofdstuk worden beschreven:

- Afschuiven van kubussen met het model in den droge;
- afschuiven van kubussen met het model in het water;
- bepalen van de verplaatsingen van de zwaartepunten.

9.2 Afschuiven van kubussen met het model in den droge

Door het model op de vlakke tafel te leggen en enkele kubussen af te schuiven en dit op video op te nemen, kan achteraf de valbeweging worden geanalyseerd. Dit is driemaal gedaan voor een lage snelheid en drie maal voor een hoge afschuifsnelheid. De spoed van de schroef is bekend; deze is vier millimeter, dat wil dus zeggen dat als de schroef een keer is rondgedraaid de schuif 4 millimeter voor- of achteruit is verschoven. Op deze manier kan heel aardig een constante snelheid van de schuif worden bereikt.

Er is voor gekozen om tijdens de proef gebruik te maken van een afschuifsnelheid van ongeveer 0,5 cm/s en een snelste afschuifsnelheid. De snelheid van 0,5 cm/s zou conform de schaalregels de snelheid zijn waarmee de ‘Cetus’ in de praktijk ook schuift (bij een modelschaal van 1:10, zie §4.3). Naast deze snelheid is er gekozen voor een snelste afschuifsnelheid, om zo de verschillen in de valbeweging van de kubus, mochten die er zijn, duidelijk te kunnen waarnemen.

Van de videobeelden kunnen met behulp van een computer foto's gemaakt worden (25 foto's per opgenomen seconde). Vervolgens zijn met een programma de coördinaten van de hoekpunten van de kubussen per foto ten opzichte van een vast gekozen assenstelsel te bepalen. In bijlage J-1 is een serie foto's opgenomen van de videobeelden (voor de duidelijkheid is de afgeschoven kubus aangegeven door een rood vierkantje).

Met deze proef kunnen eigenschappen van de valbeweging van een kubus worden geanalyseerd. Deze eigenschappen zijn onder te verdelen in de volgende punten:

- Exacte afschuifsnelheden van de kubussen;
- valbanen van de kubussen;
- ontwikkeling van de rotatie van een kubus;
- valsnelheden van de kubussen;
- raakpunt van de kubus met het wateroppervlak.

In het vervolg van deze paragraaf worden deze punten beschreven.

Afschuifsnelheden van de kubussen

Nadat met behulp van de computer de videobeelden zijn geanalyseerd, zijn voor de afgeschoven kubussen de volgende afschuifsnelheden gevonden:

- lage afschuifsnelheid : 0,4 cm/s;
- hoogste afschuifsnelheid : 1,7 cm/s (\pm drie maal zo groot).

Dit zijn gemiddelde waarden, die berekend zijn uit drie meting van iedere afschuifsnelheid.

Valbaan van de kubussen

In bijlage J-2 zijn de verschillende valbanen van de kubussen weergegeven. De hoekpunten van de kubussen zijn met behulp van een computerprogramma ingelezen, waarna ze in de figuur konden worden ingevoerd. Er zijn twee figuren weergegeven, één met een langzaam afgeschoven kubus en één met een snelst afgeschoven kubus. Visueel zijn er geen verschillen in de valbewegingen van de kubussen te ontdekken. Uit de bijlage J-3 blijkt heel duidelijk dat er haast geen verschil bestaat tussen de verplaatsingen van de zwaartepunten voor de twee uitgevoerde afschuifsnelheden. Hieruit wordt geconcludeerd dat deze marge in de afschuifsnelheid geen invloed heeft op de afzetgrootte van de kubussen. Tijdens het vervolg van de proeven hoeft dus de afschuifsnelheid niet steeds bepaald te worden, zolang er geen lagere afschuifsnelheid gebruikt wordt dan hier het geval is.

Ontwikkeling van de rotatie van een kubus

In bijlage J-4 zijn de hoekverdraaiingen van de kubussen ten opzichte van de tijd uitgezet. De hoekverdraaiingen zijn berekend aan de hand van de bekende coördinaten van de hoekpunten van de kubussen. De volgende waarnemingen en conclusies kunnen hieraan verbonden worden:

- Zowel voor de langzaam als snelst afgeschoven kubussen blijkt dat de hoekverdraaiing van de kubus naar verloop van tijd een rechte lijn benadert;
- de helling van deze lijn, die de omwentelingssnelheid van de kubus om haar eigen as weergeeft, wordt dus na verloop van tijd constant;
- in tabel 9-1 staan de uit de grafiek berekende constant geworden omwentelingssnelheden weergegeven met hun gemiddelden. Ook hieruit blijkt dat er bijna geen verschil bestaat in omwentelingssnelheid tussen de twee geteste afschuifsnelheden van de kubussen.

Afschuifsnelheid	Omwentelingssnelheid [graden/s]	Gemiddelde [graden/s]	ω [rad/s]
Langzaam	454,1	458,8	2,55* π
	458,4		
	464,0		
Snelst	438,7	442,9	2,46* π
	448,3		
	441,7		

Tabel 9-1 Overzicht omwentelingssnelheden bij verschillende snelheden

Valsnelheden van de kubussen

Doordat de coördinaten van de zwaartepunten van de kubus berekend zijn uit de coördinaten van de hoekpunten en doordat per tijdsinterval (van 1/25 seconde) de positie van deze zwaartepunten bekend is, kan gemiddelde valsnelheid per tijdsinterval berekend worden. Deze gegevens zijn weergegeven in bijlage J-5. Dit is voor de twee afschuif- snelheden gedaan. Tevens zijn er in de bijlage grafieken opgenomen, waarin de valsnelheid per tijdsinterval is uitgezet tegen de tijd. Ook is in deze grafiek de theoretische valsnelheid op basis van de coördinaten van de zwaartepunten van de kubussen weergegeven (volgens $u=\sqrt{2 \cdot g \cdot H}$). Het blijkt dat de hellingen van de grafieken en dus de waarde voor de versnelling van de kubussen, voor zowel de gemeten als de berekende theoretische waarden, haast gelijk zijn.

In tabel 9-2 zijn de verschillende gemeten eindsnelheden weergegeven met hun theoretische waarde.

	Kubusnummer:	Gemeten valsnelheid: [m/s]	Theoretische valsnelheid: [m/s]
Langzaam afgeschoven	Kubus 1	3,96	3,59
	Kubus 2	4,06	3,64
	Kubus 3	3,57	3,54
	Gemiddelde:	3,86	3,59
Snelst afgeschoven	Kubus 1	3,42	3,53
	Kubus 2	3,68	3,54
	Kubus 3	4,32	3,63
	Gemiddelde:	3,80	3,57

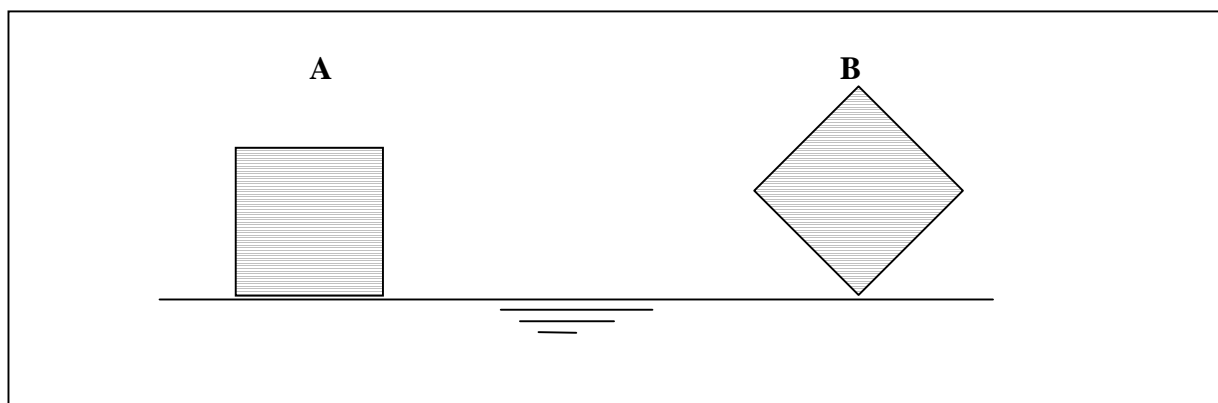
Tabel 9-2 Berekende en theoretische valsnelheden

Uit de tabel volgt dat ook de verschillende gemeten eindsnelheden niet veel van elkaar verschillen. Uit de grafiek kan opgemaakt worden wanneer een kubus aan zijn vrije val begint na afschuiven van het afschuifdek. De grafiek benadert dan een rechte lijn met een helling die gelijk is aan die van de gravitatieversnelling ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (in de grafiek $9,81 / 25 = \pm 0,3924 \text{ m/s}^2$))

In bijlage J-2 is door een vetgerande kubus het begin van de vrije val aangegeven. Wat opvalt is dat van ieder punt van de kubus vanaf dat moment de y-coördinaten van de hoekpunten zakken; dit kan dus als karakteristiek worden gesteld voor het begin van de vrije valbeweging.

Raakpunt van de kubus met het wateroppervlak

In de literatuur wordt gesteld dat er een verschil bestaat in de valbeweging van de kubus als deze als eerste met een ribbe, een vlak of een hoekpunt het water raakt. Doordat de kubussen in deze serie alleen evenwijdig aan de lengterichting van het model zijn gestort (evenwijdig aan de x-as), kan de kubus nooit met een hoekpunt alleen het water raken. Zoals uit de vorige eigenschappen blijkt is er geen groot verschil op te merken in valbaan, valsnelheid en hoekverdraaiingen van de verschillende afgeschoven kubussen, zodat in deze proef een analyse gemaakt kan worden naar aanleiding van een willekeurig gekozen afgeschoven kubus. (Kubus 1, snelst afgeschoven). In bijlage J-6 is nogmaals de hoekverdraaiing van deze kubus uitgezet maar nu tegen de verticale verplaatsing van het zwaartepunt. De vergelijking van de lijn die kwadratisch door de punten heen loopt kan opgesteld worden. Uit de grafiek kan worden afgelezen bij welke zwaartepunt de kubus het water met een vlak of een ribbe raakt. Als de kubus een hoekverdraaiing van 90° of 180° ten opzichte van het wateroppervlak heeft, zal de kubus het water met een vlak raken. Bij een hoekverdraaiing van 45° , 135° en 225° zal de kubus het water met een ribbe raken, zie respectievelijk figuur 9.1-A en figuur 9.1-B.



Figuur 9.1 Raken van het wateroppervlak met een vlak (A) of met een ribbe (B)

Door de vergelijking van de lijn door de punten in de grafiek op te stellen kunnen deze punten precies berekend worden. In tabel 9-3 zijn de berekende valhoogten weergegeven waarbij de kubus het water met een vlak of met een ribbe zal raken; voor de berekening zie bijlage J-6.

Raakpunt wateroppervlak met:	Hoekverdraaiing [°]	Valhoogte [cm]
Vlak	90	22,4
	180	77,6
Ribbe	45	13,4
	135	47,9
	225	123,8

Tabel 9-3 Valhoogte voor vlak- en ribbencontact van het wateroppervlak

Door het toenemen van de valsnelheid van een kubus, wordt de afstand tussen de momenten waarop de kubus op dezelfde manier het water raakt steeds groter, dit is in de tabel goed te zien voor het raakpunt met een ribbe.

Opmerking

Ook uit de uitwerking van bovenstaande gegevens voor andere afgeschoven kubussen is gebleken dat de verschillen in valhoogte niet meer dan 1% bedragen; hierdoor is het te rechtvaardigen dat er gekozen is voor de uitwerking van één willekeurig afgeschoven kubus.

9.3 Afschuiven van kubussen met het model in het water

Op dezelfde manier als in den droge, worden nu ook een aantal kubussen in het water afgeschoven met het model van de schuifstorter. Tijdens deze proef worden achtereenvolgens twee kubussen afgeschoven met een ander valhoogte, omdat verwacht wordt dat de valhoogte van invloed is op de valbeweging van de kubus. De valhoogte wordt als volgt gevarieerd:

- twee kubussen met een valhoogte van 27,5 cm;
- twee kubussen met een valhoogte van 35,0 cm;
- twee kubussen met een valhoogte van 42,5 cm;
- twee kubussen met een valhoogte van 50,0 cm.

Doordat de uitkomsten uit §9.2 ten tijde van de proef nog niet gereed waren is gekozen voor de bovenstaande variatie in de valhoogten. Als de in §9.2 gevonden valhoogten waren gebruikt kon naast het effect van de valhoogte op de valbeweging van de kubus ook het effect van het raakpunt meegenomen worden. Nu wordt gesteld dat bij een valhoogte van 27,5 cm de kubus met een vlak het water raakt en bij een valhoogte van 50,0 cm met een ribbe.

Ook tijdens deze proef kunnen verschillende eigenschappen van een vallende kubus in water worden geanalyseerd, deze zijn nu:

- valbanen van de kubussen;
- valsnelheden van de kubussen;
- ontwikkeling van de rotatie van een kubus.

Valbaan van een kubus.

In bijlage K-1 is voor alle valhoogten één figuur weergegeven van een vallende kubus. Zoals gesteld zijn de vallende kubussen opgenomen met een videorecorder. Doordat de videorecorder tijdens deze proef verder van de kubus afstond, is het beeld waarschijnlijk iets vertrokken door de lens van de videorecorder. Er moet dus rekening gehouden worden met enige onnauwkeurigheden tijdens deze proef. Maar ondanks deze onnauwkeurigheden blijkt toch dat er aan de hand van enige waarnemingen, conclusies gedaan kunnen worden, onder andere:

- bij de grafieken van 27,5 cm en al in veel mindere mate de grafiek van 35,0 cm is het effect van de afschuifsnelheid zichtbaar. Het zwaartepunt van de kubus verschuift in het water nog enkele centimeters van het afschuifdek af, terwijl bij de grafiek van 42,5 cm en 50,0 cm deze verplaatsing haast nul is.
- bij de grafieken met een valhoogte van 42,5 cm en 50,0 cm is de valbaan te beschrijven als loodrecht naar beneden;
- nadat ook bij de grafieken van 27,5 cm en 35,0 cm de valbeweging over ongeveer 70 cm recht naar beneden is, buigt deze weer naar het dek van de schuifstort toe. Nu ook weer met enkele centimeters;

De volgende verklaringen kunnen voor de waarnemingen gegeven worden:

- door de geringere horizontale snelheid waarmee de kubus het water bereikt bij een valhoogte van 27,5 cm en 35,0 cm, heeft de horizontale afzetsnelheid nog relatief veel invloed over het eerste gedeelte van de valbeweging in het water. Hierdoor zal in dit geval ook de horizontale verplaatsing optreden en niet bij de grotere valhoogten;
- nadat al de invloed van de afschuifsnelheid is verdwenen door de wrijving van het water op de kubus, zal deze zich in een vrije val recht naar beneden verplaatsen, volgens §2.2;
- het weer terugbuigen van de zwaartepunten naar het afschuifdek bij de valhoogten van 27,5 cm en 35,0 cm, kan verklaard worden door het optreden van het Magnus-effect, zie §2.4.2. Uit verschillende literatuurbronnen, zie §2.4.2, is gevonden dat dit effect op zal treden na een valdiepte vanaf vijf maal de D_k van een kubus onder water. Bij een valhoogte van 27,5 cm is dit in de grafiek dus op een waterdiepte vanaf ± 60 cm. In de grafiek is te zien dat het verschijnsel optreedt vanaf een hoogte van ± 30 cm. Dit zou het optreden van het Magnus-effect kunnen aanduiden. In tegenstelling tot de waarnemingen in VAN DER VLIET, 2001 waar het Magnus-effect niet blijkt op te treden, gebeurt het hier wel. Dit kan verklaard worden door het feit dat tijdens het onderzoek van VAN DER VLIET, 2001, de kubus geen beginrotatie had, waardoor het effect zich daar (nog) niet voordoet;
- ook de hoek van deze afbuiging komt vrij aardig overeen met de uit de literatuur gevonden waarde van 1:5 (11°).
- voor de valhoogten van 42,5 cm en 50,0 cm treedt ogenschijnlijk het Magnus-effect niet op. Het wel of niet optreden van het effect lijkt dus afhankelijk van de valhoogte van de kubus boven het water en met de valhoogte misschien wel afhankelijk van het snelheidsverloop van de kubus in het water;
- door de onnauwkeurigheden van deze proef zijn er geen conclusies te verbinden aan de mogelijke invloed die een bepaalde oriëntatie van de kubus bij het raken van het wateroppervlak zou hebben op de valbeweging.

Valsnelheden van de kubussen

Door de redelijk onnauwkeurige meetresultaten is niet per tijdsinterval een valsnelheid te berekenen. Er kan dus ook geen geheel snelheidsprofiel van de vallende steen bepaald worden. Wel kan er een evenwichtssnelheid bepaald worden. Uit het literatuuronderzoek blijkt dat onafhankelijk van de valhoogte boven de waterspiegel gesteld kan worden dat na een waterdiepte van ongeveer 4 à $5 \cdot D_k$ de evenwichtsdiepte is bereikt. Door nu een gemiddelde te bepalen van de valsnelheid over de laatste 40 à 50 cm van de valbaan van een kubus kan een idee gekregen worden van de evenwichtssnelheid van de kubussen.

In tabel 9-4 zijn de verschillende bepaalde evenwichtsvalsnelheden voor de verschillende kubussen weergegeven.

Valhoogte [cm]	Kubus Nummer:	Gemeten evenwichtsvalsnelheid [m/s]	Gem. gemeten evenwichtsvalsnelheid [m/s]	Theoretische evenwichtsnelheid [m/s]
27,5	1	1,51	1,52	1,70
	2	1,53		
35,0	1	1,41	1,38	
	2	1,35		
42,5	1	1,54	1,58	
	2	1,62		
50,0	1	1,53	1,56	
	2	1,58		

Tabel 9-4 Gemeten valsnelheden versus theoretische valsnelheden

Uit de tabel blijkt heel duidelijk dat de berekende snelheden kleiner zijn dan de theoretische evenwichtsnelheid. Door onnauwkeurigheden in de video-opnamen en in de analyse met behulp van de computer kunnen hier geen harde bewijzen aan verbonden worden.

Ontwikkeling van de rotatie van een kubus

Door de genoemde onnauwkeurigheden is het ook niet mogelijk gevonden om een exacte rotatie-ontwikkeling van de kubus in het water te bepalen. Wel blijkt uit de gevonden evenwichtshoekverdraaiingen dat de hoekverdraaiingen onder water lager zijn dan boven water door de invloed van de wrijving van het water op de roterende kubus.

Door dit verschil zal zich tijdens het eerste gedeelte van de val van een kubus weer een overgangsgebied ontwikkelen. In bijlage K-2 zijn de verschillende hoekverdraaiingen voor de kubussen met verschillende valhoogte uitgezet tegen de tijd. (opmerking: de helling van deze grafiek is dus weer representatief voor de omwentelingssnelheid van een kubus om zijn as) Uit de grafiek blijkt:

- Dat hoe groter de valhoogte is des te rechtlijniger de grafiek loopt;
- uit de grafiek met de valhoogte van 50,0 cm blijkt dat na de inspeelperiode een omwentelingssnelheid van ongeveer 260 °/s bereikt wordt, dit is ongeveer 60% van de snelheid die boven water optreedt;
- opvallend is dat op hetzelfde moment waarop de lijn in de grafiek met de valhoogte van 27,5 cm een knik heeft, de overgang naar het Magnus-effect optreedt, zie bijlage K-1. In de overige lijnen is deze knik niet te vinden en gaat de lijn min of meer rechtlijnig door na de inspeelperiode. Deze knik duidt erop dat de kubus, als deze roteert onder invloed van het Magnus-effect, met een andere evenwichtsrotatie gaat roteren dan de gestelde evenwichtsrotatie van bijvoorbeeld 260 °/s.

9.4 Bepalen van de verplaatsingen van de zwaartepunten

Net als in serie A, hoofdstuk 8, worden de verplaatsingen van de zwaartepunten ten opzichte van de afgeschoven positie bepaald. In dit geval zijn de kubussen met het model van de schuifstorter gestort.

Het enige verschil is dat nu niet op een horizontale bodem is gestort maar dat een afgeschoven kubus precies tegen de teen van de golfbreker aanvalt. Er is voor deze positie gekozen om te kijken wat de invloed van het talud is op het 'wegspringen' van de kubus, zonder dat de kubus grote stukken naar beneden kan rollen over het talud. Tijdens deze proef zijn een groot aantal kubussen afgeschoven, bij verschillende valhoogten, om zo te kijken of dit van invloed is op de uiteindelijke horizontale uitwijking van de kubus. Er is voor gezorgd dat de kubussen elkaar zo min mogelijk raakten, om een zo goed mogelijk beeld te krijgen.

De volgende series zijn afgeschoven;

- 11 kubussen met een valhoogte van 35,0 cm;
- 11 kubussen met een valhoogte van 42,5 cm;
- 12 kubussen met een valhoogte van 50,0 cm;
- 6 kubussen met een valhoogte van 35,0 cm en een stil water oppervlak,.

De laatste serie is uitgevoerd om de invloed van de golven en de eventueel in de bak aanwezige circulatiestroming te onderkennen. Hiertoe is nadat er één kubus gestort is net zo lang gewacht met het storten van de volgende kubus, tot iedere beweging uit het water verdwenen was.

Resultaten

In bijlage K-3 zijn een tabel en een figuur weergegeven waarin de uitwijkingen van de zwaartepunten van de kubussen in zowel de x-richting als de y-richting staan vermeld. Ook is hier een kolom opgenomen die de r-waarde (afstand van het nulpunt tot de uiteindelijke positie), zie §8.4, weergeeft. Opgemerkt wordt dat deze r-waarde nu niet vergeleken kan worden met de in §8.4 gevonden waarden, omdat hier niet op horizontale vlakke bodem gestort is maar op een talud.

Als alleen gekeken wordt naar de verplaatsingen in de x-richting, evenwijdig aan de golfbreker, dan blijkt dat hoe groter de valhoogte des te kleiner de gemiddelde afwijking. Dit onderschrijft de in §8.4 gestelde hypothese; “dat de valhoogte van invloed is op de valbeweging van een kubus en wel zo dat, als de valhoogte klein is, de kubus meer zal gaan ‘dwarrelen’ en daardoor een grotere afwijking in het horizontale vlak zal ondergaan”.

Dit is ook zichtbaar in de grafiek in de bijlage waarin alle verplaatsingen van de zwaartepunten uitgezet zijn ten opzichte van hun beginpositie, het punt (0,0). Uit de grafiek kunnen de volgende bevindingen gedaan worden:

- Ook hier liggen de meeste zwaartepunten links van de y-as, dit kan niet meer verklaard worden door het onbewust onder een oriëntatie afschuiven van de kubussen, omdat dit gedaan is met het model van de zijschuifstort. Nadat alles nog eens goed nagemeten was bleek dat de meetlinten aan weerszijden langs de bak ongeveer een centimeter van elkaar verschilden, zodat de meetbalk tijdens de stort scheef op de bak lag en daardoor zijn de kubussen enigszins verschoven;
- in tabel 9-5 staat aangegeven, hoeveel kubussen zich binnen een bepaalde afstand van de beginpositie, het punt (0,0), zijn komen te liggen.

	Afstand van het zwaartepunt tot het oorspronkelijke begin punt					
	$\frac{1}{2} * D_k$	%	$1 * D_k$	%	$1\frac{1}{2} * D_k$	%
X-richting	21	61,7	12	35,3	1	3,0
Y-richting	34	100,0	34	100,0	34	100,0

Tabel 9-5 Afstand van het zwaartepunt tot het oorspronkelijke zwaartepunt (serie B)

De proef die is uitgevoerd zonder de invloed van golven en eventuele circulatiestromen in de bak, geeft voor de zes gestorte kubussen een r-waarde van ongeveer 9,7. Deze waarde is wel iets kleiner dan de gemiddelde waarde voor een valhoogte van 35,0 cm. Maar doordat hier zulke grote verschillen aanwezig zijn tussen de verschillende waarden en er relatief maar weinig kubussen gestort zijn, kan hieruit niet direct worden opgemerkt wat de exacte invloed is van golven en circulatiestroming op de valbeweging van de kubus. Verwacht wordt echter dat de invloed van golven en circulatiestroming gering is op de valbeweging van een kubus, zie hiervoor ook bijlage E.

9.5 Conclusie Serie B

De belangrijkste bevindingen uit serie B, zijn hieronder nog eens weergegeven:

- Met het model van de zijschuifstorter is het mogelijk om op een goede manier kubussen af te schuiven;
- met behulp van de meetlinten (ook op het model) kan op een nauwkeurige manier de positie van de af te schuiven kubussen worden bepaald;
- het maakt, wat betreft de valbaan of de rotatieontwikkeling van een kubus, geen verschil met wat voor een afschuifsnelheid de kubussen worden afgeschoven, als de snelheid maar niet lager ligt dan de kleinste toegepaste snelheid (0,4 cm/s);
- het wel of niet optreden van het Magnus-effect tijdens de val van een kubus is waarschijnlijk afhankelijk van de valhoogte van de kubus boven het water en het daaruit voortvloeiende snelheidsverloop van de kubus. Ook is het wel of niet bezitten van een beginrotatie van de kubus van invloed op het moment wanneer de kubus volgens het Magnus-effect valt en roteert;
- waarschijnlijk roteert een kubus die volgens het Magnus-effect valt met een andere omwentelingssnelheid dan een kubus die zonder invloed van het Magnus-effect valt;
- uit het onderzoek blijkt dat ook hier de valhoogte van invloed is op het ‘dwarrelgedrag’ van een kubus tijdens de val, net zoals is weergegeven in de genoemde literatuur.

10 Serie C: Storten van totale laag

10.1 Inleiding

Tijdens deze serie worden totale lagen kubussen gestort door de kubussen één voor één af te schuiven. De parameter die is gevarieerd is de tussenafstand van de kubussen, zowel in de x-richting als in de y-richting. De verschillende rijen worden volgens het halfsteensverband gestort, zie §6.2.

Onderling worden de verschillende proeven op porositeit en plaatsingsdichtheid vergeleken; ook is de gestorte laag achteraf visueel beoordeeld volgens §7.5, en is na afloop van de proef het resultaat gefotografeerd. Hiermee kunnen de verschillende proeven snel en efficiënt worden vergeleken.

De valhoogte die tijdens deze serie gebruikt wordt, is ongeveer gelijk aan de hoogte die tijdens de proeven van VAN DER VLIET, 2001, is gebruikt, dit om de gevonden resultaten goed te kunnen vergelijken.

Tijdens de uitvoering van de proeven zijn de volgende parameters gelijk gehouden;

- kubussen : $D_k = 0,15$ m;
- maximale waterdiepte : 11 à 12· D_k ;
- valhoogte : 42,5 cm;
- oriëntatie : 90° t.o.v. de x-as en y-as;
- methode van de stort : van het talud af;
- volgorde van stort : per rij in x-richting;
- patroon van de stort : halfsteensverband.

Voor de volgorde van de rijen die achtereenvolgens gestort moeten worden, is gekozen voor de door VAN DER VLIET, 2001 gebruikte manier. Deze is als volgt:

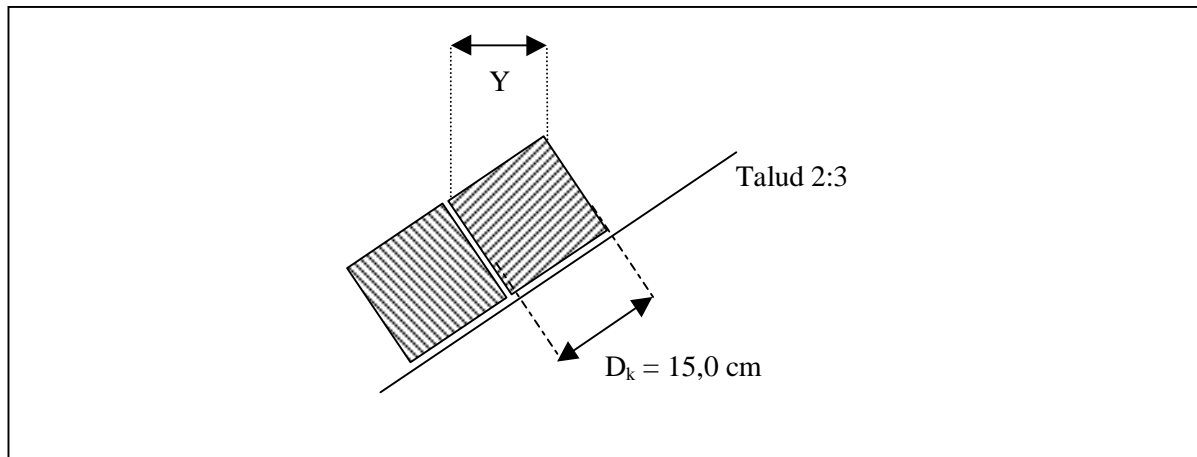
- eerst wordt er een laag kubussen tegen de teen aan gestort, vervolgens wordt een laag op het talud gestort, waarna nog een extra laag, iets verschoven ten opzichte van de eerste rij, maar wel op de teen, gestort. De bedoeling van deze extra laag is dat deze de gaten in de eerste laag op zal vullen;
- ook heeft iedere laag in de x-richting dezelfde kleur en wordt iedere kubus, die gestort wordt, voorzien van een nummer, zodat achteraf precies gekeken kan worden waar de kubussen uiteindelijk terecht zijn gekomen;

In onderstaande paragrafen worden per proef verschillende bevindingen en resultaten gegeven. Als laatste worden in §10.10 de conclusies met betrekking tot alle proeven in serie C weergegeven. In de bijlage L, staan alle meetgegevens en resultaten, compleet met foto's (voor zover beschikbaar) van de uitgevoerde proeven van serie C, weergegeven.

10.2 Tussenafstanden

Zoals gesteld, worden tijdens deze proef de tussenafstanden van de kubussen in zowel de x-richting als de y-richting gevarieerd. Over de tussenafstand in de x-richting is al het een en ander geschreven, zie VAN DER VLIET, 2001. Uit de proeven zal blijken welke tussenafstand in welke situatie het beste resultaat geeft.

Voor de y-richting gelden waarschijnlijk andere waarden voor de tussenafstanden. Want als een kubus vlak op het talud ligt, zie figuur 10.1, dan is de horizontale afstand tussen de voor- en achterkant van de kubus geen 15,0 cm maar kleiner, $\pm 12,5$ cm (Y in de figuur), doordat de kubus op een helling ligt.



Figuur 10.1 Bepaling van de theoretische tussenafstand in de y-richting

10.3 Bevindingen en resultaten van de proeven

In deze paragraaf worden kort de bevindingen van de verschillende proeven beschreven, waarna een overzicht gegeven wordt van de belangrijkste resultaten van deze proeven. Al de resultaten van de proeven en de gemaakte foto's zijn weergegeven in bijlage L.

Proef C-0

Voor de beeldvorming leek het aardig om van een gezette laag kubussen op het talud van de golfbreker de porositeit en de plaatsingsdichtheid te bepalen. Hiertoe wordt net als bij de andere proeven eerst de onderlaag ingepeild; vervolgens wordt een aantal kubussen, zodat deze onderling goed aansluit, op de het talud geplaatst. Daarna wordt deze laag uitgepeild en worden de gegevens net als voor de andere proeven verwerkt. Wat nu dus in feite bepaald wordt is de hoeveelheid holle ruimte (porositeit) die zich tussen de eerste onderlaag en de laag kubussen bevindt. De resultaten van deze proef zijn weergegeven in bijlage L-0.

Uit de gegevens blijkt vooral dat de plaatsingsdichtheid bijna 100% is. Dit klopt ook wel, want de plaatsingsdichtheid wordt bepaald door het aantal kubussen per vierkante meter. En omdat er tijdens deze proef haast geen ruimte tussen de kubussen zit, is deze dus bijna 100%. De porositeit daarentegen is toch behoorlijk groot. Dit komt doordat de gemeten laagdikte ruim 1,5 cm meer is dan de diameter van de kubus groot is. Doordat de laag haast perfect ligt en er uitgepeild is met de grote halve bol, is hierdoor structureel teveel gemeten ($\pm 0,75$ cm), zie §7.2. Zou dit gecorrigeerd worden, dan wordt de porositeit gemiddeld nog 12,6%. De laagdikte heeft dus niet veel effect op het uiteindelijke resultaat; dus kan worden gesteld dat er ongeveer 12,0% holle ruimte tussen de eerste onderlaag en de laag 'gezette kubussen' zit, zie figuur 7.4.

Proef C-1

In deze proef worden in totaal negen rijen gestort, die in totaal 54 kubussen bevatten. De tussenafstand in het stortpatroon langs de x-as is gesteld op 20,0 cm en langs de y-as op 17,0 cm. Zoals in de inleiding is geschreven is eerst rij 1 tegen de teen aangestort, vervolgens is rij 2 op het talud gestort, daarna is rij 3 op de teen gestort, om de eventueel ontstane gaten te vullen, waarna de andere rijen gestort worden.

Het resultaat van de proef is visueel al best redelijk. De tussenafstand in de y-richting van 17,0 cm is nabij de teen goed, maar hoger op het talud wordt deze afstand vermoedelijk te groot. Doordat tijdens het storten de kubussen een rotatie ondergaan zijn de kleurenbanden niet meer precies naar boven

gericht, maar na enige analyse blijkt toch dat de banden van dezelfde kleur nog redelijk op dezelfde hoogte liggen. In bijlage L-1, zijn naast de uitgebreide proefgegevens met de in- en uitpeiling ook nog een aantal foto's van de gestorte laag weergegeven. Tijdens de uitvoering van de proef was er geen beschikking over een fotocamera maar wel over een videocamera, zodat hiermee enige foto's zijn gemaakt. Maar de videocamera heeft niet zo'n groot bereik, zodat drie afzonderlijke foto's moeten worden gemaakt om de totale laag te bevatten.

Tijdens het opmeten van de oppervlakte van de gestorte laag is ondervonden dat dit niet erg nauwkeurig kan worden gedaan. Er is daarom besloten om een bepaalde spreiding in de afmetingen aan te nemen, zodat ook een spreiding in de uiteindelijke oppervlakte en dus in de porositeit en plaatsingsdichtheid wordt bereikt.

Er is tijdens deze proef een goede laag gestort. Dit blijkt niet alleen visueel maar ook uit de waarden die gevonden zijn voor de plaatsingsdichtheid en de porositeit. Tijdens de volgende proeven wordt de tussenafstand in de y-richting niet constant verondersteld maar stapsgewijs verkleind, als er richting de kruin van de golfbreker wordt gestort.

Proef C-2

Tijdens deze proef is de tussenafstand in de x-richting gelijk gehouden aan proef C-1. De tussenafstand in de y-richting is veranderd en wel zo dat bij iedere andere rij de tussenafstand met één centimeter is verkleind, waarbij begonnen wordt met een tussenafstand van 17,0 cm. Dus tussen de eerste en derde rij, zit 17,0 cm en tussen de derde en de vierde rij zit 16,0 cm enzovoort. Zie ook bijlage L-2, waarin de gegevens van deze proef staan vermeld. Ook zijn er tijdens deze proef meer kubussen gestort; zo zijn er in de eerste laag elf kubussen gestort en de rijen 2 en 3 bestaan allebei uit tien kubussen, waarna in de volgende rijen steeds weer een kubus minder is gestort. Het totaal aantal gestorte kubussen komt daarmee op 73.

Van deze proef is een uitgebreidere visuele beoordeling gemaakt. Ook deze gegevens staan in bijlage L-2. Hieruit blijkt dat er een groot aantal kleinere gaten in de laag zit, die vermoedelijk veroorzaakt worden door een te grote tussenafstand in de x-richting.

Door de grote hoeveelheid gaten en de aanwezige grote spleten in de gestorte laag is het uiteindelijke resultaat van deze proef aanzienlijk minder. Dit volgt ook wel uit de porositeit en de plaatsingsdichtheid. Tevens valt op dat de gemiddelde laagdikte ten opzicht van de vorige proef met bijna 4,5 mm is gedaald tot 164,7 mm. Voorgesteld wordt om in de volgende proef de tussenafstand in de x-richting aan te passen.

Proef C-3

De tussenafstand die voor deze proef gebruikt is verschilt weer iets in vergelijking tot proef C-2. De tussenafstand in de y-richting is dezelfde gehouden, maar de afstand in de x-richting is veranderd. Er is gekozen om de eerste drie rijen (twee lagen van de teen en één op het talud) te storten met een tussenafstand van 20,0 cm, en de resterende rijen te storten met een tussenafstand van 18,0 cm om zo de hoeveelheid kleine gaten in de x-richting kwijt te raken. Ook is het aantal kubussen, dat gestort is in de verschillende lagen iets veranderd. De gegevens van deze proef zijn weergegeven in bijlage L-3.

Uit de analyse van de foto's van proef C-3 blijkt dat er nu niet zoveel kleine gaten zijn ontstaan. Wel valt op dat er nu een aantal kubussen is dat dubbel (dat wil zeggen, boven op een andere kubus) terecht is gekomen, wat direct ten koste gaat van de plaatsingsdichtheid, omdat deze voornamelijk bepaald wordt uit het aantal kubussen, dat zich in een laag bevindt. Gesteld wordt namelijk dat deze dubbel geplaatste kubussen in het geheel niet bijdragen aan de stabiliteit van de gestorte laag, zodat ze ook niet meegenomen worden in de bepaling van de plaatsingsdichtheid.

Er kan geconcludeerd worden dat de tussenafstand in de x-richting iets te klein is gezien het aantal dubbel geplaatste kubussen. Door deze dubbele kubussen is de plaatsingsdichtheid ook iets minder dan in proef C-2. Daartegenover staat wel dat er minder kleinere gaten in de laag zitten. Doordat er kubussen dubbel geplaatst zijn, zou verwacht worden dat er op die plek een groot gat zou ontstaan, maar dat blijkt niet het geval. Uit analyse blijkt dat een kubus van de volgende rij de positie van de dubbel geplaatste kubus voor het grootste gedeelte inneemt.

Proef C-4

Het enige verschil met de voorgaande proef is, dat alle rijen nu bestaan uit tien kubussen, zodat er in totaal ruim honderd kubussen zijn gestort. Het voordeel hiervan is dat er nu geen 'driehoeksprofiel' ontstaat maar een 'vierkante' laag van gestorte kubussen, waarvan de oppervlakte waarschijnlijk veel makkelijker en daardoor nauwkeuriger te bepalen is. Een nadeel van het storten van zoveel kubussen is dat het aanzienlijk meer uitvoeringstijd kost.

Uit de beoordeling van de laag, zie bijlage L-4, blijkt dat er in de laag veel gaten zitten, maar doordat er tijdens deze proef ook aanzienlijk meer kubussen zijn gestort valt dit relatief wel mee. In de beoordeling is ook het aantal dubbel geplaatste kubussen opgenomen; dat zijn er in dit geval negen. De resultaten van deze proef zijn weergegeven in bijlage L-4.

Na analyse van de verschillende foto's blijkt dat door verschillende verkeerd gevallen kubussen de kleurenbanden haast niet terug te vinden zijn. Er zijn dus veel meer kubussen in een andere rij terechtgekomen dan de bedoeling was. Wel valt op dat de gaten in de ene laag voor het grootste gedeelte opgevuld worden door de kubussen uit de volgende laag. Er is dus sprake van een herstellende werking. Ook is gebleken dat hoe hoger op het talud, des te meer kubussen dubbel terecht zijn gekomen of zelfs geheel naar de teen zijn gerold. Hieruit wordt opgemaakt dat er een bepaald minimum bestaat voor de afstand in de y-richting, waarschijnlijk de gevonden waarde van 12,5 cm, zie §10.2.

Door nu de porositeit en de plaatsingsdichtheid van de proeven C-3 en C-4 te vergelijken, valt vooral op dat de spreiding tussen de maximale en de minimale waarden bij proef C-4, aanmerkelijk kleiner is dan bij proef C-3. Dit komt vooral door de spreiding in het gemeten oppervlak van de laag, waarmee is aangetoond dat de oppervlakte van een 'vierkante' laag nauwkeuriger kan worden bepaald dan van een 'driehoekige' laag. Door het toepassen van een 'vierkante' laag worden ook de randinvloeden kleiner. Er zullen namelijk geen kubussen langs de schuine kant van het 'driehoeksprofiel' afrollen, die zo toch de plaatsingsdichtheid mede bepalen. De 'vierkante' laag voldoet daarom meer aan de praktijk, waar langere rijen tegelijk gestort worden, voordat een nieuwe wordt begonnen.

Wel moet gesteld worden dat de porositeit en de plaatsingsdichtheid van proef C-4 veel lager is dan bij proef C-3. Waarschijnlijk komt dit door het relatief grote aantal grote gaten in de laag van proef C-4.

Proef C-5

Allereerst wordt opgemerkt dat het resultaat van deze proef naderhand niet uitgebreid geanalyseerd kon worden, omdat er van deze proef vergeten is een foto te maken.

Tijdens deze proef is gebruik gemaakt van de theoretisch minimale tussenafstand in de y-richting van 12,5 cm. Er wordt wel begonnen met een tussenafstand van 17,0 cm tussen laag één en drie en vervolgens wordt er bij iedere volgende rij, 1,0 cm vanaf gedaan tot de tussenafstand van 13,0 bereikt is; daarna is de tussenafstand constant gehouden op 12,5 cm.

Uit de resultaten, bijlage L-5, blijkt dat vergeleken met proef C-4 er een aantal kubussen minder dubbel is geplaatst en dat er minder gaten zijn ontstaan. Ook blijkt dat er haast geen verschil bestaat tussen de uitkomsten van proef C-4 en van proef C-5. Ook hier is de spreiding van de plaatsingsdichtheid en de porositeit veel kleiner, dan bij het 'driehoekige' profiel. Maar de gevonden

plaatsingsdichtheid voldoet nog niet aan de gestelde eis geformuleerd in VAN GENT EN SPAAN, 1998. Waarschijnlijk is de tussenafstand in de x-richting van 18,0 cm na de derde rij, te klein. Hierdoor zullen er in eerste instantie wat kubussen wegdraaien en terechtkomen op een gedeelte van de plek die voorbestemd is voor de volgende, die dan ook weer wegdraaien, totdat uiteindelijk een kubus boven op de voorganger valt en deze mogelijk naar de teen toe rolt.

Proef C-6

In het vervolg van het onderzoek zal gestort gaan worden met een valhoogte van 27,5 cm, omdat deze hoogte een praktijksituatie beter benadert. Omdat de tussenafstand in de x-richting van 18,0 cm te klein is en omdat er door de beperktere valhoogte mogelijk grotere verplaatsingen van de kubus op zullen treden, is tijdens deze proef gekozen voor een tussenafstand van 20,0 cm. In de y-richting zal de tussenafstand niet veranderd worden vergeleken met proef C-4 en proef C-5.

Uit de resultaten, bijlage L-6, en de daarin opgenomen foto's blijkt vooral dat het resultaat nabij de teen niet goed is. Daar zijn grote afwijkingen van de kubussen waargenomen en dus grote gaten. Verder het talud op wordt het resultaat wel beter al is wel duidelijk op de foto dat aan de rechterraand ook wat onregelmatigheden voorkomen, doordat het profiel daar als het ware een beetje uitzakt.

Deze proef heeft haast dezelfde configuratie als proef C2, dus hier zullen de uitkomsten mee vergeleken worden. De uitkomsten van proef C-6 zijn beduidend minder dan die van proef C-2. Een eenduidige verklaring is hier niet voor te geven, maar verwacht wordt dat er in het driehoeksprofiel minder kubussen dubbel komen te liggen, en dat daardoor de plaatsingsdichtheid hoog blijft.

Wat opvalt bij de resultaten van proef C-6 is, dat de gevonden gemiddelde laagdikte erg laag is, vooral als deze laagdikte vergeleken wordt met de laagdikte van de andere uitgevoerde proeven.

10.4 Overzicht van de belangrijkste resultaten

In tabel 10-1 zijn de belangrijkste resultaten van deze serie weergegeven. Naast de beide tussenafstanden zijn ook de gemiddelde porositeit en plaatsingsdichtheid en de gemiddelde laagdikte weergegeven.

Proefnr:	Tussenafstand X-richting [cm]	Tussenafstand Y-richting [cm]	Porositeit [%]	Plaatsingsdichtheid [%]	Gemiddelde laagdikte [mm]
C-0	0	0	13,0	97,1	167,4
C-1	20,0	17,0	35,1	73,3	169,5
C-2	20,0	17, 16, 15, enz	36,2	70,2	164,7
C-3	1 ^{ste} drie rijen 20, daarna 18	17, 16, 15, enz	35,6	68,8	163,2
C-4	Zelfde als C-3	17, 16, 15, enz	42,2	63,3	164,0
C-5	Zelfde als C-3	17, 16, t/m 13, daarna 12,5	40,8	64,6	163,5
C-6	20,0	Zelfde als C-5	39,1	64,6	159,0

Tabel 10-1 Overzicht van de resultaten van serie C

Uit de tabel blijkt dat de configuratie van de proeven C-1 en C-2 een goed resultaat geven. In hoeverre dit toeval is, is niet duidelijk omdat beide configuraties slecht één keer zijn uitgevoerd. Ook het effect van het gestorte 'driehoeksprofiel' is hier niet geheel duidelijk, maar hiervan wordt wel verwacht dat dit een gunstig effect heeft op het resultaat.

10.5 Algemene conclusies van de serie

De belangrijkste conclusies en bevindingen uit serie C worden hieronder nog eens gegeven:

- de serie is uitgevoerd ter vergelijking met de gevonden waarden uit het onderzoek van VAN DER VLIET, 2001. Hiervoor worden in tabel 10-2 de uitkomsten van dat onderzoek (Serie C) nog eens weergegeven.

VAN DER VLIET, 2001					
Proefnr:	Tussenafstand x-richting [cm]	Tussenafstand y-richting [cm]	Porositeit [%]	Plaatsingsdichtheid [%]	Gemiddelde laagdikte [mm]
C1	19√2	0,5·19√2	41	68	173
C2	17,5√2	0,5·17,5√2	47	66	184
C3	18,25√2	0,5·18,25√2	38	72	175
C4-I	18,25√2	1 ^{ste} vier: 0,5·18,25√2, daarna 0,5·17,5√2	37	71	170
C4-II	18,25√2	1 ^{ste} vier: 0,5·18,25√2, daarna 0,5·17,5√2	36	75	175
C4-III	18,25√2	1 ^{ste} vier: 0,5·18,25√2, daarna 0,5·17,5√2	37	72	171

Tabel 10-2 Uitkomstenserie VAN DER VLIET, 2001

- als de uitkomsten uit de tabellen 10-1 en 10-2 vergeleken worden, blijkt dat de resultaten van serie C iets minder te zijn dan de resultaten van VAN DER VLIET, 2001. Mogelijk komt dit omdat in dit onderzoek de kubussen niet onder een halfsteensverband gestort zijn maar in de zogenaamde v-vorm, zie §6.2. Ook het gestorte 'driehoeksprofiel' tijdens de proeven van VAN DER VLIET, 2001, en van proef C-1 en C-2 schijnt een gunstige uitwerking te hebben op het resultaat;
- het voordeel van de rotatie, waardoor verwacht werd dat de kubussen dichter tegen elkaar aan zullen rollen, is dus niet tijdens deze serie in de resultaten terug te vinden;
- er zijn relatief weinig proeven uitgevoerd en ook zijn de proeven haast niet herhaald, zodat statistisch gezien geen goede resultaten zijn verkregen. Wel is ook hier gebleken dat de tussenafstand, zowel in x- als in y-richting van grote invloed is op het uiteindelijke resultaat;
- op de proeven C-1 en C-2 na, voldoen de proeven niet aan de gestelde eis, die is weergegeven in VAN GENT EN SPAAN, 1998;
- uit proef C-0 blijkt dat zich al een aanzienlijke hoeveelheid holle ruimte tussen de eerste onderlaag en de laag kubussen bevindt, ongeveer 12,5%.

11 Serie D/E/F: Afschuiven van meerdere kubussen tegelijk

11.1 Inleiding

Het voordeel van het afschuiven van kubussen met een schuifstorter ten opzichte van het storten van kubussen met een kraan(schip) is, dat er met een schuifstorter meerdere kubussen tegelijk kunnen worden afgeschoven, wat een aanzienlijke tijdsbesparing kan opleveren. In dit hoofdstuk wordt gekeken of het mogelijk is om meerdere kubussen tegelijk af te schuiven en welke processen hierbij een rol spelen. Er wordt voornamelijk gekeken naar de spreiding die de kubussen hebben ondergaan als deze op de bodem liggen ten opzichte van de positie vanwaar ze afgeschoven zijn. Het hoofdstuk bevat de uitwerking van verschillende uitgevoerde series, deze series zijn:

- Serie D: afschuiven van meerdere kubussen tegelijk zonder tussenafstand;
- Serie E: afschuiven van meerdere kubussen tegelijk met een tussenafstand
- Serie F: afschuiven van meerdere kubussen tegelijk en met een verkleinde waterdiepte.

Tijdens de uitvoering van de proeven zijn de volgende parameters gelijk gehouden;

- kubussen : $D_k = 0,15 \text{ m}$;
- maximale waterdiepte : $11 \text{ à } 12 \cdot D_k \text{ en } 8 \cdot D_k$;
- valhoogte : $27,5 \text{ cm}$;
- oriëntatie : 90° t.o.v. de x-as en y-as;
- methode van de stort : van het talud af;
- aantal kubussen tegelijk : variabel.

Vooraf wordt bepaald waar en hoeveel kubussen er tegelijk worden afgeschoven met het model van de schuifstorter. Tijdens het uitvoeren van eerste proeven van serie D bleek al, dat de kubussen een grote spreiding ondergaan als ze tegelijk afgeschoven werden. Ook werd duidelijk dat het bijna willekeurig is of de kubussen wel of niet helemaal tegelijk worden afgeschoven. Daardoor worden de volgende eisen gesteld aan de uitvoering van de series:

- Alleen kubussen die (bijna) volledig tegelijk zijn afgeschoven worden in de resultaten van de serie meegenomen;
- van deze kubussen worden in ieder geval de twee buitenste kubussen ingemeten, teneinde de spreiding te kunnen bepalen;
- met behulp van deze metingen wordt een dimensieloze spreidingsparameter (S) bepaald.

11.2 Spreidingsparameter

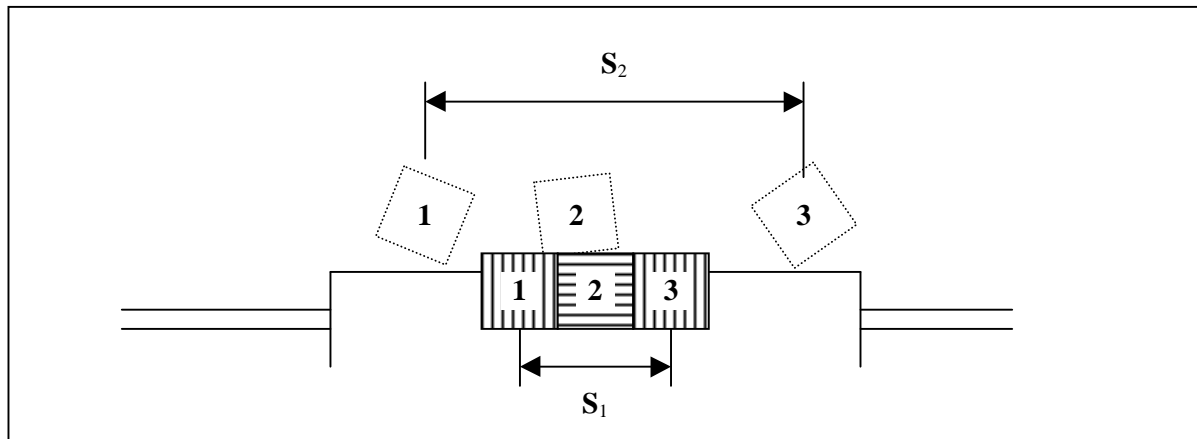
Zoals gesteld is de spreidingsparameter een tijdens dit onderzoek gedefinieerde parameter. Deze parameter geeft de spreiding weer tussen kubussen op een bodem ten opzichte van de oorspronkelijke positie van de afgeschoven kubussen. De spreidingsparameter is als volgt gedefinieerd:

$$S = \frac{S_2}{S_1} \quad (11.1)$$

hierin is

S	=	spreidingsparameter [-];
S_1	=	horizontale afstand tussen de zwaartepunten van de buitenste kubussen voordat ze zijn afgeschoven [cm];
S_2	=	horizontale afstand tussen de zwaartepunten van de buitenste kubussen nadat ze zijn afgeschoven [cm].

In figuur 11.1 is schematisch aangegeven hoe de bovenstaande parameter bepaald wordt.



Figuur 11.1 Schematisatie spreidingsparameter

De bepaling van de verplaatsingen van de zwaartepunten van de kubussen wordt uitgevoerd met de peilstok, die de vier hoekpunten van de afgeschoven kubussen bepaalt, waarvan dus het zwaartepunt bepaald kan worden.

In de onderstaande paragrafen zijn de verschillende series achtereenvolgens beschreven.

11.3 Serie D: Meerdere kubussen tegelijk zonder tussenafstand

In deze serie worden verschillende hoeveelheden kubussen tegelijk af geschoven zonder tussenafstand, zodat de kubussen direct naast elkaar op de schuifstorters zijn geplaatst.

In tabel 11-1 is aangegeven hoeveel kubussen er per proef zijn afgeschoven, ook is het aantal herhalingen van een proef aangegeven:

Proefnummer	Aantal tegelijk afgeschoven kubussen	Aantal herhalingen:
D-1	Twee	3
D-2(a)	Drie	4
D-3(a)	Vier	4
D-4(a)	Vijf	4
D-5(a)	Zeven	2

Tabel 11-1 Overzicht uitgevoerde proeven tijdens serie D

In bijlage M-1 zijn de resultaten van de serie weergegeven.

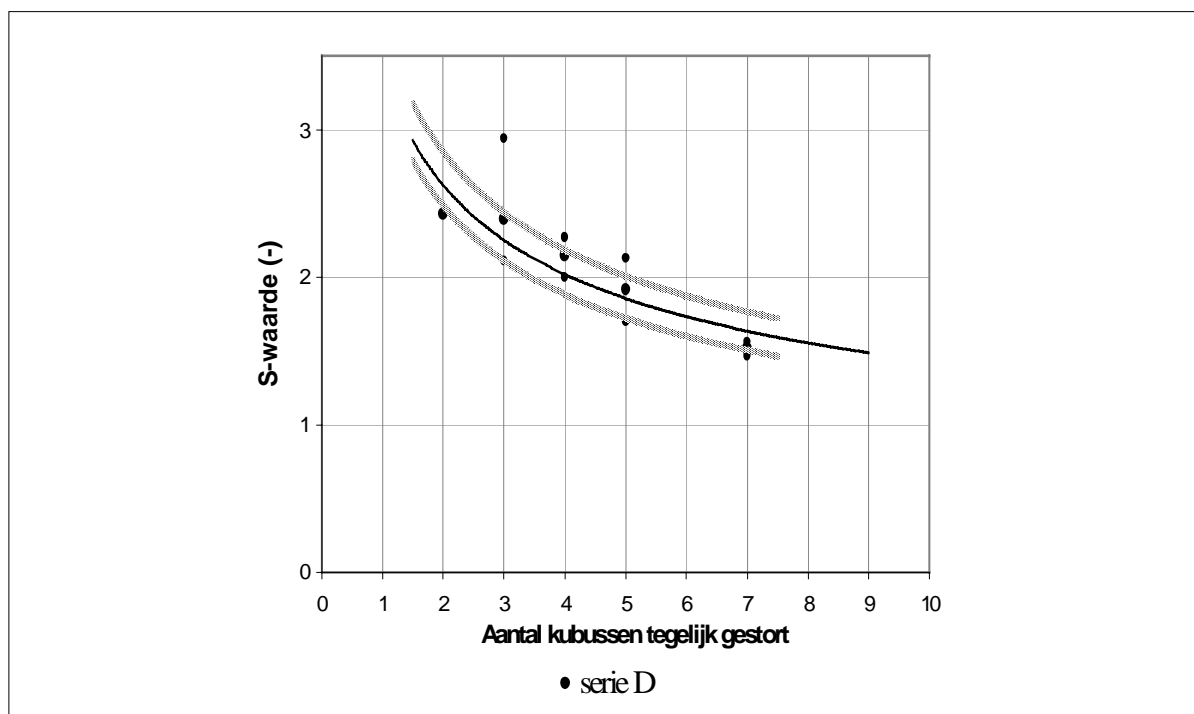
Tijdens de proeven zijn er verschillende video-opnamen gemaakt (in de y-richting van de golfbreker). Uit deze opnamen bleek heel duidelijk dat de buitenste kubussen van het aantal dat gestort werd op den duur gingen roteren om de zwaartepuntsas van de kubus in de y-richting. Dit komt waarschijnlijk door de waterversnelling die naast deze kubussen ontstaat. In bijlage M-2 is een fotoserie weergegeven van proef D-1, waarin twee kubussen afgeschoven zijn. Duidelijk is te zien dat de kubussen van elkaar wegdraaien en zo een grote spreiding zullen bereiken. Uit de video-opnamen van de kubussen die niet tegelijk vallen, blijkt dat deze draaiing niet of in veel mindere mate optreedt en dus resulteert in een kleinere spreiding. Dit blijkt ook uit de resultaten in de bijlage M-1.

In tabel 11-2 zijn alle resultaten van de tegelijk afgeschoven kubussen nog eens overzichtelijk weergegeven.

Proefnummer:	Aantal tegelijk afgeschoven	S-waarde [-]	Gemiddelde S-waarde [-]
D-1	Twee	2,43 2,43	2,43
D-2	Drie	2,36	2,40
D-2a		2,11 2,17 2,94	
D-3		2,17	
D-3a	Vier	2,00 2,27	2,15
D-4		2,13	
D-4a	Vijf	1,7	1,92
D-5	Zeven	1,56	1,52
D-5a		1,47	

Tabel 11-2 Overzicht van de resultaten van serie D

In figuur 11.2 is de grafiek van de resultaten van serie D, grafisch weergegeven. De licht gearceerde lijn geeft de spreiding in de gevonden waarden weer



Figuur 11.2 Grafische weergave spreidingsparameter

Uit de grafiek blijkt dat de gevonden waarden ongeveer op een rechte lijn liggen, die een negatieve richtingscoëfficiënt heeft. Dit houdt in dat het aantal kubussen van invloed blijkt te zijn op de spreiding. Door het beperkte aantal metingen is de nauwkeurigheid van de gevonden resultaten niet

bekend. Ook kunnen er niet meer kubussen op het model geplaatst worden en kan dus ook niet bepaald worden of de grafiek rechtlijnig door zal lopen.

Verder kan opgemerkt worden dat de spreiding niet minder kan worden dan één. Daardoor wordt verwacht dat de grafiek zich dan ook asymptotisch naar deze waarde zal gaan bewegen.

Conclusies van serie D

Uit de uitvoering van serie volgen de volgende conclusies:

- Net als in de praktijk, zie het praktijkonderzoek naar de reconstructie van de golfbreker te Arzew (§3.2), is het niet altijd mogelijk om meerdere kubussen allemaal tegelijk te laten vallen;
- Als de kubussen wel tegelijk vallen, ontstaat een grote spreiding die waarschijnlijk afhankelijk is van het aantal afgeschoven kubussen;
- Als de kubussen niet tegelijk vallen, blijkt uit de resultaten dat de spreidingen veel kleiner zijn en richting 1,0 gaan;
- Door het onvoorspelbare gedrag van de kubussen (het wel of niet tegelijk vallen) en de grote spreidingswaarde wordt het moeilijk geacht om op deze manier een totale laag te storten, met een grote plaatsingsdichtheid;
- Het is niet duidelijk wat het effect is van een nog grotere hoeveelheid kubussen, wat in de praktijk wel mogelijk is, op de spreiding;
- Wellicht is het mogelijk om door een tussenafstand in te voeren de spreiding van de kubussen te verminderen. Hierdoor kan het wel mogelijk worden om met meerdere kubussen tegelijk een totale laag met een goede plaatsingsdichtheid te storten.

11.4 Serie E: Meerdere kubussen tegelijk met tussenafstand

Verwacht wordt dat de tussenafstand van invloed is op de spreidingsparameter. Door de afstand tussen de vallende kubussen, zal niet alleen aan de buitenkant van de gestorte rij, maar ook tussen de kubussen een stroming ontstaan, die de kubus waarschijnlijk belet om te gaan roteren. In deze serie wordt geprobeerd de optimale tussenafstand van de kubussen te bepalen. In tabel 11-3 zijn alle proeven van deze serie weergegeven.

Proefnummer	Aantal tegelijk afgeschoven kubussen	Tussenafstand (h.o.h.) [cm]	Aantal herhalingen:
E-1	Twee	3,0	3
E-2(a)	Drie	5,0	5
E-3	Drie	4,0	2
E-4	Drie	6,0	2

Tabel 11-3 Overzicht uitgevoerde proeven tijdens serie E

Uit de resultaten blijkt dat het tijdens de uitvoering van deze proeven haast niet mogelijk was om de kubussen tegelijk af te schuiven. Slechts in enkele gevallen worden ze exact gelijk afgeschoven en vallen ze naast elkaar naar de bodem. Door de tussenafstand is er geen wrijving meer tussen de kubussen en zullen ze sneller één voor één afschuiven, dit in tegenstelling tot serie D waar de kubussen elkaar ‘mehelpen’ en zodoende vaker tegelijk vallen.

Er zijn alleen metingen verricht van de afgeschoven kubussen als deze grotendeels tegelijk afgeschoven zijn. De resultaten van deze serie zijn weergegeven in tabel 11-4.

Proefnummer	Aantal tegelijk afgeschoven	Tussenafstand (h.o.h.) [cm]	S-waarde	Gemiddelde S-waarde	Totaal gemiddelde
E-2	Drie	5,0	1,93	2,20	2,0
E-2a	Drie	5,0	2,38		
E-3	Drie	4,0	1,78	1,78	
E-4	Drie	6,0	1,96	1,96	

Tabel 11-4 Resultaten serie E

Er zijn maar vier proeven uitgevoerd met kubussen die tegelijk vallen, dat is 33% van het totale aantal uitgevoerde proeven. Doordat voor één proef de hele bak met water moet worden vol gezet en vervolgens ook weer helemaal geleegd, is dit een zeer tijdrovende proef. Mede daardoor zijn er tijdens de serie niet meer proeven uitgevoerd.

Conclusies van serie E

De conclusies van deze serie zijn:

- Het is tijdens de uitvoering van deze serie niet zinvol gebleken om de proeven verder te herhalen, zodat er geen duidelijke conclusies aan deze serie kunnen worden verbonden. Wel kan gesteld worden dat;
- het totale gemiddelde van de uitgevoerde proef is duidelijk minder dan de gevonden waarde van de spreidingsparameter bij drie kubussen zonder tussenafstand (zie tabel 10-2). Dit is mogelijk het resultaat van de toegepaste tussenafstand, zodat de gestelde hypothese: toepassing tussenafstand vermindering van de spreiding: geldig lijkt;
- kubussen met een tussenafstand kunnen haast niet tegelijk worden afgeschoven in de modelsituatie, dan zal dit in de praktijk waarschijnlijk al helemaal niet lukken, doordat het schip tijdens het storten niet helemaal stil ligt;
- het verwachte verband tussen de grootte van de tussenafstand en de spreiding kan in deze serie niet duidelijk worden aangetoond.

11.5 Serie F: meerdere kubussen tegelijk met een verkleinde waterdiepte

In de voorgaande paragraaf is gesteld dat er tijdens de val van meerdere kubussen tegelijk een rotatie van de kubussen om de y-as van de buitenste kubussen optreedt. Deze rotatie heeft waarschijnlijk enige tijd nodig om zich in te stellen. Tijdens deze tijd valt de kubus dus over een bepaalde afstand. Door nu de waterdiepte te verkleinen hebben de kubussen wellicht geen tijd om een rotatie te ontwikkelen en dus zal de spreidingsparameter kleiner zijn dan bij een grotere waterdiepte. In deze serie zal deze hypothese getoetst worden.

Deze serie wordt met dezelfde configuratie uitgevoerd als serie D, alleen nu met een verkleinde waterdiepte van ongeveer 1,25 m.

In tabel 11-5 is een overzicht gegeven van de uitgevoerde proeven en het aantal herhalingen van een configuratie.

Proefnummer	Aantal tegelijk afgeschoven kubussen	Aantal herhalingen:
F-1(a)	Twee	6
F-2(a)	Drie	6
F-3(a)	Vier	4
F-4(a)	Vijf	2

Tabel 11-5 Overzicht uitgevoerde proeven tijdens serie F

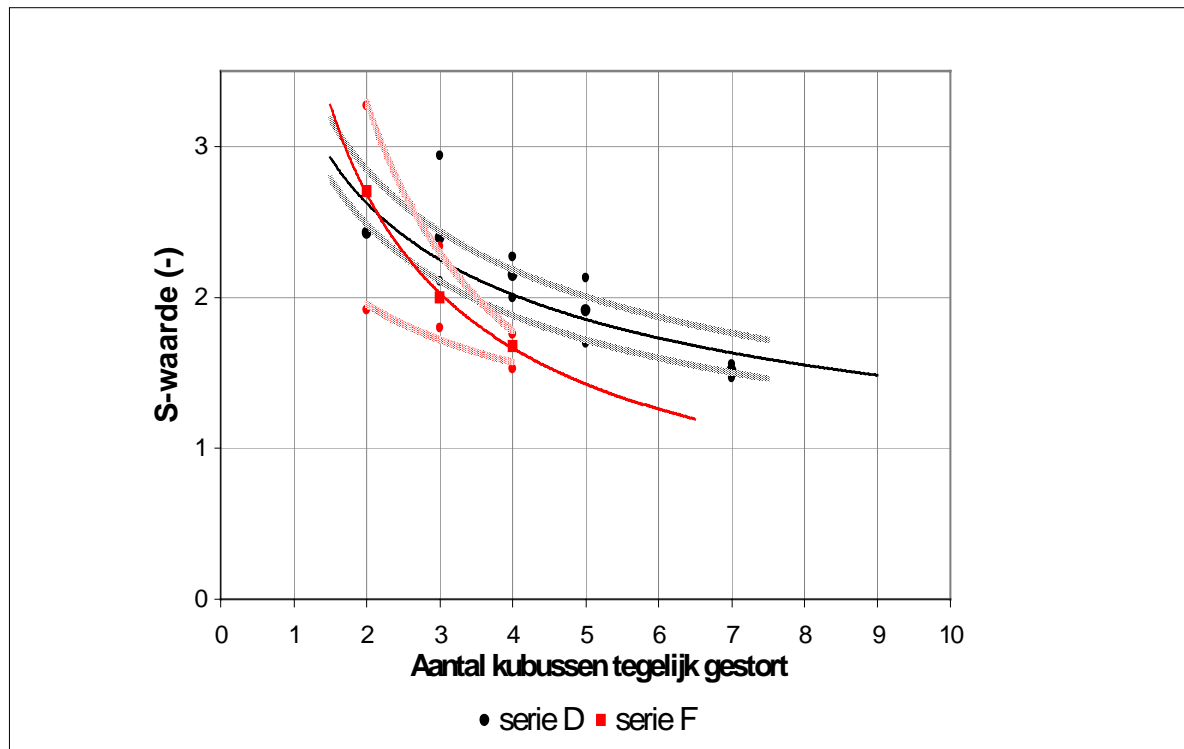
Uit de resultaten blijkt dat de kubussen tijdens deze serie weer beter tegelijk vallen, waarschijnlijk dus door de onderlinge wrijving tussen de kubussen. Er zijn van deze serie geen video-opnamen en foto's gemaakt, omdat de kubussen letterlijk uit het water gevist zijn met een klem, zodat de bak niet steeds gevuld en leeggemaakt hoeft te worden. Door de reflectie van het water was het niet mogelijk om foto's te maken van de resultaten.

De resultaten van de proef zijn weergegeven in tabel 11-6.

Proefnummer:	Aantal tegelijk afgeschoven	S-waarde [-]	Gemiddelde S-waarde [-]
F-1	Twee	3,27	2,70
F-1a		2,90	
		1,92	
F-2	Drie	2,80	
		2,47	
F-2a		2,85	
		1,95	
F-3		Vier	1,80
	2,05		
F-3a	1,87		
	2,34		
F-4	Vijf	Niet uitgepeild	1,68

Tabel 11-6 Overzicht van de resultaten van serie D

Ook deze resultaten zijn grafisch uitgezet, in figuur 11.3. In deze figuur zijn de resultaten van serie D ook opgenomen. Ook hier geven de lichtgearceerde lijnen de spreiding van de resultaten weer.



Figuur 11.3 Resultaten van serie F ten opzichte van serie D

Uit de grafiek blijkt dat de resultaten die gevonden zijn voor drie en vier tegelijk gestorte kubussen tijdens serie F kleiner zijn dan voor serie D, echter, de S-waarde is voor twee kubussen groter ten opzichte van het resultaat van serie D. In de grafiek is een lijn door de twee puntenseries getekend die een asymptotische lijn goed benaderd. Uit deze lijn blijkt dat de waarden ongeveer naar de minimum waarde van 1,0 gaan. Door meer proeven te doen zal wellicht een beter resultaat verkregen worden.

Conclusies van serie F

Uit serie F kunnen een aantal conclusies worden getrokken, deze zijn:

- De hypothese dat een kleinere waterdiepte voor een kleinere spreiding zorgt, blijkt juist te zijn;
- uit het resultaat van het storten van twee kubussen blijkt dat de spreiding bij een kleinere waterdiepte groter is dan bij een groter waterdiepte. Dit kan komen door onnauwkeurigheden in de metingen of door het feit dat de kubus net iets gedraaid is en door het contact met de bodem als het ware verder wegdraait. Doordat er geen video-opnamen van de proeven zijn gemaakt, is dit niet nader te analyseren;
- de spreiding die tijdens deze proef ontstaat, is nog steeds te groot om een goede laag te storten;
- ook het effect van nog meer kubussen tegelijk storten op de grootte van de spreiding kan hier niet met het model bepaald worden.

11.6 Algemene conclusies van de series D, E en F

Uit de in dit hoofdstuk beschreven series D, E en F zijn de volgende algemeen geldende conclusies te verbinden.

- Kubussen, die naast elkaar op het model staan, worden volkomen willekeurig in het water gestort.
- Als de kubussen wel tegelijk afgeschoven worden, zal een zeer grote spreiding ontstaan.
- Door deze spreiding is het in dit onderzoek onmogelijk om op deze manier een totale laag kubussen te storten omdat zo geen goede laag met een acceptabele plaatsingsdichtheid zal kunnen ontstaan.
- De tussenafstand en de waterdiepte en het aantal kubussen lijken er voor te zorgen dat de spreiding van de kubussen wordt verminderd.
- Tijdens de proeven is gebleken dat het tegelijk storten van kubussen met een bepaalde tussenafstand haast niet lukt; door de kubussen tegen elkaar aan te zetten wordt het resultaat wel beter, maar is nog steeds erg onregelmatig.
- Het is niet duidelijk wat het effect is van het tegelijk storten van grote hoeveelheden kubussen (meer dan zeven), zoals in de praktijk met een zijschuifstorter mogelijk is, op de spreiding van de kubussen. Aangenomen wordt dat de spreidingsparameter verder af zal nemen en tot één zal naderen.

Door deze resultaten is het dus niet direct uitgesloten om met een schuifstorter een enkele laag kubussen op een golfbreker aan te brengen, maar zullen nog aanvullende proeven met meerdere kubussen moeten worden uitgevoerd. Ook is het denkbaar dat er een bepaalde constructie wordt bedacht die ervoor zorgt dat de kubussen exact tegelijk overboord zullen vallen, ook als deze kubussen een bepaalde tussenafstand hebben; maar dit valt buiten het bereik van dit onderzoek. Een andere meer reëlere manier is het gefaseerd overboord schuiven van de kubussen, door middel van bijvoorbeeld afstandhouders, zodat de kubussen na elkaar in het water vallen, waardoor de vallende kubussen geen effect op elkaars valbeweging hebben.

12 Serie G: Storten van totale laag met een verkleinde waterdiepte

12.1 Inleiding

Uit de voorgaande series is gebleken dat het tegelijk storten van meerdere kubussen tegelijk, ongeacht de tussenafstand, niet goed uitgevoerd kan worden. Er is verder gesteld dat het daardoor niet direct onmogelijk is om met een zijschuifstorter een enkele laag kubussen op een golfbreker aan te brengen. De kubussen kunnen namelijk verschoven op het dek worden gezet, zodat ze als het ware één voor één overboord worden geschoven, zodat ze elkaar tijdens de val niet beïnvloeden.

In deze serie zijn de kubussen daarom ook weer één voor één afgeschoven, op dezelfde manier als in serie C, maar nu met een verkleinde waterdiepte. Verwacht wordt dat door deze verkleinde diepte de individuele afwijkingen van de kubussen ten opzichte van de verticaal minder zijn dan bij een grote waterdiepte wat uiteindelijk de bereikte porositeit en plaatsingsdichtheid ten goede zou kunnen komen.

De valhoogte die toegepast is, komt overeen met de praktijk, wanneer van een modelschaal van 1:10 wordt uitgegaan. Uit bijlage D-1 blijkt dat het dek van een schuifstorter een hoogte van 2,0 m boven het wateroppervlak kan bereiken. De valhoogte van een kubus ($D_{k,praktijk} = 1,5$ m) wordt daardoor in de praktijk ($2,0 \text{ m} + \frac{1}{2} \cdot D_{k,praktijk} =$) 2,75 m. Wat tijdens de proeven neerkomt op een valhoogte van 27,5 cm.

Tijdens de uitvoering van de proeven zijn de volgende parameters gelijk gehouden;

- kubussen : $D_k = 0,15$ m;
- maximale waterdiepte : $8 \cdot D_k$;
- valhoogte : 27,5 cm;
- oriëntatie : 45° t.o.v. de x-as en y-as;
- methode van de stort : van het talud af;
- volgorde van stort : per rij in x-richting;
- patroon van de stort : halfsteensverband.

Tijdens twee van de proeven is de gestorte laag niet alleen uitgepeild met de volgens de theorie te gebruiken grote halve bol, maar ook met de kleine halve bol. Dit om het verschil in het uiteindelijke resultaat van de porositeit en de plaatsingsdichtheid te onderkennen. Deze proeven worden aangeduid met de toevoeging 'klein', bijvoorbeeld proef 'G-1-klein'.

12.2 Tussenafstanden

Ook tijdens deze serie worden de tussenafstanden van de kubussen gevarieerd, maar alleen in de y-richting. In de x-richting wordt de tussenafstand gelijk gesteld aan de theoretisch bepaalde waarde van 12,5 cm, zie §10.2. Alleen als zal blijken dat deze afstand niet voldoet, zal deze aangepast worden.

Doordat er tijdens de uitvoering van deze serie per proef niet zoveel kubussen gestort worden, kunnen er relatief snel veel proeven gedaan worden. Daardoor is besloten om de tussenafstanden in de x-richting steeds met één centimeter te vergroten, zodat een duidelijk beeld ontstaat van het effect van de tussenafstand. Verder zijn van de meeste varianten twee proeven uitgevoerd, om een beeld te krijgen van de spreiding van de resultaten. De tweede variant met dezelfde proefconfiguratie is aangegeven door de toevoeging 'a', bijvoorbeeld proef G-1a.

In tabel 12-1 is per proef aangegeven wat de tussenafstanden (x- en y-richting), die tijdens deze serie worden toegepast.

Proefnummer:	Tussenafstanden	
	y-richting [cm]	x-richting [cm]
G-1 G-1a	12,5	17,0
G-2 G-2a	12,5	18,0
G-3	12,5	19,0
G-4 G-4a	12,5	20,0
G-5 G-5a	12,5	21,0
G-6	12,5	22,0

Tabel 12-1 Overzicht tussenafstanden van serie G

12.3 Bevindingen en resultaten van de proeven

In deze paragraaf worden kort de bevindingen van de verschillende proeven beschreven, waarna een overzicht gegeven wordt van de belangrijkste resultaten van deze proeven. Al de resultaten van de proeven en de gemaakte foto's zijn weergegeven in bijlage N-1 tot en met N-10.

Proef G-1 en G-1a

Zoals verwacht blijkt deze tussenafstand te klein. Dit is vooral goed zichtbaar in het aantal dubbel geplaatste kubussen; ongeveer 20% van de gestorte kubussen is uiteindelijk dubbel komen te liggen, zie bijlage N-1 en N-2. Door deze grote hoeveelheid dubbel geplaatste kubussen ontstaan veel gaten die opgevuld zijn met de kubussen uit de vorige laag, wat resulteert in een rommelige laag, waar de kleurenbanden bijna niet terug te vinden zijn. Dit is ook terug te zien in de uiteindelijke porositeit en plaatsingsdichtheid. Wat wel opvalt is dat de onderlinge resultaten van de twee proeven, zowel visueel als getalsmatig, zeer weinig van elkaar verschillen.

Proef G-2 en G-2a

Ook deze tussenafstand bleek gezien het aantal dubbel geplaatste kubussen (22%) niet groot genoeg, zie bijlage N-3 en N-4. De spreiding in de getallen is tijdens deze twee proeven wel groter dan tijdens de voorgaande, maar dit is mogelijk het resultaat van een gemaakte fout in proef G-2, waar twee kubussen gestort zijn op een verkeerde plaats (10,0 cm verschoven ten opzichte van het stortplan).

Proef G-3

Deze proef is maar één keer uitgevoerd. Uit het aantal kubussen dat dubbel is geplaatst (15%) is al wel duidelijk dat de grotere tussenafstand invloed heeft, maar nog is dit percentage te groot, waardoor er nog geen bevredigend resultaat wordt verkregen. Wat uit de resultaten is op te merken is dat de kubussen nu niet meer ver weggantelen, zoals tijdens de voorgaande proeven, maar nu net naast de voorganger kantelen. Hierdoor ontstaan relatief veel kleinere gaten, maar neemt het aantal dubbel geplaatste kubussen af. Dit is eveneens duidelijk ten zien op de foto, die gemaakt is van deze proef, zie bijlage N-5.

Proef G-4 en G-4a

Deze tussenafstand is ook het meest gebruikt tijdens serie C, en geeft hier ook het beste resultaat. Het percentage dubbel geplaatste kubussen is verder gedaald tot 10%. Ook is het aantal gaten dat in de laag voorkomt aanzienlijk verminderd. De porositeit en plaatsingsdichtheid zitten nu ongeveer op het in VAN GENT EN SPAAN, 1998, gestelde niveau voor toepassing van een stabiele laag. Voor de resultaten zie bijlagen N-6 en N-7.

Proef G-5 en G-5a

Het percentage dubbel geplaatste kubussen is verder gedaald tot ongeveer 6%. Wel is weer duidelijker te zien dat het aantal gaten verder is toegenomen en dat deze gaten gemiddeld ook groter zijn. Door deze gaten is de porositeit en de plaatsingsdichtheid ten opzichte van de vorige proef minder geworden. Voor de resultaten zie bijlagen N-8 en N-9.

Proef G-6

Verwacht werd dat deze proef weer een minder resultaat zou opleveren. Dit blijkt ook duidelijk uit de resultaten, zodat deze proef omwille van de tijd niet herhaald is. Uit de resultaten bleek namelijk dat het percentage dubbele verder afgenomen is tot 4%, maar dat het aantal gaten vermeerderd is en dat deze ook weer groter zijn geworden, wat direct ten koste gaat van de plaatsingsdichtheid. Voor de resultaten zie bijlage N-10.

Proef G-1a-klein en G-2a-klein

Zoals gesteld is, zijn de proeven G-1a en G-2a ook uitgepeild met de kleine bol. Het resultaat is, zoals verwacht, dat de gemiddelde laagdikte kleiner wordt, wat van invloed is op de uiteindelijke porositeit. De laagdikte neemt af met respectievelijk 5,9 mm en 8,5 mm. Het effect op de porositeit is dat deze ook afneemt. Voor de resultaten van proef G-1a-klein en G-2a-klein, zie respectievelijk bijlage P-1 en P-2.

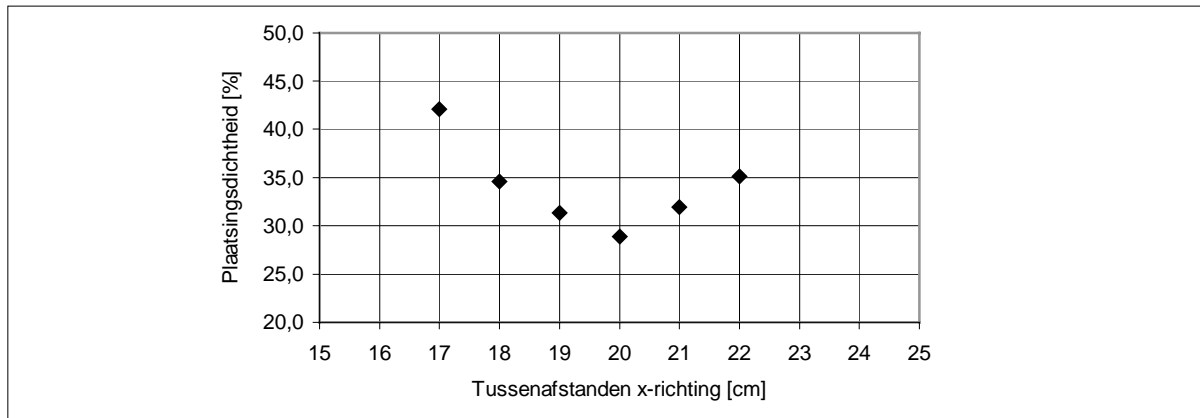
12.4 Overzicht van de belangrijkste resultaten

In tabel 12-2 zijn de belangrijkste resultaten van deze serie weergegeven. Naast de bepaalde gemiddelde porositeit en plaatsingsdichtheid is ook het percentage dubbel geplaatste kubussen en de gemiddelde laagdikte weergegeven.

Proefnr:	Tussenafstand x-richting [cm]	Dubbeln [%]	Porositeit		Plaatsingsdichtheid		Gemiddelde laagdikte [mm]
			[%]	Gem.	[%]	Gem.	
G-1	17,0	19,0	38,8	39,0	68,0	68,0	166,4
G-1a	17,0	22,4	39,1		67,9		167,1
G-2	18,0	22,4	40,8	41,9	66,6	65,5	168,8
G-2a	18,0	22,4	43,0		64,3		169,1
G-3	19,0	14,5	37,5	37,5	68,7	68,7	164,9
G-4	20,0	10,0	35,2	35,0	70,6	71,2	163,2
G-4a	20,0	9,4	34,8		71,7		164,6
G-5	21,0	4,0	36,6	38,2	69,3	67,9	164,6
G-5a	21,0	8,0	39,7		66,5		165,3
G-6	22,0	4,2	38,6	38,6	64,9	64,9	158,6

Tabel 12-2 Resultaten van serie G

In figuur 12.1 is een grafiek weergegeven waar de gemiddelde plaatsingsdichtheid uit bovenstaande grafiek is uitgezet tegen de tussenafstand in de x-richting. De plaatsingsdichtheid is hier zo weergegeven als “effectieve porositeit van een toplaag”, zie §3.3, en dus volgens de terminologie van VAN GENT EN SPAAN, 1998, 100% minus de gevonden gemiddelde plaatsingsdichtheden uit tabel 12-2.



Figuur 12.1 Plaatsingsdichtheid versus tussenafstand in de x-richting

Uit de grafiek blijkt dat er in de gevonden punten een redelijk parabolisch verloop gezien kan worden. Verwacht wordt dat dit alleen voor het linker gedeelte van de grafiek, links van het minimum zal gelden. Verwacht wordt dat er bij toenemende tussenafstand geen dubbel geplaatste kubussen zullen ontstaan en dat de kubussen elkaar dan niet meer zullen beïnvloeden. Daardoor zal de plaatsingsdichtheid recht evenredig toenemen met de toenemende tussenafstand en zal de grafiek dus rechtlijnig doorlopen.

In tabel 12-3 zijn de resultaten van de proeven die uitgevoerd zijn met een kleine halve bol naast de resultaten van de uitpeiling met de grote halve bol weergegeven.

	G-1a-klein	G-1a	verschil	G-2a-klein	G-2a	verschil
Gem. laagdikte [mm]	161,2	167,1	5,9 mm	160,6	169,1	8,5 mm
Porositeit (gem.) [%]	36,9	39,1	2,2%	40,0	43,0	3%

Tabel 12-3 Resultaten van de uitpeiling met de kleine halve bol

Het blijkt dus duidelijk dat een kleinere laagdikte een kleinere porositeit ten gevolg heeft, en dat dit verschil in de orde van 2 à 3% ligt.

12.5 Conclusies van de serie

Uit de resultaten van de serie volgen enkele conclusies. Deze zijn:

- Uit de grafiek in figuur 12.1 blijkt heel duidelijk dat het beste resultaat, gekeken naar de porositeit en de plaatsingsdichtheid, bereikt wordt bij een tussenafstand van 20,0 cm in de x-richting;
- het percentage dubbel geplaatste kubussen is sterk bepalend voor het uiteindelijke resultaat. Wel moet opgemerkt worden dat hier een minimum aan verbonden is;
- ook het aantal gaten en de grootte ervan is van groot belang op het uiteindelijke resultaat, ook hier is een bepaald maximum aan verbonden;
- dus kan concluderend gesteld worden dat het percentage dubbele enerzijds en het aantal gaten anderzijds bepalend is voor het uiteindelijke resultaat. In de praktijk zal geprobeerd worden het aantal dubbel gestorte kubussen zoveel mogelijk te beperken om zo min mogelijk materiaal en uitvoeringstijd te verliezen; aan de andere kant heeft het aantal gaten een direct negatief resultaat op het uiteindelijke resultaat, zodat een afweging tussen beide gemaakt moet worden. In een

optimalisatieproces moeten beide parameters betrokken worden om zo tot een optimale configuratie te komen;

- het beste resultaat dat gehaald wordt is dus een plaatsingsdichtheid van ruim 71% en een porositeit van 35%, dit voldoet net aan de gestelde eis in VAN GENT EN SPAAN, 1998, waarbij opgemerkt wordt dat tijdens de gebruiksfase deze laag nog iets zal inzakken en daardoor een open band in de gestorte laag, ter hoogte van de waterlijn, zal ontstaan, die na enige tijd misschien nog moet worden hersteld door het aanbrengen van extra kubussen;
- vergeleken met het resultaat van serie C, wordt opgemerkt dat er niet direct gesteld kan worden, dat bij een kleinere waterdiepte een beter resultaat gehaald kan worden;
- wat ook opvalt, is dat hoe groter de tussenafstand wordt des te kleiner de gemiddelde laagdikte wordt. Dit is mogelijk te verklaren door het feit dat de kubussen bij een grotere tussenruimte meer ruimte hebben om vlak op het talud te gaan liggen, zodat een kleinere laagdikte wordt bereikt;
- uit de uitpeiling met de kleine halve bol van een gestorte laag kubussen blijkt dat het verschil tussen de gevonden waarden erg groot is (2 à 3%), waarmee de methode van in- en uitpeiling van grote invloed lijkt op het uiteindelijke resultaat.

13 Serie H: Storten van totale laag onder oriëntatie van 45 graden

13.1 Inleiding

Deze serie is uitgevoerd met naast de tussenafstand in de x- en y-richting als extra variabele een oriëntatie van de kubussen ten opzichte van de x- en y-as van 45° . Uit het onderzoek van VAN DER VLIET, 2001, volgt dat deze manier van storten daar het beste resultaat oplevert. Ook nu zijn de kubussen één voor één afgeschoven. De kubussen zijn tijdens het afschuiven onder de hoek van 45° gehouden door een extra latje voor de schuif te plaatsen. Aan deze lat zijn vier V-vormige profielen bevestigd. Deze kunnen onafhankelijk van elkaar langs de lat worden geplaatst, waardoor de tussenafstand van de kubussen gevarieerd kan worden, zie foto A-6 in bijlage A.

Ook nu wordt er gestort boven een verkleinde waterdiepte en met de valhoogte van 27,5 cm. Doordat de kubussen nu onder een hoek op het talud komen te liggen, valt een kubus als het ware in een V-vorm die voortkomt uit de vorige laag. Er wordt verwacht dat, doordat de kubus als het ware in deze V-vorm schuift, een beter resultaat wordt bereikt dan bijvoorbeeld in serie G.

Tijdens de uitvoering van de proeven zijn de volgende parameters gelijk gehouden;

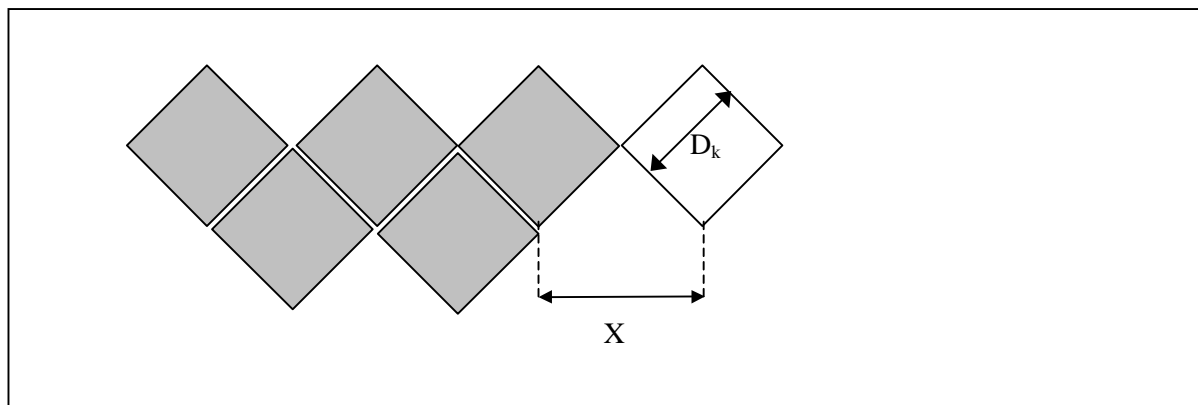
- kubussen : $D_k = 0,15$ m;
- maximale waterdiepte : $8 \cdot D_k$;
- valhoogte : 27,5 cm;
- oriëntatie : 45° t.o.v. de x-as en y-as;
- methode van de stort : van het talud af;
- volgorde van stort : per rij in x-richting;
- patroon van de stort : V-vorm.

Ook is tijdens deze series twee keer de gestorte laag uitgepeild met de kleine halve bol; dus ook nu kan het effect van de peilmethode op het uiteindelijke resultaat worden bepaald.

13.2 Tussenafstanden

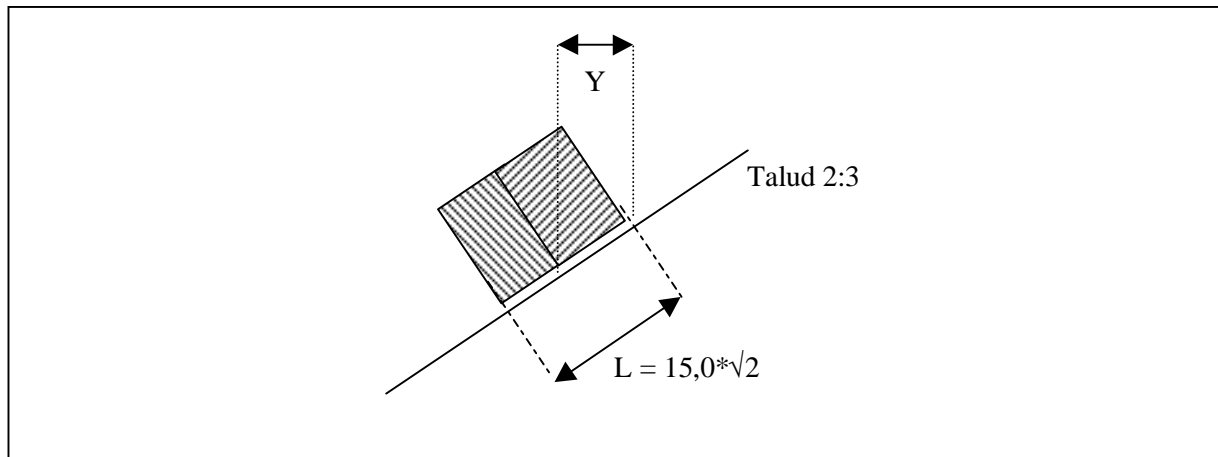
Tijdens deze serie worden de tussenafstanden van de kubussen weer gevarieerd. Maar er bleek al snel dat niet de tussenafstand in de x-richting bepalend was voor het resultaat, maar vooral de tussenafstand in de y-richting.

In figuur 13.1 is schematisch aangegeven hoe de kubussen in theorie zullen komen te liggen. De tussenafstand (X) tussen twee zwaartepunten van de kubussen is te berekenen; deze is 21,2 cm ($2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15,0 \cdot \sqrt{2}$). Gekozen is daarom voor een tussenafstand van 23,0 cm, zodat de kubussen nog iets kunnen afwijken.



Figuur 13.1 **Bepaling van de tussenafstand in x-richting**

In figuur 13.2 wordt een doorsnede gegeven van het talud waarop de kubus volledig vlak ligt. De aangegeven horizontale afstand is de theoretische tussenafstand in de y-richting, waaraan minimaal voldaan moet worden. Na enig rekenen wordt deze afstand gesteld op 8,8 cm. Dit wordt afgerond naar 9,0 cm.



Figuur 13.2 Bepaling van de tussenafstand in de y-richting

In tabel 13-1 is per proef aangegeven wat de tussenafstanden (x- en y-richting), die tijdens deze serie worden toegepast.

Proefnummer:	Tussenafstanden	
	x-richting [cm]	y-richting [cm]
H-1 H-1a	23,0	9,0
H-1b	23,0	1 ^{ste} rij 12,5, daarna 10,0 cm
H-2 H-2a	23,0	10,0
H-2b	23,0	10,5
H-3 H-3a	23,0	11,0
H-4	23,0	12,0

Tabel 13-1 Overzicht tussenafstanden van serie H

13.3 Bevindingen en resultaten van de proeven

In deze paragraaf worden kort de gekozen configuratie en de bevindingen van de verschillende proeven beschreven waarna een overzicht gegeven wordt van de belangrijkste resultaten van deze proeven. Ook van deze serie zijn zowel de totale resultaten als de foto's weergegeven in de bijlagen, bijlage O-1 tot en met O-6.

Proef H-1, H-1a en H-1b

Tijdens deze drie proeven is begonnen met het variëren van de tussenafstand in de y-richting. Er is eerst gekozen voor de theoretisch bepaalde tussenafstand van 9,0 cm. Maar nadat deze configuratie twee keer is uitgevoerd bleek dat het enkele rijen duurde voordat de verwachte V-vorm zich heeft ingesteld, zie de foto's in de bijlagen O-1, O-2 en O-3. Omdat de kubussen tijdens de eerste rijen bij het raken van de bodem bijdraaien, liggen deze niet onder een hoek op de golfbreker. De consequentie hiervan is dat de theoretisch bepaalde tussenafstand voor de V-vorm nu veel te klein is, deze zou 12,5 cm moeten zijn. Hierdoor komen veel kubussen op de vorige rij te liggen, waardoor een slecht resultaat wordt verkregen.

In proef H-1b is geprobeerd, door de laag 'gezette' kubussen iets te draaien, het bijdraaien van de kubussen tijdens het storten van de eerste lagen te voorkomen. Ook is tijdens deze proef de tussenafstand van de eerste twee lagen gesteld op 12,5 cm en daarna een afstand van 9,0 cm. Zoals blijkt uit de foto, heeft dit geen voldoende effect gehad. De eerste twee rijen zijn nog volledig bijgedraaid.

Ondanks het bijdraaien van de kubussen is toch nog een zeer redelijk resultaat verkregen als gekeken wordt naar de bereikte porositeit en plaatsingsdichtheid. De fouten in de eerste rijen zijn dus goed gemaakt door de rest van de gestorte rijen. Dit scheidt mogelijkheden voor de volgende series.

Proef H-2, H-2a en H-2b

Tijdens deze proeven is de laag 'gezette' kubussen zover bijgedraaid dat er al een V-vorm is ontstaan, zie de foto's in bijlage O-4, O-5 en O-6. Hierdoor worden vermoedelijk de te verwachten inspeelrijen overgeslagen en kan direct een goede laag gestort worden. De tussenafstand in de y-richting van de proeven H-2 en H-2a is gesteld op 10,0 cm. Omdat uit de resultaten van deze proeven blijkt dat deze tussenafstand toch nog een groot percentage dubbel geplaatste kubussen oplevert, is de laatste proef, proef H-2b, uitgevoerd met een tussenafstand van 10,5 cm. Ook dit levert nog een te groot percentage dubbele.

Wel is zichtbaar dat de inspeelrijen grotendeels verdwenen zijn. Dit is ook duidelijk te zien in de bereikte porositeit en plaatsingsdichtheid.

Proef H-3 en H-3a

Door de tussenafstand in de y-richting nog verder te vergroten, naar 11,0 cm, wordt een nog beter resultaat bereikt. Het percentage dubbele wordt terug gebracht naar respectievelijk 2% en 6%. Ook het aantal gaten en de grootte van deze gaten is erg klein, zodat een zeer goede porositeit en plaatsingsdichtheid bereikt wordt. Waarschijnlijk is dit de optimale tussenafstand als er gestort wordt met een oriëntatie van 45°. De resultaten van deze proeven zijn weergegeven in bijlagen O-7 en O-8.

Proef H-4

Tijdens deze proef is de tussenafstand gesteld op 12,0 cm. Deze is duidelijk te groot. Door deze afstand schuift een kubus niet meer in de V-vorm en draait deze weer recht. In het resultaat is dan ook goed te zien dat de V-vorm zich in het geheel bijna niet meer instelt. Er ontstaan grote spleten en gaten tussen de kubussen, zie bijlage O-9. Ook de porositeit en plaatsingsdichtheid nemen ten opzicht van de vorige proeven duidelijk af.

Proef H-2klein en H-3klein

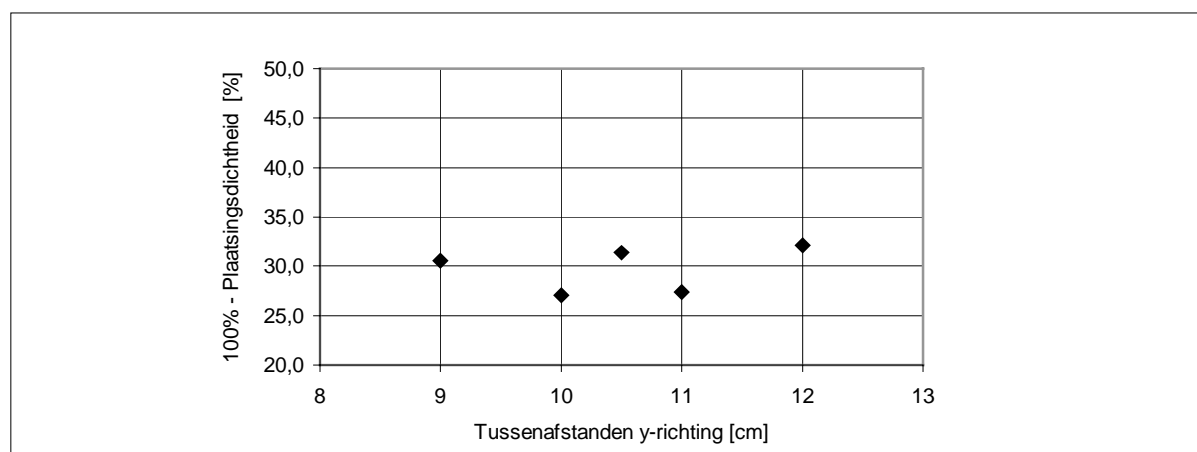
Ook hier is het resultaat van de uitpeiling met de kleine halve bol, dat er een kleinere laagdikte wordt gemeten. De laagdikte neemt nu af met respectievelijk 5,0 mm en 4,9 mm. Hierdoor zal ook nu de porositeit afnemen. Deze resultaten zijn weergegeven in bijlagen P-3 en P-4.

13.4 Overzicht van de belangrijkste resultaten

In tabel 13-2 zijn de belangrijkste resultaten van deze serie weergegeven. Naast de bepaalde gemiddelde porositeit en plaatsingsdichtheid is ook het percentage dubbel geplaatste kubussen en de gemiddelde laagdikte weergegeven.

Proefnr:	Tussenafstand y-richting [cm]	Dubbeln [%]	Porositeit		Plaatsingsdichtheid		Gemiddelde laagdikte [mm]
			[%]	Gem.	[%]	Gem.	
H-1	9,0	14,8	32,0	34,6	72,4	69,5	159,6
H-1a	9,0	24,1	37,1		66,6		158,9
H-1b	1 ^{ste} rij 12,5, daarna 10,0	11,1	36,7	36,7	67,7	67,7	160,2
H-2	10,0	3,7	33,1	33,8	73,8	73,0	165,3
H-2a	10,0	13,0	34,4		72,2		165,0
H-2b	10,5	9,3	37,5	37,5	68,7	68,7	164,7
H-3	11,0	1,9	30,9	32,9	74,9	72,7	162,4
H-3a	11,0	5,6	34,8		70,5		161,9
H-4	12,0	5,6	36,8	36,8	67,9	67,9	160,9

Tabel 13-2 Resultaten van serie H



Figuur 13.3 Plaatsingsdichtheid versus tussenafstand in de Y-richting

Uit de grafiek blijkt dat de meest gunstigste plaatsingsdichtheid volgt bij een tussenafstand in de y-richting van 10 à 11 cm. De waarde bij een tussenafstand van 10,5 cm ligt vrij ver van de optimale waarden vandaan. Deze proef is slechts één keer uitgevoerd en kan daardoor door omstandigheden een minder resultaat hebben gegeven. Dit is niet duidelijk terug te vinden in de resultaten.

In tabel 13-3 zijn de resultaten van de proeven die uitgevoerd zijn met een kleine halve bol naast de resultaten van de uitpeiling met de grote halve bol weergegeven.

	H-2klein	H-2	verschil	H-3klein	H-3	verschil
Gem. laagdikte [mm]	160,3	165,3	5,0 mm	157,5	162,4	4,9 mm
Porositeit (gem) [%]	31,0	33,1	2,0%	28,7	30,9	2,2%

Tabel 13-3 Resultaten van de uitpeiling met de kleine halve bol

Ook hier is het effect van de kleinere laagdikte op de porositeit duidelijk zichtbaar, zo'n 2%.

13.5 Conclusies van de serie

Uit deze serie volgen deze conclusies:

- Verwacht werd dat deze serie een aanmerkelijk beter resultaat zou geven dan serie G. Maar dat volgt niet direct uit de resultaten van de proeven met betrekking tot de plaatsingsdichtheid;
- Wel is er visueel een verbetering gekomen; de verschillende kubussen sluiten onderling veel beter op elkaar aan, zodat het aantal gaten sterk verminderd is;
- Deze methode van storten is vermoedelijk wel gevoeliger voor fouten. Draait tijdens de val een kubus niet voldoende in de V-vorm, dan zal deze kubus het voor een volgende rij moeilijk maken om toch weer het goede patroon te vormen;
- Uit de eerste proeven (H-1 en H-1a) blijkt dat, zonder dat er een V-vormig patroon aanwezig is deze zich na ongeveer 2 à 3 rijen toch blijkt in te stellen.
- Ook tijdens de uitvoering van deze proef zal nauwkeuriger moeten worden gewerkt, omdat één foutief gestorte kubus voor een fout kan zorgen die enkele rijen hogerop in het talud nog merkbaar is. Al geldt dit natuurlijk voor al de gestorte lagen met enkele kubussen.
- In vergelijking met de proeven van serie G valt op dat de gemiddelde laagdikte tijdens deze proef aanmerkelijk lager ligt. Dit zal een gunstig effect zal hebben op de behaalde porositeit. Dit blijkt ook wel uit de vergelijking van de waarden tussen beide series;
- Ook uit deze serie blijkt dat de uitgevoerde uitpeiling van de gestorte laag met de kleine halve bol een uiteindelijk verschil in porositeit van ongeveer 2% oplevert. Dus ook bij het storten van een laag onder een oriëntatie van 45° is de methode van in- en uitpeiling van groot belang op het uiteindelijke resultaat.

14 Plaatsingsdichtheid versus porositeit

14.1 Inleiding

In §7.4.3 is het verband tussen de plaatsingsdichtheid en de porositeit reeds beschreven. In dit hoofdstuk wordt van het theoretische en praktische verband tussen de porositeit en plaatsingsdichtheid gegeven aan de hand van de resultaten, die volgen uit dit onderzoek.

14.2 Plaatsingsdichtheid versus porositeit

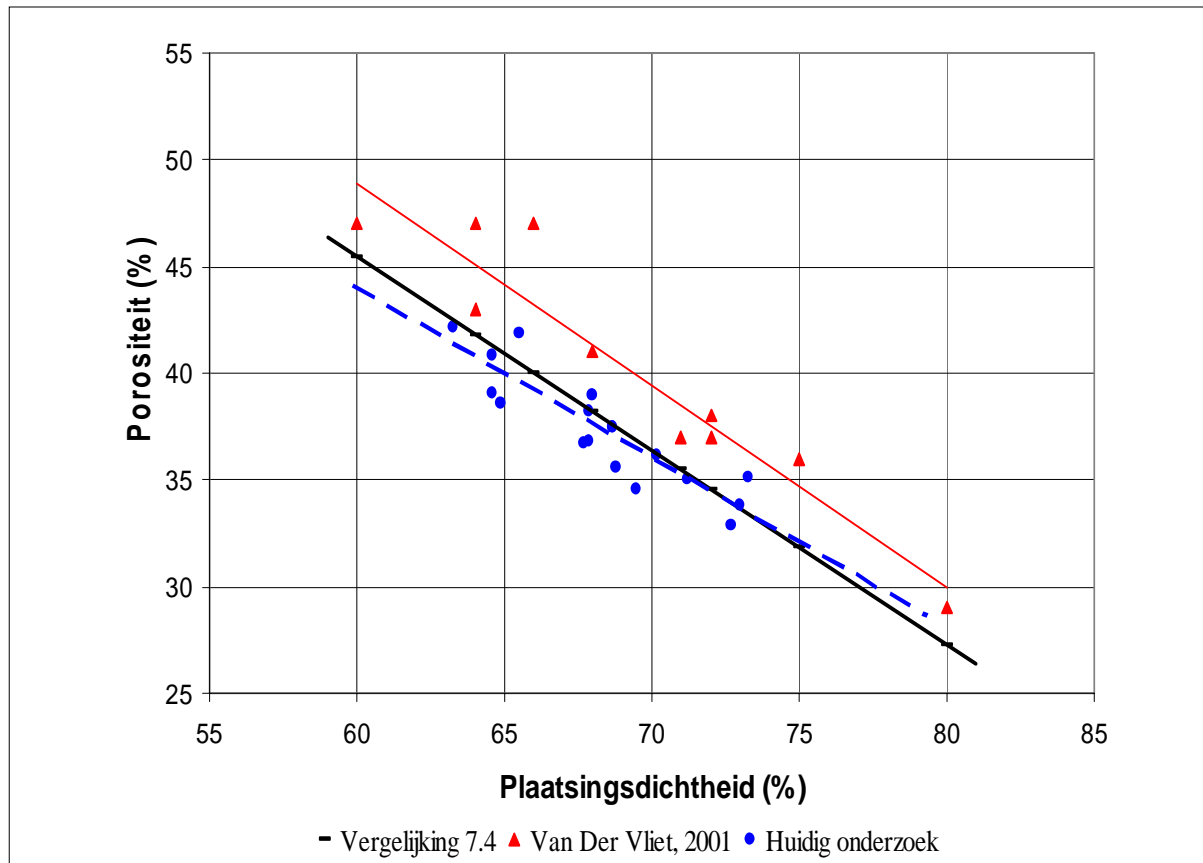
In de genoemde paragraaf, bleek dat het verband tussen de porositeit en de plaatsingsdichtheid van een gestorte laag, te bepalen is met behulp van een zogenaamde laagdiktefactor (d'). Uit de literatuur volgt dat de waarde voor deze factor ongeveer 1,1 bedraagt [CUR, 1991]. Uit het onderzoek van VAN DER VLIET, 2001 volgt een waarde van 1,16. In deze paragraaf worden de gegevens van dit onderzoek weergegeven en wordt deze factor opnieuw bepaald.

In tabel 14-1 zijn de relevante resultaten van de proeven nog eens weergegeven. De porositeit (kolom 4) is berekend met vergelijking 7.3, waarbij voor de plaatsingsdichtheid de gemeten plaatsingsdichtheid (kolom 2) is gebruikt.

Proefnr.	Gemeten plaatsingsdichtheid [%]	Gemeten porositeit [%]	Berekende porositeit [%]	Verschil tussen gemeten en berekende porositeit	
				absoluut	%
C-1	73,3	35,1	33,4	1,7	5%
C-2	70,2	36,2	36,2	0,0	0%
C-3	68,8	35,6	37,5	-1,9	-5%
C-4	63,3	42,2	42,5	-0,3	-1%
C-5	64,6	40,8	41,3	-0,5	-1%
C-6	64,6	39,1	41,3	-2,2	-6%
G-1	68,0	39,0	38,2	0,8	2%
G-2	65,5	41,9	40,5	1,4	3%
G-3	68,7	37,5	37,5	0,0	0%
G-4	71,2	35,0	35,3	-0,3	-1%
G-5	67,9	38,2	38,3	-0,1	0%
G-6	64,9	38,6	41,0	-2,4	-6%
H-1	69,5	34,6	36,8	-2,2	-6%
H-1b	67,7	36,7	38,5	-1,8	-5%
H-2	73,0	33,8	33,6	0,2	0%
H-2b	68,7	37,5	37,5	0,0	0%
H-3	72,7	32,9	33,9	-1,0	-3%
H-4	67,9	36,8	38,3	-1,5	-4%

Tabel 14-1 Overzicht verschil tussen gemeten en berekende porositeit

In figuur 14.1 is weer het theoretische verband tussen de plaatsingsdichtheid en de porositeit weergegeven. Naast de resultaten van VAN DER VLIET, 2001, zijn ook de resultaten van tabel 14-1 hierin afgebeeld. De resultaten van dit onderzoek zijn in figuur 14.1 weergegeven door middel van een gestippelde lijn. Uit de figuur blijkt duidelijk dat deze lijn de theoretische waarden (de dikke getrokken lijn) goed benaderen. Uit terugrekening van de resultaten naar een laagdiktefactor blijkt dit ook, want er wordt een laagdiktefactor van 1,09 gevonden.



Figuur 14.1 Porositeit als functie van de plaatsingsdichtheid

Deze waarde van 1,09 is ongeveer dezelfde als de in de literatuur, CUR 1991, genoemde waarde van 1,1. Waarom de gevonden waarde nu wel zo dicht bij de theoretische waarde ligt, kan veroorzaakt worden door verschillende oorzaken:

- 1) Het aantal uitgevoerde proeven;
- 2) vorm van de gestorte laag;
- 3) nauwkeurigheid van de uitvoering.

Ad 1. Tijdens dit onderzoek zijn, in vergelijking tot het voorgaande onderzoek, een groot aantal lagen gestort. Waardoor er ook een groot aantal meetpunten in de figuur 14.1 uitgezet konden worden wat de nauwkeurigheid van de resultaten (en dus de gestippelde lijn) ten goede komt.

Ad 2. Ook is er tijdens dit onderzoek niet in een driehoeksprofiel gestort, maar als het ware in een vierkant profiel. Het voordeel hiervan is dat zo de oppervlakte van de laag nauwkeuriger bepaald kon worden bepaald en dus de resultaten nauwkeuriger kunnen worden berekend, zie §10.5.

Ad 3. Natuurlijk heeft de nauwkeurigheid waarmee het onderzoek is uitgevoerd direct van invloed op het resultaat.

De eis, gesteld door het W.L., dat een gestorte laag voldoen moet aan een plaatsingsdichtheid van maximaal 30%, kan dus nu ook definitief omgerekend worden met een laagdiktefactor van 1,1 naar een eis aan de porositeit. De porositeit mag dus niet groter zijn dan 36%.

15 Conclusies en aanbevelingen

15.1 Inleiding

In dit onderzoek zijn, met behulp van een zijschuifstorter in een modelsituatie, verschillende toplagen op een golfbreker aangebracht. Deze toplaag bestond uit een enkele laag kubussen. Het onderzoek is uitgevoerd na aanleiding van een voorgaand afstudeeronderzoek [VAN DER VLIET, 2001], in dit onderzoek is de enkele laag aangebracht met een kraan(schip). Voordelen van het aanbrengen met behulp van een zijschuifstorter ten opzichte van een kraan(schip) zijn:

1. met een zijschuifstorter kunnen meerdere kubussen tegelijk worden gestort, wat een aanzienlijke tijdswinst kan opleveren;
2. verder is het voordeliger om een schuifstorter in te zetten dan dat een grote kraan op de kruin van een golfbreker moet worden gezet en daarover moet kunnen rijden, waarvoor een dure kraanbaan moet worden aangelegd;
3. ook moet de vlucht van een dergelijke kraan vaak heel erg groot zijn en daardoor is vaak een enorm grote kraan nodig voor het aanbrengen van relatief lichte kubussen.

Het modelonderzoek uitgevoerd in het Laboratorium voor Vloeistofmechanica van de TU Delft, waar een stalen bak stond met aan twee zijden een glazen wand. De afmetingen van de bak zijn 2,5·2,5·2,0 m (l·b·h). In de bak is een talud gemaakt van een golfbreker (helling 2:3) met een teenconstructie. De buitenste laag van het talud is opgebouwd uit een losse breuksteen, die als eerste onderlaag is uitgevoerd. De grootte van deze eerste onderlaag is bepaald volgens de geldende filterregels.

De globale uitvoering van het onderzoek is als volgt:

- Inpeilen van de eerste onderlaag ten opzichte van een horizontaal vlak;
- vullen van de bak met water;
- storten van de kubussen volgens een vooraf bepaald stortplan met het model van de zijschuifstorter;
- legen van de bak;
- uitpeilen van de gestorte laag betonnen kubussen ten opzichte van het zelfde horizontale vlak;
- bepalen van de oppervlakte en het aantal gestorte kubussen;
- bepalen van de plaatsingsdichtheid en porositeit van de gestorte laag.

In §3.5 worden naar aanleiding van conclusies, die volgen uit het literatuuronderzoek, enkele onderzoeksvragen opgesteld, die tijdens het modelonderzoek zijn onderzocht en die nu voor een groot deel kunnen worden beantwoord. Maar voordat deze algemene conclusies van het onderzoek gegeven worden, worden eerst de belangrijkste conclusies uit de verschillende series nog eens herhaald. Als laatste worden er enige aanbevelingen voor verder onderzoek gegeven.

Zoals gesteld zijn tijdens het onderzoek verschillende series uitgevoerd. Per serie is zoveel mogelijk één proefparameter gevarieerd om een zo duidelijk mogelijk beeld te krijgen van de invloed van een dergelijke parameter op het uiteindelijke resultaat. In de volgende paragraaf worden per serie de belangrijkste parameters gegeven, waarna in §15.3 de algemene conclusies van het onderzoek volgen.

15.2 Belangrijkste conclusies per serie

In onderstaande punten worden per serie de belangrijkste conclusies en bevindingen, puntsgewijs weergegeven.

Serie A

Handmatig afschuiven van kubussen bleek al snel geen goede optie. Er moet daardoor een model van een zijschuiftorster gemaakt worden. De belangrijkste eis die hieraan gesteld moet worden is dat iedere kubus op identieke wijze afgeschoven moet worden.

Serie B

Met het gemaakte model kunnen de kubussen op de gewenste manier afgeschoven worden. Uit het testen van het model blijkt dat de afschuifsnelheden, die met het model te halen zijn, niet van invloed zijn op de afzetgrootten en rotatie-ontwikkeling en dus de valbaan van een kubus. Dit en meer blijkt uit de analyse van de valbaan van een kubus met behulp van video. Uit de analyse van de valbewegingen van kubussen onder water blijkt ook, dat in sommige gevallen het Magnus-effect optreedt. Het optreden van dit effect lijkt afhankelijk te zijn van valhoogte van de kubus boven de waterspiegel.

Serie C

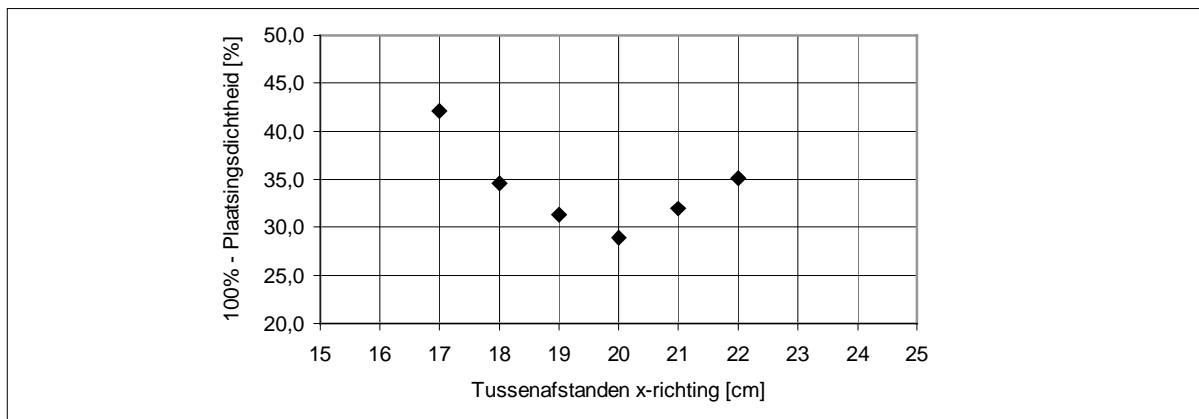
In serie C zijn verschillende lagen kubussen op het model van de golfbreker aangebracht. Uit de resultaten van deze serie blijkt dat voornamelijk de tussenafstand van de kubussen van invloed is op het uiteindelijke resultaat. De verwachte positieve invloed van de rotatie van de kubussen, als deze afgeschoven worden, is niet direct terug te vinden in de resultaten. Uit proef C-0, waar de kubussen op het model van de golfbreker zijn gezet in plaats van gestort, blijkt dat er een groot percentage van de maximale aanwezige porositeit, zich al tussen de eerste onderlaag en de laag gestorte kubussen bevindt.

Serie D / E / F

Uit deze series bleek al snel dat het volkomen willekeurig is of de kubussen, als deze naast elkaar op het model van de zijschuiftorster staan, wel of niet tegelijk gestort worden. Hierdoor is geen goede laagopbouw mogelijk. Worden de kubussen wel tegelijk gestort dan treedt er een zeer grote spreiding op. De tussenafstand, de waterdiepte en het aantal kubussen dat tegelijk wordt afgeschoven is van invloed op de grootte van de spreiding. Voor het vervolg van het onderzoek is gekozen op de kubussen die naast elkaar op het model staan met afstandhouders af te schuiven. Op deze manier zullen de kubussen als het ware één voor één afgeschoven worden.

Serie G

Deze serie is de invloed van de waterdiepte op het uiteindelijke resultaat bepaald, hiertoe zijn een aantal lagen kubussen gestort met een verkleinde waterdiepte ten opzichte van serie C. Het blijkt dat de tussenafstand van de kubussen in de x-richting (evenwijdig aan de golfbreker) van groot belang is op het uiteindelijke resultaat en deze is dan ook uitgebreid gevarieerd. In figuur 15.1 is figuur 12.1, waarin de resultaten van de serie G zijn uitgezet, nogmaals weergegeven.

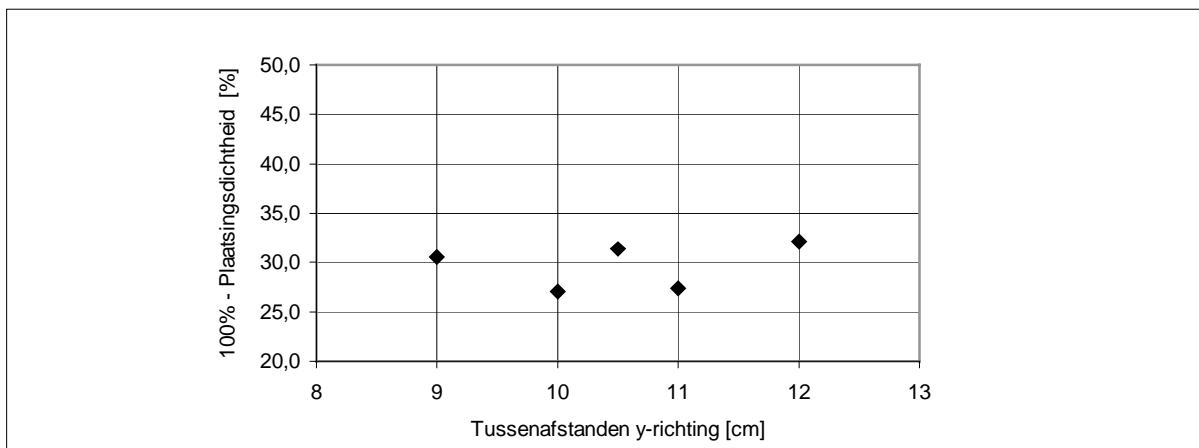


Figuur 15.1 Plaatsingsdichtheid van serie G versus tussenafstand in de x-richting

Uit deze figuur blijkt dat de maximale plaatsingsdichtheid gevonden wordt bij een tussenafstand van 20,0 cm. De waarde voor de plaatsingsdichtheid (29%) voldoet net aan de gestelde eis door het W.L. van maximaal 30%. De invloed van de verkleinde waterdiepte op het resultaat in vergelijking tot de resultaten van serie C volgen niet duidelijk uit deze serie.

Serie H

In deze serie wordt weer gebruik gemaakt van een verkleinde waterdiepte. Nu wordt ook de oriëntatie van de kubussen ten opzichte van de assen van de golfbreker gevarieerd. Er worden nu lagen kubussen gestort, waarbij de kubussen een oriëntatie van 45 graden hebben ten opzichte van de x- en y-as van de golfbreker. Het blijkt dat nu in tegenstelling tot serie G niet de tussenafstand in de x-richting (evenwijdig aan de lengterichting van de golfbreker) maar de tussenafstand in de y-richting (loodrecht op de golfbreker) van belang is op het uiteindelijke resultaat. In figuur 15.2 is figuur 13.3, waarin de resultaten van serie H zijn uitgezet, nogmaals weergegeven.



Figuur 15.2 Plaatsingsdichtheid van serie H versus tussenafstand in de Y-richting

Uit de spreiding van de resultaten in de figuur blijkt dat de invloed van de tussenafstand tijdens deze serie niet zo groot is als de invloed van de tussenafstand tijdens serie G. Het beste resultaat wordt verkregen bij een tussenafstand van 10 à 11 cm. De plaatsingsdichtheid die hierbij bereikt wordt voldoet ook nu weer aan de gestelde eis door het W.L. Zowel getalsmatig als visueel zijn deze resultaten beter dan die van serie G, waardoor gesteld kan worden dat de veranderde oriëntatie van de kubussen een positief effect op het uiteindelijke resultaat heeft.

15.3 Conclusies

In onderstaande punten worden de algemene conclusies van het onderzoek weergegeven.

- Met het ontworpen model wordt op een goede manier een zijschuifstorter gemodelleerd, waarbij de kubussen in het model op dezelfde wijze als in de praktijk van het afschuifdek kunnen worden afgeschoven.
- Als er binnen het bereik van de afschuifsnelheid van het model kubussen worden afgeschoven, mag er vanuit gegaan worden dat de individuele kubussen steeds op dezelfde manier afgeschoven worden.
- Waarschijnlijk is het optreden van het Magnus-effect in de modelsituatie afhankelijk van de valhoogte en dus van de valsnelheid van een kubus boven de waterspiegel.
- Afschuiven van meerdere kubussen tegelijk wordt geen geschikte manier gevonden om een enkele laag kubussen op een golfbreker te storten.
- De gestelde eis dat een enkele toplaag van kubussen in het model moet voldoet aan een plaatsingsdichtheid van 30%, wordt in een aantal proeven in verschillende series gehaald.
- Uit het onderzoek volgt niet of deze waarden ook in een prototype situatie gehaald kunnen worden, aangezien er nog enige onduidelijkheid over de invloed van de schaaleffecten op enkele eigenschappen van een vallende kubus in water.
- Ook is het niet te zeggen of er in de prototypesituatie geen andere schaaleffecten zullen optreden.
- De invloed van de gevarieerde parameters op de uiteindelijk te realiseren plaatsingsdichtheid en porositeit is niet altijd even groot. Zo is het verwachte voordeel van een kleinere waterdiepte niet duidelijk naar voren gekomen uit de proeven.
- Wel blijkt, net als in VAN DER VLIET, 2001, dat de oriëntatie van de kubussen van 45 graden ten opzichte van de gedefinieerde assen een positief effect heeft op de te halen plaatsingsdichtheid en porositeit.
- Het verwachte voordeel van de rotatie van de kubussen op het uiteindelijke resultaat is gering.
- Concluderend kan gesteld worden dat de parameter met de grootste invloed op de te halen plaatsingsdichtheid de tussenafstand van de kubussen is. Uit het onderzoek blijkt vrij goed, welke tussenafstand bij welke configuratie van de kubussen het beste resultaat oplevert.
- Doordat bij het vaststellen van de eis voor een stabiele enkele laag kubussen op een golfbreker, maar drie plaatsingsdichtheden zijn beproefd ($n_p = 60\%$, 70% en 75%) is het niet geheel duidelijk waar de exacte grenzen van deze eis liggen. Hierdoor kan van een gemeten plaatsingsdichtheid van 68 à 69% niet direct gezegd worden of deze wel of niet aan de eis voldoet.

15.4 Aanbevelingen

Naar aanleiding van het onderzoek kunnen nog een aantal aanbevelingen gedaan worden.

- Tijdens dit onderzoek zijn maar drie van de voorgestelde parameters gevarieerd. Het verdient daarom aanbeveling om ook nader onderzoek te verrichten naar het effect van de andere parameters op de resultaten. Wel wordt gesteld dat verwacht wordt dat de hier gevarieerde parameters de meeste invloed hebben op het uiteindelijke resultaat.
- Van sommige proeven die gedaan zijn, zijn herhalingsproeven gedaan, waarbij wel opviel dat het uiteindelijke resultaat niet veel van elkaar verschilde. Maar om meer zekerheid te krijgen over de precieze spreiding van de resultaten van de parameters moeten veel meer proeven met eenzelfde configuratie worden uitgevoerd. Door de beperkte tijd was dit tijdens dit onderzoek niet mogelijk.
- Het is niet duidelijk wat er met de spreiding van de kubussen gebeurt als er meer dan zeven kubussen tegelijk worden afgeschoven. Omdat dit in de praktijk wel mogelijk is, verdient het aanbeveling dit nader te onderzoeken. Ook het effect van de tussenafstand op de spreiding zou dan beter moeten worden onderzocht.
- In de praktijk moet het mogelijk kunnen zijn om de gestorte laag goed te kunnen uitpeilen. Om eventuele gaten in de laag op te sporen. Ook moet het bij eventueel optreden van gaten mogelijk zijn om achteraf nog enkele kubussen op deze plekken aan te brengen.

Ook kunnen de resultaten van dit onderzoek niet zonder meer opgeschaald worden naar een prototype-situatie. Overigens is dit ook nooit de bedoeling geweest van het onderzoek, want onder andere kan het volgende gesteld worden.

- Tijdens het modelonderzoek is de werkelijkheid zo goed mogelijk benaderd, maar ondanks dat is er toch een geïdealiseerde situatie gecreëerd. Zo ligt het model altijd stil en horizontaal ten opzichte van de golfbreker, dus de invloed van golven en stroming is niet meegenomen. Ook zijn de laboratoriumcondities telkens dezelfde. Het is duidelijk dat dit in de praktijk nooit bereikt kan worden.
- Ook zijn er met betrekking tot het opschalen van model naar prototype enkele punten niet goed genoeg bekend, bijvoorbeeld op het punt van de luchtinsluiting op de valbeweging van de kubus en het wegstuiteren van kubus als deze op het talud van de golfbreker terechtkomt.
- Verder ligt de eerste onderlaag in het model waarschijnlijk te vlak in vergelijking tot de praktijk, zodat de kubussen tijdens het onderzoek ook beter op elkaar zijn aangesloten dan in de praktijk mogelijk is.

Al deze punten pleiten voor een goed prototype-onderzoek, voordat het toepassen van een enkele laag kubussen als toplaag van een golfbreker in de praktijk kan worden toegepast.

Literatuurlijst

- BAGHELOE, G.S. (1998) Golfbrekers met een enkele toplaa. *Afstudeerverslag, Technische Universiteit Delft, Civiele Techniek, sectie Waterbouwkunde, Delft*
- BATTJES, J.A. (1999) Collegedictaat “Vloeistofmechanica”, Ctme2100. *Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, sectie Vloeistofmechanica, Delft*
- CUR (1991) Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering. *Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), Special publication 83 and Centre for Civil Engineering Research and Codes (CUR), report 154*
- DE VRIES, M. (1977) Waterloopkundig onderzoek, collegehandleiding b80. *Technische Hogeschool Delft, afdeling der Civiele Techniek*
- MEERMANS, W. (1998) Dumping of stones; description of the resulting mound when dumping is performed from a fixed point. *Afstudeerverslag, Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek, vakgroep Waterbouwkunde, Delft*
- NAKAYAMA, Y. (1988) Visualized Flow, Fluid motion in basic and engineering situations revealed by flow visualization. *Compiled by the Japan Society of Mechanical Engineers, Pergamon Press, Oxford*
- PATO (1985) Cursus: Golfbrekers. *Orgaan voor Postacademisch Onderwijs in de Technische Wetenschappen, sectie Civiele Techniek en Geodesie, Delft*
- PRASUHN, A.L. (1980) Fundamentals of fluid mechanics. *South Dakota State University: Prentice-Hall inc., New Jersey*
- S.P.M. (1984) Shore Protection Manual, Coastal. *Engineering Research Centre (CERC), U.S. Army Corps of Engineers*
- STÜCKRATH, T., VÖLKER, G., MENG, J. (1996) Untersuchungen zum Fallverhalten würfelförmiger Einzelkörper in Wasser. *Technische Universität Berlin, Berlin*
- VAN DER SCHRIECK, G.L.M. (2000) Collegedictaat Baggertechniek “overdruk uit VOUB-cursus van VBKO t.b.v. het keuzevak baggertechniek, onderdeel Survey en Stort., *Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, sectie Waterbouwkunde, Delft*
- VAN DER MEER, J.W. (1986) Stability of rubble mound breakwaters. Stability formula for breakwaters armoured with cubes. Report on basic research, Delft hydraulics, S467-IV
- VAN GELDEREN, F.J.G. (1999) Het enkele steenmodel. Een verificatie op basis van modelproeven. *Afstudeerverslag, Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, sectie Waterbouwkunde, Delft*
- VAN GENT, M.R.A. en SPAAN, G.B.H. (1998) Golfbrekers met een enkele toplaa van kubussen. *Modelonderzoek, Maasvlakte 2, Samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten, H3387, WL /Delft Hydraulics, Delft*
- VAN HEERDE, G. (1973) Blokkendam stortproeven bij varend bedrijf. *Verslag modelonderzoek M995 deel VIII, Waterloopkundig Laboratorium ‘De Voorst’*

VAN OORD, G. (1996) Spreiding van steen in het stortproces van schuifstorters. *Afstudeerverslag, Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, vakgroep Waterbouwkunde, sectie Waterbouwkunde, Deel I en II, Delft*

VAN OORSCHOT, J.H.(1972) Valproeven met een betonkubus. *Verslag modelonderzoek M856, Waterloopkundig Laboratorium, Delft*

VAN DER VLIET, C (2001) Praktische haalbare plaatsingsdichtheid van betonnen kubussen in de afdeklaag van een golfbreker. *Afstudeerverslag, Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, sectie Waterbouwkunde, Delft*

WEUSTINK, O.W.A. (1998) De vlakheid van steenbestortingen. *Afstudeerverslag, Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, sectie Waterbouwkunde, Delft*

W.L. (1983) Stormvloedkering Oosterschelde, stortmethoden voor de drempel en overgangsconstructies. *Verslag modelonderzoek, M1768, Delft*

W.L. (1969) Havendammen Europoort, Stortsystemen blokkentransportvaartuigen. *Verslag modelonderzoek M856, Waterloopkundig Laboratorium, Delft*

W.L. (1983) Stormvloedkering Oosterschelde, stortmethoden voor de drempel en overgangsconstructies, *verslag modelonderzoek, M1768, Waterloopkundig Laboratorium, Delft*

ZINKCON BV (1985) Modelonderzoek naar de spreiding en taludopbouw van gestorte materialen in water. *Zinkcon bv, Papendrecht*

ZINKCON BV (1987) Verslag stortproef betonblokken 12 ton met steenstorter Cetus, Arzew. *Zinkcon Engineering Department, Papendrecht*

Modelonderzoek naar het aanbrengen van kubussen in de toplaag van een golfbreker met een zijschuifstorter

Bijlagen

C. Bisschop
Delft, maart 2002

Afstudeercommissie

Prof.dr.ir. M.J.F. Stive
Ir. H.J. Verhagen
Ir. J. Olthof
Dr.ir. H.L. Fontijn

sectie Waterbouwkunde
sectie Waterbouwkunde
Boskalis Westminster nv
sectie Vloeistofmechanica

Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen,
Sectie Waterbouwkunde

Inhoudsopgave

<i>A-1</i>	<i>Proefopstelling</i>	<i>A.1</i>
<i>A-2</i>	<i>Peilstok en peilstok op meetbalk</i>	
<i>A-3</i>	<i>Halve bollen en het hoekprofiel</i>	
<i>A-4</i>	<i>Model van de zijschuifstorter</i>	
<i>B</i>	<i>Theoretische valsnelheid van een kubus in water</i>	<i>B.5</i>
<i>C</i>	<i>Modellering van een wegspringend voorwerp</i>	<i>C.7</i>
<i>D-1</i>	<i>Overzicht zijschuifstorters</i>	<i>D.9</i>
<i>D-2</i>	<i>Zijschuifstorter 'Cetus'</i>	
<i>D-3</i>	<i>Overzicht stortmethoden</i>	
<i>E</i>	<i>Invloed golven en stroming op valbaan van kubus</i>	<i>E.13</i>
<i>F-1</i>	<i>Overzicht van de haven van Arzew</i>	<i>F.16</i>
<i>F-2</i>	<i>Randvoorwaarden, uitvoering en waarnemingen</i>	
<i>F-3</i>	<i>Kubussen op het stortschip en het stortresultaat</i>	
<i>H</i>	<i>Elasticiteitscoëfficiënten en schaaleffecten</i>	<i>H.22</i>
<i>I-1</i>	<i>Primitief model afschuiven van kubussen</i>	<i>I.24</i>
<i>I-2</i>	<i>Verplaatsing zwaartepunten</i>	
<i>J-1</i>	<i>Afgeschoven kubus met het model</i>	<i>J.27</i>
<i>J-2</i>	<i>Valbanen van een kubus</i>	
<i>J-3</i>	<i>Zwaartepunten van de kubussen</i>	
<i>J-4</i>	<i>Hoekverdraaiing van een kubus</i>	
<i>J-5</i>	<i>Valsnelheid van een kubus</i>	
<i>J-6</i>	<i>Raakpunt van de kubus met het water</i>	
<i>K-1</i>	<i>Valbanen van kubussen in het water</i>	<i>K.34</i>
<i>K-2</i>	<i>Hoekverdraaiingen van kubussen in het water</i>	
<i>K-3</i>	<i>Verplaatsingen zwaartepunten in het water</i>	
<i>L-1 t/m L-7</i>	<i>Gegevens en resultaten van serie C</i>	<i>L.42</i>
<i>M-1</i>	<i>Serie D</i>	<i>M.65</i>
<i>M-2</i>	<i>Serie E</i>	
<i>N-1 t/m N-10</i>	<i>Gegevens en resultaten van serie G</i>	<i>N.69</i>
<i>O-1 t/m O-9</i>	<i>Gegevens en resultaten van serie H</i>	<i>O.98</i>
<i>P-1 t/m 4</i>	<i>Uitpeiling met de kleine bol</i>	<i>P.125</i>

A-1 Proefopstelling



Foto A-1 Bovenaanzicht proefopstelling



Foto A-2 Zijaanzicht proefopstelling

A-2 Peilstok en peilstok op meetbalk

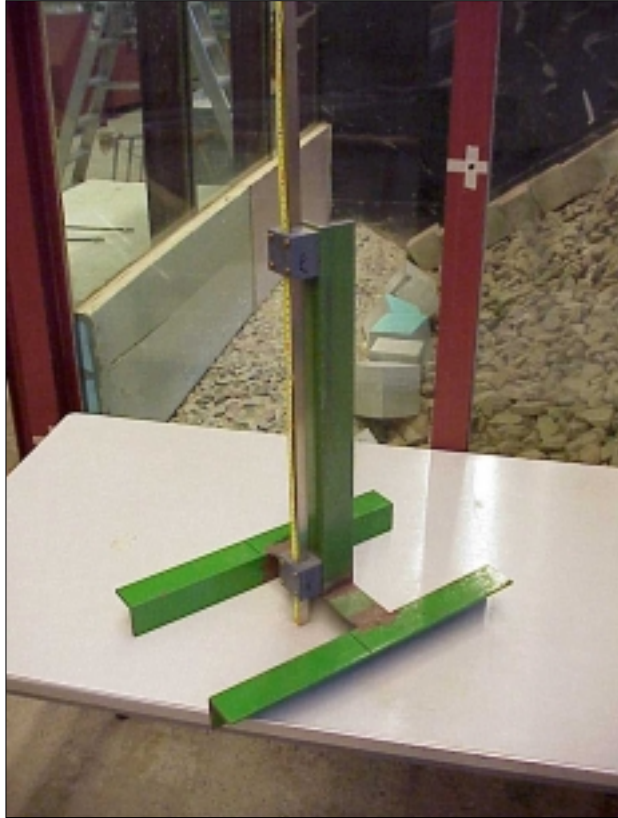


Foto A-3 Peilstok



Foto A-4 Peilstok op meetbalk

A-3 Halve bollen en het Hoekprofiel



Foto A-5 Halve bollen



Foto A-6 Hoekprofiel

A-4 Model van de zijschuifstorter



Foto A-7 Model zijschuifstorter



Foto A-8 Model zijschuifstorter op meetbalk

B Theoretische valsnelheid van een kubus in water

Voor de berekening van de valsnelheden wordt gebruik gemaakt van de in het verslag genoemde vergelijkingen. In onderstaande tabel zijn de parameters weergegeven die in deze vergelijkingen worden gebruikt.

Parameters:		
ρ_{water}	1000	kg/m ³
ρ_{kubus}	2300	kg/m ³
D_{kubus}	0,15	m
valhoogte kubus	0,2 / 0,35 / 0,5	m
gravitatieversnelling:	9,81	m/s ²
Cd-waarde kubus:	1,32	-

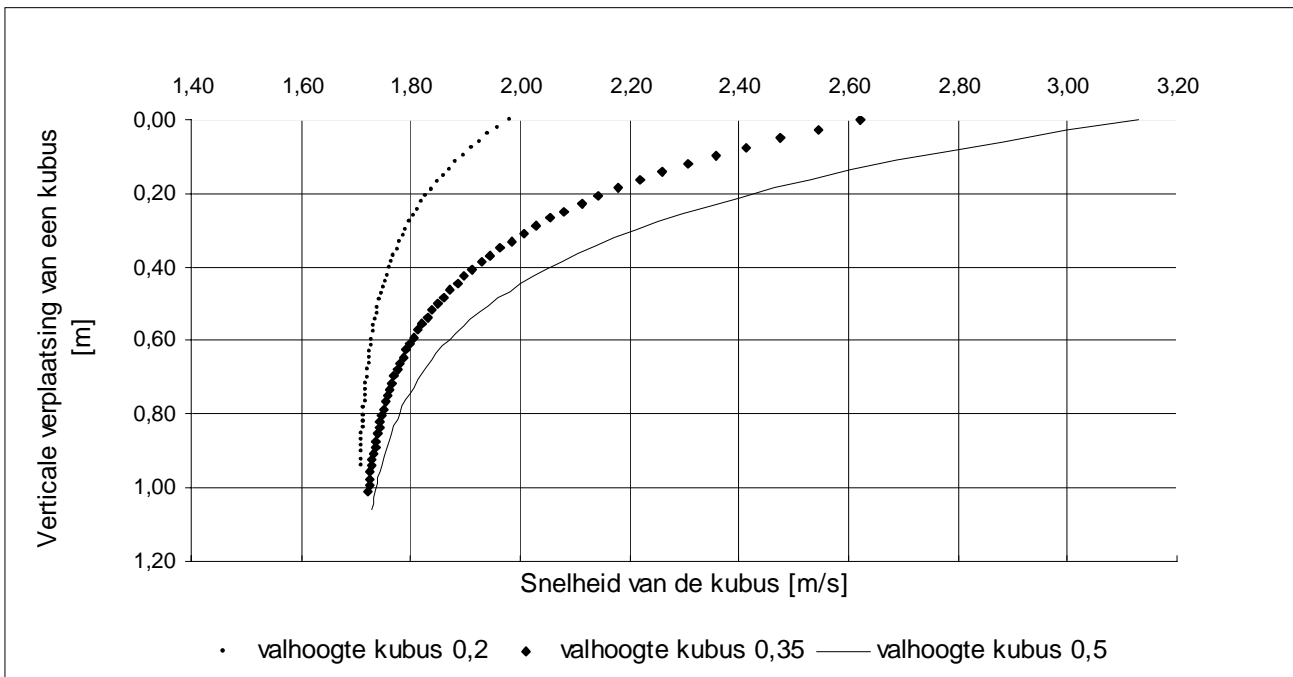
Zoals blijkt uit de tabel, is de valhoogte van de kubus boven de waterspiegel gevarieerd. In onderstaande tabel is per tijdstap de vertraging, de snelheid en de afgelegde afstand weergegeven voor een valhoogte van 0,50 m. Duidelijk is dat op het tijdstip nul, wanneer de kubus het water raakt de kubus een valsnelheid heeft van 3,13 m/s.

tijd t [sec]	vertraging a [m/s ²]	snelheid v [m/s]	afstand s [m]
0,00		3,13	0,00
0,03	-13,22	2,74	0,08
0,06	-8,77	2,47	0,15
0,09	-6,15	2,29	0,21
0,12	-4,47	2,15	0,27
0,15	-3,33	2,05	0,33
0,18	-2,53	1,98	0,39
0,21	-1,94	1,92	0,45
0,24	-1,51	1,87	0,51
0,27	-1,18	1,84	0,56
0,30	-0,93	1,81	0,61
0,33	-0,73	1,79	0,67
0,36	-0,58	1,77	0,72
0,39	-0,46	1,76	0,77
0,42	-0,37	1,75	0,83
0,45	-0,29	1,74	0,88
0,48	-0,24	1,73	0,93
0,51	-0,19	1,73	0,98
0,54	-0,15	1,72	1,03
0,57	-0,12	1,72	1,08
0,60	-0,10	1,71	1,13
0,63	-0,08	1,71	1,19
0,66	-0,06	1,71	1,24
0,69	-0,05	1,71	1,29
0,72	-0,04	1,71	1,34

Uit de tabel blijkt dat de kubus na verloop van tijd een constante valsnelheid bereikt. Met behulp van de onderstaande theoretische vergelijking kan de te bereiken evenwichtssnelheid berekend worden:

$$v_e = \sqrt{2\Delta \frac{g}{C_D} D_{\text{kubus}}} \quad \text{De evenwichtssnelheid wordt daarmee 1,70 m/s.}$$

In onderstaande figuur is een grafiek weergegeven die het verloop van de valsnelheid bij verschillende valhoogten weergeeft.

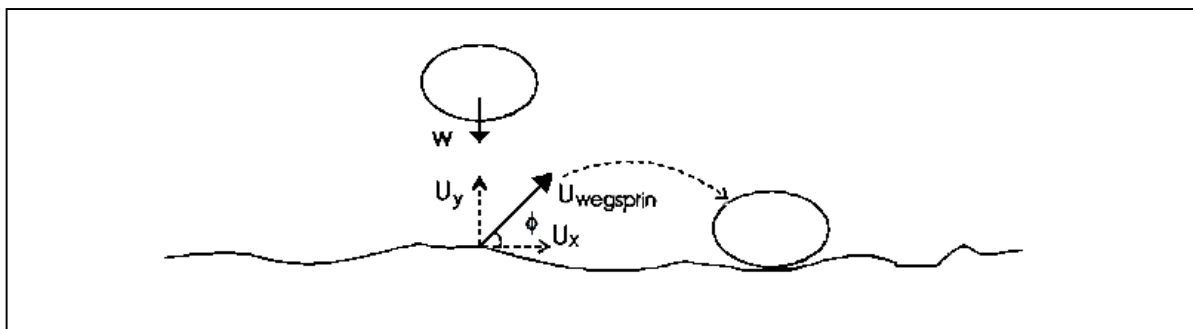


Uit de grafiek blijkt dat na een verticale verplaatsing en dus een waterdiepte van ongeveer één meter, de valsnelheid zijn evenwicht heeft bereikt, dat is ongeveer na 5 à 6 maal de ribbenlengte van de kubus.

C Modelling van een wegspringend voorwerp

In deze bijlage wordt een model weergegeven [Oord, van, 1996] dat het wegspringen van een voorwerp, als dit de bodem raakt, weergeeft.

Er wordt verondersteld dat het voorwerp met een constante snelheid in het water naar beneden valt. Uitgaande van behoud van energie wordt de maximale afstand bepaald, die een voorwerp bij een sprong kan afleggen. Hiertoe wordt aangenomen dat het voorwerp na het raken van de bodem wegspringt onder een wegspringhoek (ϕ) met een snelheid ($U_{\text{wegaspring}}$), die gelijk is aan de verticale vallsnelheid (w). Dit wordt schematisch weergegeven in de onderstaande figuur. Vervolgens is in de vergelijking het verband weergegeven tussen de verticale snelheid (U_y) en de horizontale snelheid (U_x) van het wegspringende voorwerp als functie van de snelheid van het wegspringende voorwerp.



$$U_{\text{wegaspring}} = \frac{U_y}{\sin(\phi)} = \frac{U_x}{\cos(\phi)}$$

Hierin is:

$U_{\text{wegaspring}}$	=	snelheid van het wegspringende voorwerp (m/s);
U_y	=	verticale snelheid van het wegspringende voorwerp (m/s);
U_x	=	horizontale snelheid van het wegspringende voorwerp (m/s);
ϕ	=	wegaspringhoek ($^\circ$).

Een voorwerp ondergaat theoretisch een parabolische beweging met een constante horizontale wegspringsnelheid en een verticale snelheid die varieert. De voor de wegspringbeweging benodigde tijd (t) wordt bepaald met de volgende vergelijking:

$$t = \frac{U_y}{2g} = \frac{U_{\text{wegaspring}} \sin(\phi)}{2g}$$

Hierin is: t = tijdsduur van de wegspringbeweging (s)

Met de beide bovenstaande vergelijkingen wordt in onderstaande vergelijking de maximale horizontale verplaatsing (S_x) bepaald.

$$S_x = U_x \cdot t = \frac{2(U_{\text{wegaspring}})^2 \cos(\phi) \sin(\phi)}{g}$$

Hierin is: S_x = maximale horizontale verplaatsing (m)

De maximale horizontale verplaatsing van het wegspringende voorwerp doet zich voor bij een wegspringhoek (ϕ) van 45° . Uitgaande van een snelheid van het wegspringende voorwerp gelijk aan de verticale evenwichtsvalsnelheid volgens §2.2 met een Δ gelijk aan 1,65, kan vergelijking 2.20 worden vereenvoudigd tot:

$$S_x = 2,2 \cdot D_{bol}$$

Doordat er in het begin verschillende ruime aannamen gedaan zijn, kan een voorwerp dus nooit meer dan ongeveer 2,2 maal zijn eigen karakteristieke afmeting wegspringen.

D-1 Overzicht zijschuifstorters

In onderstaande tabel staan, zonder volledig te willen zijn, de in Nederland gebruikte zijschuifstorters en hun kenmerkende eigenschappen weergegeven.

		Naam van de zijschuifstorter:							
		Lauwerszee	Cetus	Avelingen	Pieter	Frans	Jan Steen	601	Pompeï
Algemeen:									
Eigenaar		Boskalis	Boskalis	VOACZ	VOACZ	VOACZ	VOACZ	HAM	DI
Gebouwd door		Boot	v.d. Giessen						
Bouwjaar		1966	1968	1969	1965	1973	1985	1983	1988
Verbouw jaar		80/88	1986		1977				
Werkgebied		15 mijl	deep sea	15 mijl	15 mijl	deep sea	deep sea	deep sea	deep sea
Beladingscapaciteit:									
Oceanen	ton	650	1.400	505	698	980	2.000	1.000	1.300
Kustwateren	ton	692	1.500	550	850	1.100	2.500	1.200	1.750
Binnen wateren	ton	868	1.500	505	699	1.006	2.644	1.228	1.809
Afmetingen:									
Lengte o.a.	m	53,8	78,27	51,09	55,5	65,5	76	61,75	65,5
Breedte	m	14,08	20,2	10,78	11,93	15,8	19	15,8	16
Holte	m	3,84	5,35	2,75	3,6	3,5	5	3,5	3,85
Diepgang (leeg)	m	1,73	2,8	1,2	1,5	1,6			
Diepgang (geladen)	m	2,78	3,99	2,22	2,9	2,8	3,9	3,4	
Lengte steendek	m	28	45	28	28	28	28	28	28
dump systeem		schuiven	schuiven	schuiven	schuiven	schuiven	schuiven	schuiven	schuiven
compartimenten		4	2	4	4	4	4	4	4
Plaatsbepaling:									
Lieren	stuks	2	4	6	6	6	8	8	8
Lieren (trekkracht)	(ton)		18	15	15	15	15	15	15
Draden	lengte (m)		450	500	600	600	800	500	500
Ankers	stuks	2	4	6	6	6	8	8	8
D.P.systeem		nee	ja			ja	ja	ja	ja
Voorstuwing:									
geïnstalleerd vermogen	kW	961	2944	400	650	1850	2400	1750	1600
Voorstuwing	kW	712	1472	370	400	1150	1710	1100	810
Voorstuwing	type	schroeven	Voith Schneider	schroeven	schroeven	schroeven	schroeven	Voith Schneider	schroeven
Voorstuwing	aantal	3	1	2	2	3	2	1	2
Boegschroef	type	straal	Voith Schneider	schroeven	schroeven	schroeven	schroeven	Voith Schneider	schroeven
Boegschroeven	aantal	1	1		1	2	1	1	1
Snelheid (leeg)	knoop	8	9	7	7	8	11	10	9
Snelheid (geladen)	knoop	6	7	5	5	6	9	8	7

D-2 Zijschuifstorter “Cetus”

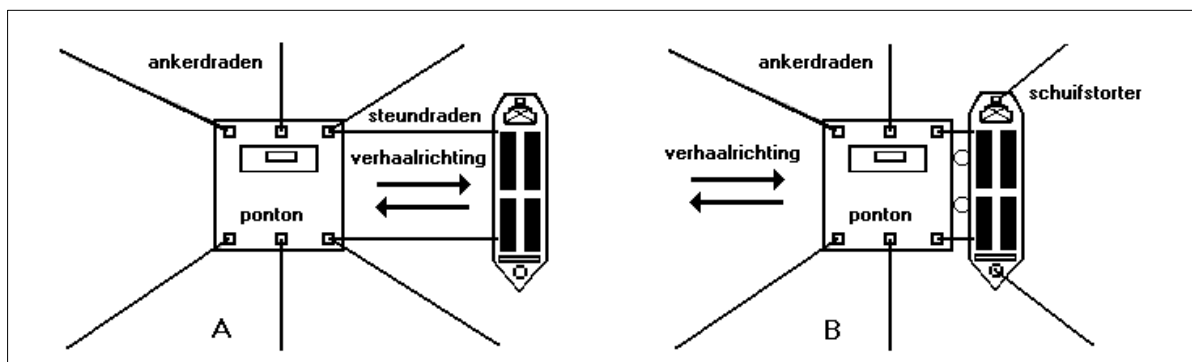
D-3 Overzicht van de stortmethoden

In deze bijlage worden twee gebruikte stortmethoden voor het storten van een zijschuifstorter uitgebreider beschreven: het storten met een ponton en het storten met een Dynamic Positioning System. Voor het storten van grote betonnen elementen kan gebruik gemaakt worden van beide varianten.

Storten met behulp van een ponton

Bij deze methode wordt de schuifstorter gekoppeld aan een verankerd ponton door twee lieren. De lading kan vervolgens op twee manieren gestort worden:

- A. De lierdraden worden onder spanning gezet met behulp van de eigen voortstuwing van de schuifstorter. Bij het storten van dunne lagen steen kunnen de lieren met een bepaalde verhaalsnelheid afgevierd worden, terwijl de steen overboord wordt geschoven. Het ponton doet in dit geval dienst als afmeer- en positioneerponton.
- B. In dit geval doet het ponton dienst als afmeer-, positioneer- en verhaalponton, doordat de steen wordt gestort terwijl het ponton, met de daaraan gekoppelde schuifstorter, wordt verhaald door de eigen ankerdraden. Deze ankerdraden worden ook nu weer onder spanning gehouden door de voortstuwing van de schuifstorter.



Door het gebruik van ankerdraden en lieren is het mogelijk de schuifstorter nauwkeurig op zijn positie te houden en daardoor is het mogelijk om nauwkeuriger steen te storten. Een nadeel is dat het koppelen van de geladen schuifstorter aan het afgemeerde ponton relatief veel tijd kost.

Storten met een Dynamic Positioning System

In toenemende mate wordt het tijdrovende gebruik van een verankerd ponton vermeden door de schuifstorter te voorzien van een Dynamic Positioning System (DP-systeem). Met een DP-systeem kan de schuifstorter zich met behulp van eigen voortstuwing zelfstandig positioneren op de gewenste stortlocatie en zich al stortend verplaatsen. De informatie die door het plaatsbepalingssysteem wordt doorgegeven, wordt verwerkt in het DP-systeem van de schuifstorter. In dit systeem is de gewenste stortkoers van de schuifstorter voorgeprogrammeerd. Het DP-systeem verwerkt de informatie over de positie en het vaargedrag van het schip en stuurt het schip indien nodig bij, na vergelijking van de exacte gegevens met de voorgeprogrammeerde stortkoers. Geheel automatisch bestuurt het DP-systeem de schroeven en roeren van het schip om binnen de toegestane bandbreedten van de stortkoers te blijven. Het DP-systeem geeft de mogelijkheid om in te stellen wat de geaccepteerde bandbreedten van de stortkoers zijn.

E Invloed golven en stroming op valbaan van kubus

In deze bijlage wordt de invloed van de externe factoren op de valbaan van een kubus beschreven. [Oord van , 1996] Deze invloeden zijn, zoals genoemd:

- invloed van stroming;
- invloed van golven.

Invloed van de stroming op de valbaan

Bij veel stortwerkzaamheden is er sprake van stromend water, zoals in rivieren, getijdegeulen en estuaria. Als gevolg van stromingen in het water kunnen de kubussen tijdens de valbeweging verplaatsingen ondergaan, wat de nauwkeurigheid van de stort niet ten goede zal komen. De grootte van deze verplaatsingen is afhankelijk van de volgende factoren:

- waterdiepte;
- kubusgrootte;
- stroomsnelheid;
- stroomrichting (ten opzichte van de stortkoers);
- weerstandscoëfficiënt van het materiaal;
- relatieve dichtheid van het te storten materiaal onder water.

In W.L. (1983) wordt verslag gedaan van onderzoek naar de invloed van stroming op de verplaatsing van een vallend voorwerp in water. De kracht die in horizontale richting op de steen werkt wordt gegeven in onderstaande vergelijking:

$$F_u = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot A_k \cdot C_D \cdot (U_{stro \text{ min } g} - U_{kubus})^2$$

Met de tweede Wet van Newton volgt:

$$F_u = m \cdot a = m \cdot \frac{dU_{kubus}}{dt} = V_k \cdot (\rho_k - \rho_w) \cdot \frac{dU_{kubus}}{dt}$$

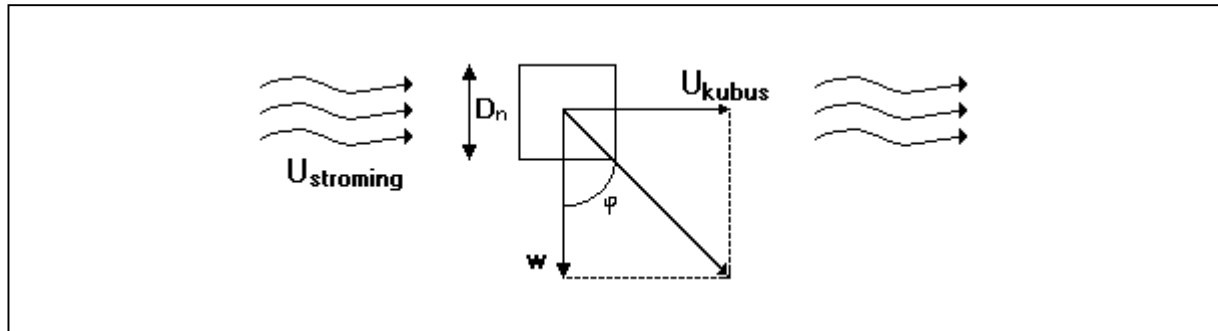
hierin is:	F	=	kracht op de kubus in horizontale richting [N];
	ρ_w	=	soortelijk gewicht van het water [kg/m ³];
	ρ_k	=	soortelijk gewicht van de kubus [kg/m ³];
	A_k	=	oppervlak dwarsdoorsnede kubus in horizontale richting [m ²];
	C_D	=	weerstandscoëfficiënt van de kubus in horizontale richting [-];
	$U_{stroming}$	=	stroomsnelheid van het water [m/s];
	U_{kubus}	=	horizontale snelheid van de kubus [m/s];
	a	=	versnelling [m/s ²];
	m	=	massa [kg];
	V_k	=	volume van de kubus [m ³].

Gelijkstellen van bovenstaande vergelijkingen geeft:

$$\frac{dU_{kubus}}{dt} = \frac{A_k}{2V_k} \cdot \frac{\rho_w}{\rho_k - \rho_w} \cdot C_D \cdot (U_{kubus} - U_{stro \text{ min } g})^2$$

Uitgaande van een kubus ($A_k = D_n^2$ en $V_k = D_n^3$) en aangenomen dat $C_D = \pm 1,0$, $\rho_s = 2500 \text{ kg/m}^3$ en $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$, kan door het oplossen van de (differentiaal-)vergelijking worden berekend dat in relatief korte tijd ten opzichte van de totale tijdsduur van de valbeweging naar de zeebodem, de horizontale snelheid van de kubus (U_{kubus}) de stroomsnelheid van het water ($U_{stroming}$) zal benaderen.

Op basis hiervan wordt de horizontale snelheid van de kubus tijdens de valbeweging gelijkgesteld aan de stroomsnelheid van het water en ontstaat de in onderstaande figuur weergegeven schematisatie van een vallende kubus onder invloed van stroming.



De beweging van een vallende kubus wordt gegeven in onderstaande vergelijkingen:

$$\tan \varphi = \frac{U_{kubus}}{w} = \frac{U_{stroming}}{w}$$

hierin is: φ = hoek tussen valsnelheid (w) en de horizontale snelheid van de kubus [U_{kubus}].

Met de vergelijking voor de verticale valsnelheid van een kubus en een bekende waterdiepte, kan de maximale te verwachten verplaatsing door meevoering met het stromende water worden berekend.

Tijdens het storten moet rekening gehouden worden met de optredende stroming, waarbij de hoek tussen de stromingsrichting van het water en de uitgezette stortkoers van groot belang is. In de praktijk wordt er bij het storten van steen in stromend water slechts op twee manieren gestort; met de 'kop op stroom', de schuifstortert ligt dan evenwijdig aan de stromingsrichting, en 'dwars op stroom', de schuifstortert ligt dan dwars op de stromingsrichting.

Bij het storten met de 'kop op stroom' zijn de verplaatsingen van de steen ongeveer drie maal zo klein als bij het storten 'dwars op stroom'. Dit kan verklaard worden doordat de uiteinden van het laaddek van de schuifstortert bij het storten met de 'kop op stroom' evenwijdig aan de stromingsrichting liggen, waardoor stenen die aan de voorkant van het dek gestort worden als het ware de stroming 'opvangen' en zo de overige stenen die meer benedenstrooms worden gestort afschermen voor de stroming.

Bij het storten 'dwars op stroom' is dit niet mogelijk en iedere gestorte steen komt dan vol in de stroming terecht met een grotere spreiding als resultaat. In de praktijk is de maximale stroomsnelheid waarbij door schuifstorters nog steen mag worden gestort 0,50 à 0,75 m/s.

Afwijkingen van de valbaan ten gevolge van golven

In het onderzoek van het W.L. in 1983 [W.L., 1983] omtrent de stortmethoden voor drempel en overgangsconstructie, is een schatting gemaakt van de invloed van de golven op de baan van een individueel voorwerp. Er worden twee benaderingen voorgesteld, hieronder wordt de benadering gegeven met het meest ongunstige resultaat.

Deze benadering bevat een aantal aannamen:

Aanname 1: De verticale snelheid van een steen $w_c = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{\Delta g D}{C_d}}$,

Aanname 2: horizontale snelheid van de steen $u_{st} = u_w$ (snelheid van het water),

Aanname 3: De uitwijking van de steen volgt uit $\tan \varphi = \frac{u_w}{u_c} = 0,85 \cdot \frac{u_w}{\sqrt{\Delta g D_b}}$.

Berekening u_w :

$$u_w = \frac{H}{2} \cdot \frac{gT}{L} \cdot \frac{\cosh(2\pi(z+d)/L)}{\cosh(2\pi d/L)} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right),$$

Voor $z = 0$ (waterspiegel) geldt:

$$u_w = \frac{H}{2} \cdot \frac{gT}{L} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right).$$

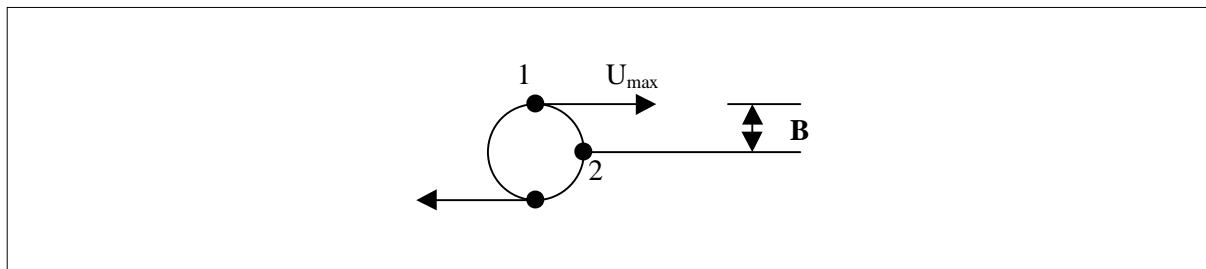
Golfperiode	Golfte	$u_{\max} = \frac{H}{2} \cdot \frac{gT}{L}$		
		H = 0,5 m	H = 1,0 m	H = 1,5 m
T	L			
5	39	0,31	0,63	0,94
6	56,2	0,27	0,53	0,80
10	156	0,16	0,31	0,47

Situatie 1: golfhoogte $H = 0,5$ m, steensortering 5-40 kg ($\Delta D_b = 0,36$ m) en $u_{st} = u_w = 0,31$ m/s, daaruit volgt $\tan \varphi = 0,45$, $u_w = 0,14$ m/s.
 Verticale verplaatsing: $B = H/2 = 0,25$ m
 Horizontale verplaatsing steen $x = 0,25 \cdot 0,14 = 0,035$ m.

Situatie 2: golfhoogte van $H = 1,0$ m, geeft $x = 0,12$ m;

Situatie 3: golfhoogte van $H = 1,5$ m, geeft $x = 0,28$ m.

In onderstaande figuur is het voorwerp geschematiseerd door een bol. In deze figuur is naast de maximale snelheid in horizontale richting (u_{\max}) ook de verticale verplaatsing B weergegeven.



Na punt 2 verandert de snelheid van richting en gaat de steen dus terug. De verschuiving van het zwaartepunt van het voorwerp zal dan door de afnemende orbitaalbeweging minder zijn dan de hierboven gegeven waarden.

Uit bovenstaande kan dus gesteld worden dat de invloed van de golven op de horizontale uitwijking van een voorwerp dat in water valt verwaarloosd kan worden.

F-1 Overzicht van de haven van Arzew

[bron:Zinkcon bv, 1987]

Dwarsdoorsnede hoofdgolfbreker

F-2 Randvoorwaarden, uitvoering en waarnemingen

In deze bijlage worden zowel de randvoorwaarden, de uitgangspunten, de uitvoering en de waarnemingen die gedaan zijn tijdens de proef kort beschreven. Uit deze gegevens kunnen eisen gesteld worden waaraan het model voor de zijschuifstorter zal moeten voldoen. [bron: Zinkcon bv, 1987]

Randvoorwaarden tijdens de proef

- kwaliteit van de betonnen kubussen is goed;
- dichtheid van het beton is 2400 kg/m^3 ;
- diepte bodem t.o.v. de waterlijn (13,5 – 21,5 m);
- aanwezig surveymaterieel: - Plaatsbepalingssysteem Microfix
- R.O.V (op afstand bestuurbare onderwatercamera).
- Peilschip “Denise”;
- van de blokken zijn vijf zijden gemarkeerd, zodat ieder blok terug te vinden is als deze gestort is;
- maximale golfhoogte tijdens storten is 0,75 m;
- aantal proefstorten was één;
- minimale afstand tussen de blokken ter hoogte van de bovenkant is 0,5 m in verband met het plaatsen van de blokken met een blokkenklem aan boord van de “Cetus”.

Uitgangspunten tijdens de proef

- iedere zijde van de “Cetus heeft vier schuiven, die echter niet onafhankelijk van elkaar kunnen worden bediend;
- blokken kunnen nauwkeurig op het dek geplaatst worden;
- breedte van het stortdek is zes meter;
- iedere zijde heeft 5 cilinders, met een diameter van 0,25 m en een maximale druk is $150 \text{ bar} = 150 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ per cilinder;
- weerstandscoëfficiënt (f) tussen dek en kubus is 0,61;
- snelheid van de schuif is $\pm 1,5 \text{ cm/s}$ en is dus niet variabel;
- diepgang van de “Cetus” is geladen (1400 ton) 4,0 m en ongeladen 2,5 m;
- er kunnen maximaal zes rijen van 21 kubussen aan boord van de “Cetus” worden geplaatst, dit is 1500 ton;
- getracht is om een maximale variatie binnen één stortproef te realiseren.

Uitvoeren van de proefseries

Aan boord van de “Cetus” zijn aan stuurboordzijde twee rijen van 14 blokken opgesteld. Rij A bevindt zich aan de buitenkant en zal als eerste worden gestort, rij B is de tweede rij op het dek, de posities van de blokken zijn zichtbaar in bijlage F-3.

De onderlinge afstand van de in één rij aan dek volgt uit het plaatsingspatroon voor de berm en bedroeg gemiddeld 3,10 m h.o.h. Het schip is zodanig geballast dat het stortdek horizontaal is. De hoogte van het stortdek ten opzichte van de waterspiegel bedroeg voor 2,10 m en achter 2,20 m.

De positionering van het schip heeft plaatsgevonden met behulp van het Microfix-plaatsbepalingssysteem, tevens zijn beide ankers gebruikt.

Om de valsnelheid van de blokken te bepalen is gebruik gemaakt van de methode van de breuklijntjes. Aan een blok worden twee lijntjes met een bekende lengte bevestigd, de andere kant van de lijntjes wordt aan de schuifstorter bevestigd. Het eerste lijntje breekt als het blok een waterdiepte heeft bereikt van drie meter en het tweede breekt bij een diepte van 17 m. Aannemende dat bij een diepte van drie meter het blok de evenwichtsnelheid heeft aangenomen, is door het tijdsverschil te meten tussen beide breekmomenten de evenwichtssnelheid bepaald.

Van het moment dat de blokken op het dek worden geplaatst tot het moment dat ze afgeschoven worden zijn er video-opnamen gemaakt en is het proces zorgvuldig waargenomen. Achteraf zijn er

nog onderwateropnamen gemaakt met de R.O.V, ook hebben nog enkele duikers onderwater metingen gedaan naar de ligging van de blokken op de bodem.

Waarnemingen tijdens de proef

Tijdens het uitvoeren van de proef zijn de volgende waarnemingen gedaan:

- de blokken zijn zeer nauwkeurig op het dek van de schuifstorter aangebracht. Het is gebleken dat de laadtijd van de schuifstorter niet verschilt met het laden van een bak. De schuifstorter moet wel aan de kade keren om de andere zijde te beladen, echter door eigen voortstuwing gaat dit zeer snel.
- tijdens het afschuiven van de blokken bleek dat de afgeschuimde schuiven tegen de onderkant van de blokken aan gaan duwen. Om het extreme kantelen van de schuiven zelf tegen te gaan zijn deze tijdens het afschuiven steeds weer iets terug gehaald om vervolgens de blokken weer verder te schuiven. Dit is een geschikte methode gevonden.
- er zijn vier blokken voorzien van breuklijntjes, om de valsnelheid te bepalen. Twee van de vier lijntjes braken voordat ze geheel afgewikkeld waren, doordat ze niet goed opgeschoten waren en werden afgekneld. De andere twee metingen lukten wel en de tijd tussen breken van het eerste en het tweede lijntje bedroeg respectievelijk 1,95 s en 2,04 s. Dit is een gemiddelde van 2,0 s. Over een afstand van 14 m betekende dit een gemiddelde valsnelheid van 7,0 m/s.
- visueel is waargenomen dat de blokken de zijkant van het schip niet raakt, tijdens het afschuiven. Ook bleek dat de blokken niet allemaal tegelijk naar beneden gingen, echt min of meer individueel. Dit komt waarschijnlijk door onregelmatigheden in de blokken en aan de aan dek achtergebleven steen van eerdere storten. Tevens ‘lopen’ de schuiven, die wel gekoppeld zijn, nooit allen precies even hard.

Inspectie door duikers en met de R.O.V.:

Door de inspectie van de duiker en de R.O.V. zijn de volgende waarnemingen verkregen:

- de blokken liggen waarneembaar in één rij, er is naar aanleiding van de duikers en de R.O.V een schets gemaakt hoe de blokken erbij liggen, zie bijlage F-3. Wel is in de bijlage duidelijk zichtbaar dat de volgorde van sommige blokken niet gelijk meer is bij de volgorde zoals de blokken op het dek stonden, vergelijk met bijlage F-3. Dit is mogelijk te verklaren door het feit dat de blokken niet tegelijk vallen en dus bovenop elkaar terecht kunnen komen waarna ze weggedraaid zijn. Dit is zeer aannemelijk nadat ook blijkt dat de blokken van rij B veel meer onregelmatigheid vertonen dan rij A, omdat vermoedelijk de blokken van rij B gedeeltelijk op rij A zijn terecht gekomen;
- het bleek dat bijna alle blokken op hun zijkant lagen en dat een paar overeind stonden en een enkeling lag op zijn kop;
- ook was er geen enkel blok gebroken en slechts een enkeling had een kleine beschadiging aan een hoekpunt;
- uit de afstandsmeting, die uitgevoerd is door de duikers, blijkt dat de positie van de blokken zeer goed overeenkomt met waar deze theoretisch zouden moeten liggen. Er blijkt dat de kubussen gemiddeld één meter buiten de zijkant van het schip zijn gevallen. Deze kleine afstand valt echter al binnen de nauwkeurigheid van het Microfix-plaatsbepalingssysteem.

F-3 Kubussen op stortschip en het stortresultaat

Kubussen op het stortschip de ‘Cetus’ [bron: Zinkcon bv, 1987]

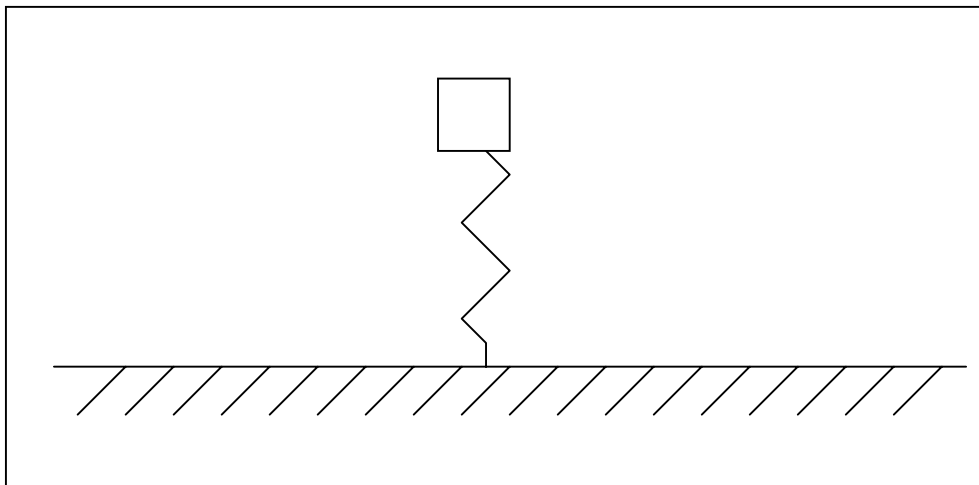
Stortresultaat na inpeiling door duikers

H Elasticiteitscoëfficiënten en schaaleffecten

[Bron: VAN DER VLIET, 2001] Het materiaal van de kubussen in het model is gelijk aan het materiaal van de kubussen van het prototype, namelijk beton. Hieruit volgt dat de elasticiteitscoëfficiënt voor model en prototype ook gelijk zijn. In het rapport ‘valproeven met een betonnen kubus, m586’ (1969) wordt gesteld dat de kubussen in het model relatief verder zullen wegspringen ten opzichte van kubussen in een prototypesituatie, omdat de elasticiteitscoëfficiënt voor model en prototype gelijk is. Dit heeft gevolgen voor de schaal van het model. Op basis van een relatief klein model, bijvoorbeeld schaal 1:50 kan worden geconcludeerd dat een bepaalde pakkingdichtheid van betonnen kubussen in de afdeklaag niet haalbaar is, terwijl dit in een prototype situatie wel degelijk haalbaar is.

De redenering is echter twijfelachtig. Stel dat er geen energieverlies optreedt tijdens het vallen en het neerkomen. Daarnaast wordt aangenomen dat het vallende voorwerp weer recht omhoog stuitert. Elk voorwerp zal precies zo ver omhoog stuiteren totdat het punt van loslaten is bereikt. Dit is dus onafhankelijk van de grootte, de zwaarte en de elasticiteitscoëfficiënt van de kubus.

Met behulp van een eenvoudige modellering wordt geprobeerd of het bovengenoemde bevestigd kan worden. Hiertoe wordt de neerkomende kubus als volgt gemodelleerd. De ondergrond wordt volkomen stijf verondersteld. Alleen de kubus bezit dus een bepaalde elasticiteit. De kubus zelf wordt gemodelleerd als een puntmassa en een veer. De veer bevindt zich tussen de kubus en de oneindig stijve ondergrond. Om het moment dat de kubus de grond raakt, wordt de veer ingedrukt en vindt er een tegenreactie plaats. In onderstaande figuur is een tekening van de modellering van de kubus op het moment van neerkomen weergegeven.



Tijdens de het neerkomen van de kubus wordt een deel van de energie omgezet. De meeste energie wordt omgezet in warmte, maar een deel van de kinetische energie kan zorgen voor bijvoorbeeld vervorming van de ondergrond. Voor het model wordt echter aangenomen dat alle energie wordt omgezet in warmte.

Uit de tekening blijkt duidelijk dat de kubus nu is gemodelleerd als een massaveersysteem. De versnelling van de massa wordt gegeven door de volgende vergelijking.

$$(\rho_s D_n^3) a = (\rho_s D_n^3) g - kx + \lambda v$$

Hierin is:	ρ_s	massadichtheid van de kubus [kg/m ³];
	D_n	diameter van de kubus [m];
	a	versnelling van de kubus [m/s ²];
	g	zwaartekrachtversnelling (m/s ²);
	k	veerconstante [N/m];
	λ	component voor energieomzetting [J/m];
	v	momentane snelheid van de kubus [m/s];
	x	lengteverkorting van de veer [m].

De uitdrukking voor de veerconstante k wordt als volgt afgeleid. De reactiekracht in een betonnen element, dat wordt belast op zuivere druk, wordt gegeven door onderstaande vergelijking.

$$N = \frac{\Delta l}{l} EA$$

Hierin is	N	reactiekracht van het betonnen element [N];
	A	dwardsdoorsnede van het element [m ²];
	Δl	lengteverkorting van het element [m];
	l	lengte van het element in de richting van de belasting [m];
	E	elasticiteitscoëfficiënt van het beton.

Om de uitdrukking voor de veerconstante te vinden wordt de volgende vergelijking opgesteld.

$$kx = N = \frac{\Delta l}{l} EA$$

Hierin is Δl gelijk aan x , het oppervlak A is gelijk aan D_n^2 en l is gelijk aan D_n . Bovenstaande vergelijking reduceert dan tot deze vergelijking:

$$k = ED_n$$

De uitdrukking voor de component voor de energieomzetting is een stuk moeilijker. Het is niet goed bekend op welke factoren een rol spelen bij het omzetten van de energie. Vooralsnog wordt verondersteld dat deze constant is. Met behulp van de bewegingsvergelijkingen kan nu in principe de snelheid worden berekend waarmee de kubus weer omhoog stuitert.

Indien men de berekening uitvoert, dan blijkt dat bij een constante waarde voor λ het energieverlies bij een kleine kubus relatief groter is dan bij een relatief grote kubus. De hypothese dat een grotere kubus een groter energieverlies kent gaat alleen op als λ een functie is van het volume van de kubus. Of dit werkelijk zo is, is niet bekend. Verder rekenen heeft dan ook geen zin. In serie A zullen enkele proeven met verschillende maten kubussen worden uitgevoerd om de hypothese te controleren.

I-1 Primitief model afschuiven van kubussen

In het hoofdverslag is gesteld dat er met deze opstelling een aantal proeven kunnen worden uitgevoerd, om een idee van verschillende parameters op de val van een kubus te verkrijgen. Deze invloeden zijn opgedeeld in een aantal punten.

- effect van de methode van afschuiven op het rotatiepunt van de kubus;
- afzetgrootte bij dezelfde afschuifmethode;
- afzetgrootte bij verschillende afschuifmethoden;
- invloed afschuifsnelheid op de afzetgrootte;
- rotatieontwikkeling van een afgeschoven kubus;
- invloed van de kubusgrootte op bovenstaande eigenschappen.

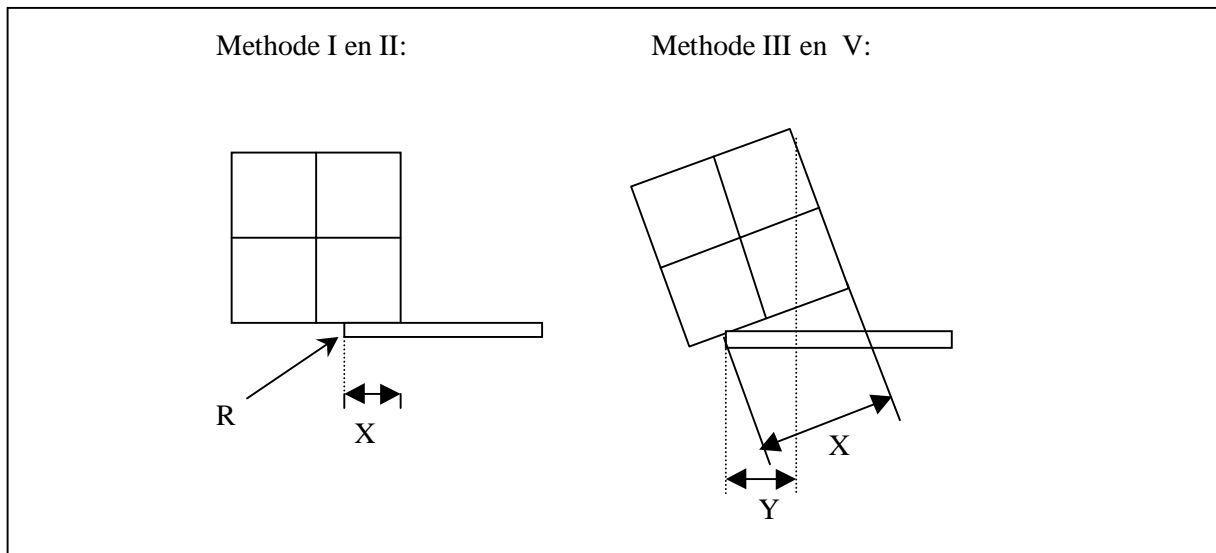
In deze bijlage staan de gegevens die verkregen zijn uit deze proeven weergegeven. Van ‘het effect van de methode van afschuiven op het rotatiepunt van de kubus’ en ‘de rotatieontwikkeling van een afgeschoven kubus’ zijn de conclusies al weergegeven in het hoofdverslag, van deze twee punten worden hier dan ook alleen de resultaten gegeven.

Effect van de methode van afschuiven op het rotatiepunt van de kubus

In het hoofdverslag worden vier verschillende afschuifmethoden voorgesteld, deze zijn:

- I. Afschuiven met een verticale schuif (of in dit geval een gelijke kubus, zie de foto);
- II. Afschuiven met een lijndruk aan de onderkant van de kubus;
- III. Afschuiven met een lijndruk aan de bovenkant van de kubus;
- IV. Afschuiven met een lijndruk in het midden van de kubus.

Uit onderzoek is gebleken dat deze afschuifmethoden tot verschillend rotatiegedrag van de kubus leiden. In onderstaande figuur is schematisch aangegeven hoe een kubus roteert bij de verschillende afschuifmethoden. Het verschil in dit rotatiegedrag kan worden aangegeven door de positie van het rotatiepunt (R) ten opzichte van de achterzijde van de kubus.



Hierin is:

- X = afstand van het rotatiepunt van de kubus tot de achterzijde van de kubus;
 Y = afstand van het rotatiepunt van de kubus tot het afschuifmiddel;
 R = rotatiepunt van de kubus.

Bij de methoden I en II zijn de X- en de Y-waarden gelijk.

In onderstaande tabel zijn de gemiddelde X- en Y-waarden, voor een grote reeks afgeschoven kubussen per afschuifmethode, weergegeven.

Methode:	Afschuiven met...	Rotatiepunt kubus (X-waarde)		Afstand tot afschuifmiddel (Y-waarde)	
		Langzaam [cm]	Snelst [cm]	Langzaam [cm]	Snelst [cm]
I	Andere kubus	6,04	6,93	Idem	Idem
II	Lijndruk onderzijde	5,83	6,28	Idem	Idem
III	Lijndruk bovenzijde	13,03	-	4,1	-
IV	Lijndruk midden	8,0	7,8	6,4	6,4

Afzetgrootte bij dezelfde afschuifmethode

Door kubussen met dezelfde snelheid en dezelfde afschuifmethode af te schuiven en alleen de valhoogte te variëren kan de valbaan van een kubus bepaald worden. Maar doordat de horizontale afzetgrootte van de kubus bij deze kleine afschuifsnelheden zo klein is, kan deze niet met deze opstelling worden bepaald.

Afzetgrootte bij verschillende afschuifmethoden

Het bepalen van de afzetgrootte [A] van een kubus bij dezelfde valhoogte [H] maar met verschillende afschuifmethoden, is ook een effect dat onderzocht dient te worden. Maar ook hier zijn de verschillen erg klein en is het dus niet mogelijk dit effect met deze opstelling te onderzoeken.

Invloed afschuifsnelheid op de afzetgrootte

Het lijkt triviaal dat tussen de afschuifsnelheid en de afzetgrootte een direct verband ligt. Maar hoe verhouden ze zich in deze situatie? Door te variëren in de afschuifsnelheid en het meten van de opgetreden afzetgrootte kan dit verband gevonden worden. Maar door de kleine range in de afschuifsnelheden en de onnauwkeurigheid hiervan is dit niet in deze proef aan te tonen. Wellicht kan dit later door een goed model wel gedaan worden.

Hoe roteert een afgeschoven kubus

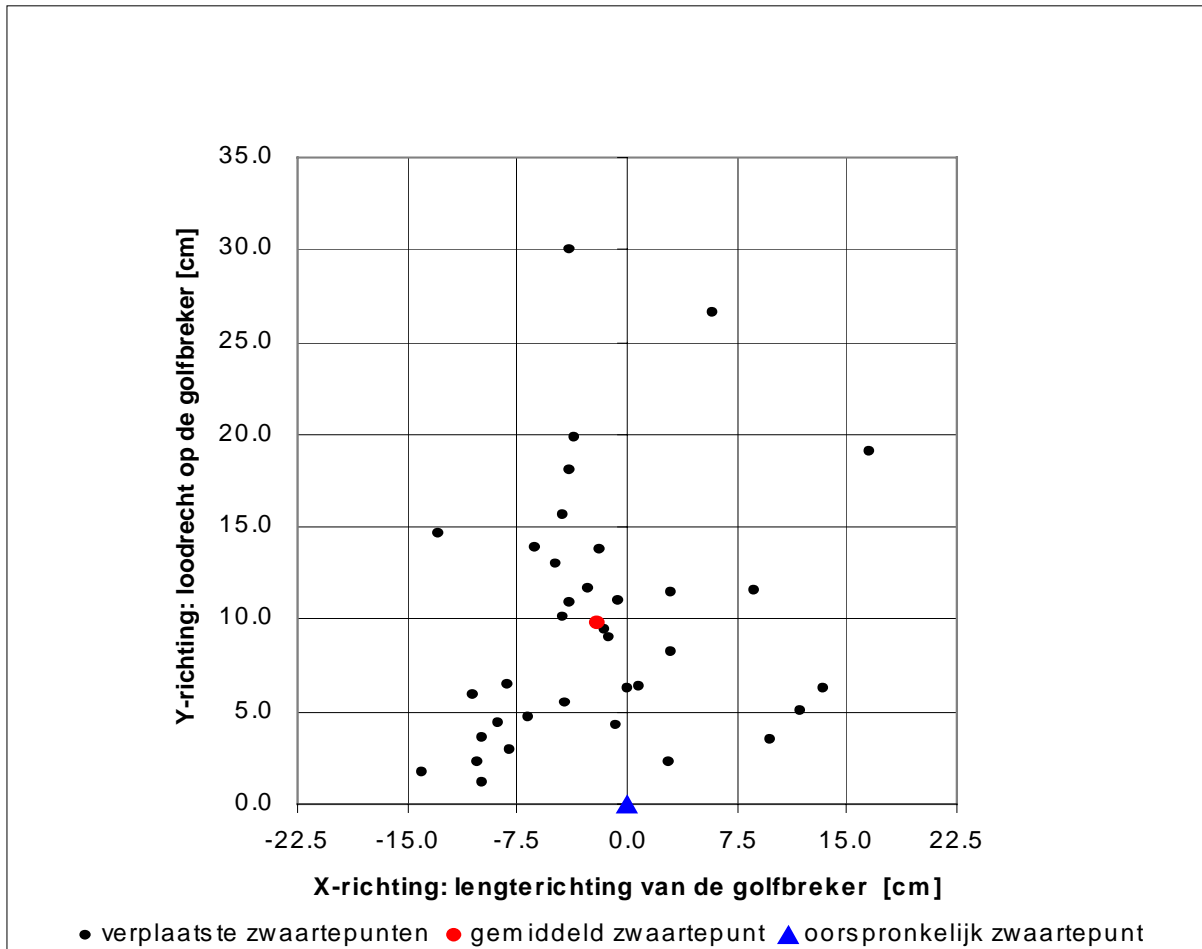
Deze resultaten en conclusies zijn in zijn geheel weergegeven in het hoofdverslag.

Invloed van de kubusgrootte op bovenstaande eigenschappen

Wat de invloed is van de kubusgrootte op de hierboven genoemde eigenschappen van een afgeschoven kubus is niet bekend. Door dezelfde proeven met grotere kubussen uit te voeren zou dit kunnen worden onderkend. Door de onnauwkeurigheden van deze opstelling is dit hier niet verder onderzocht. Wel kan worden gesteld dat, als bovenstaande eigenschappen voor de daar toegepaste kubusgrootte bekend zijn, deze in eerste instantie conform de geldende schaalregels kunnen worden verschaald.

I-2 Verplaatsing zwaartepunten

In onderstaande figuur is de verplaatsing van de zwaartepunten van de handmatig afgeschoven kubussen ten opzichte van een vast punt (0,0) aangegeven.



J-1 Afgeschoven kubus met het model



1



2



3



4



5



6



7



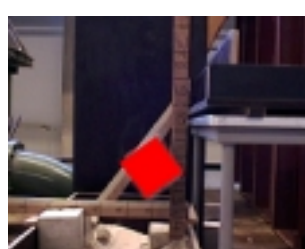
8



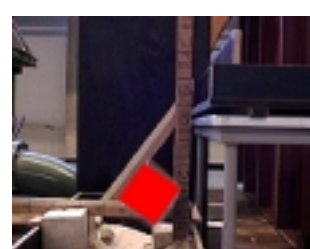
9



10



11

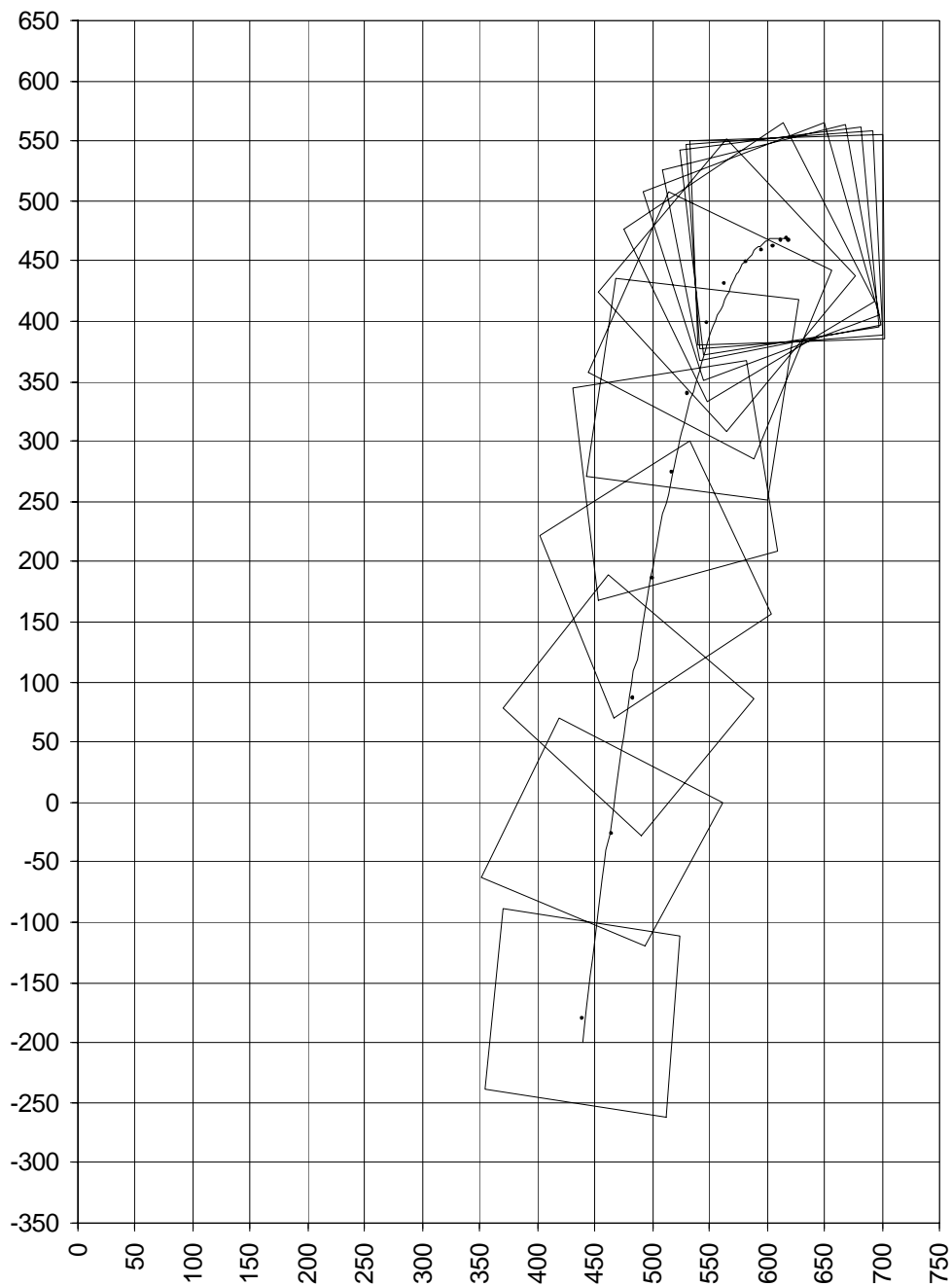


12

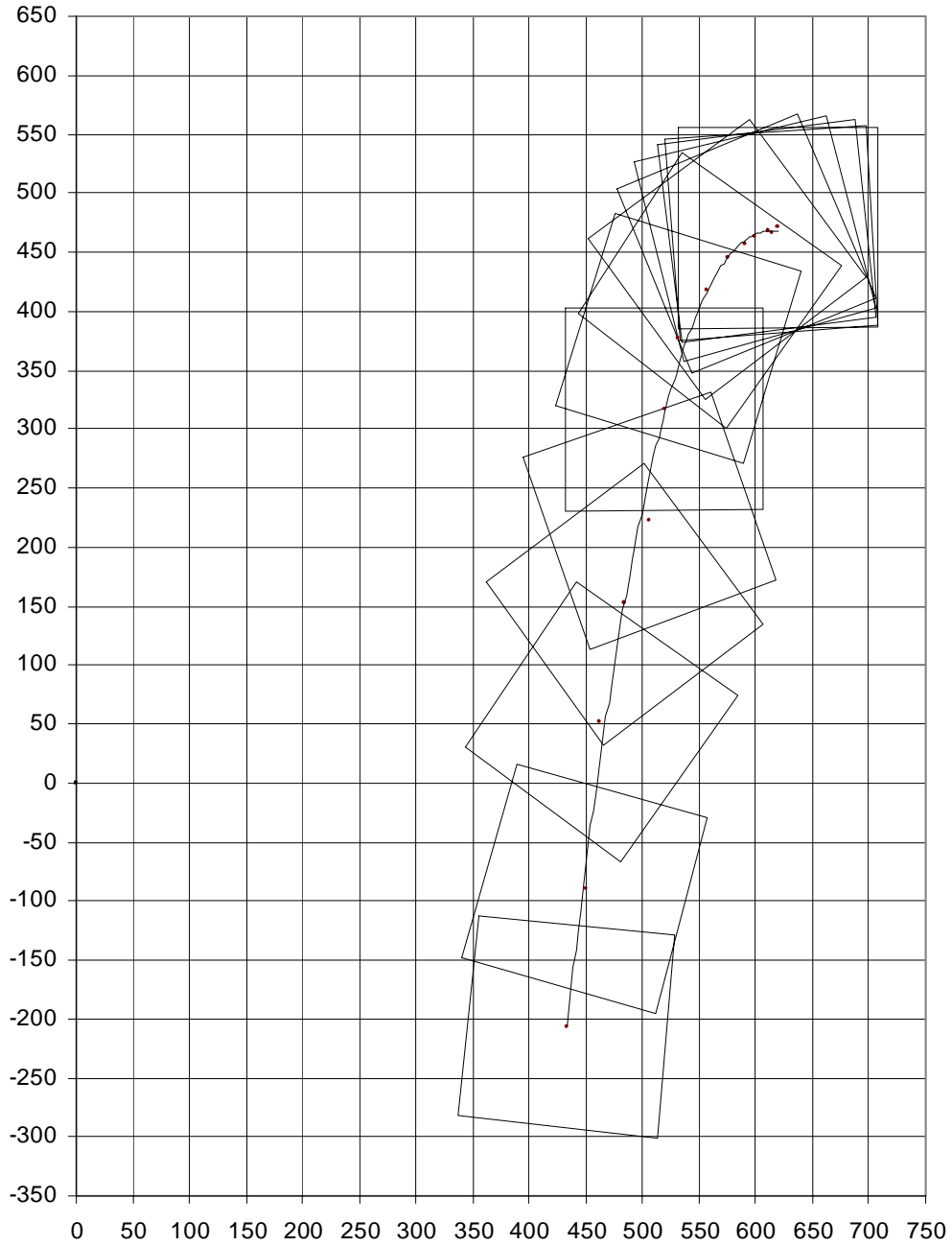
J-2 Valbanen van een kubus

Van de foto's die volgen uit de videobeelden zijn de coördinaten van de hoekpunten van de kubus met behulp van een computerprogramma, gegeneerd. Deze hoekpunten zijn weergegeven in een assenstelsel. In onderstaande figuren is allereerst een langzaam afgeschoven kubus weergegeven en daarna een kubus die 'snelst' is afgeschoven.

Langzaam afgeschoven kubus:



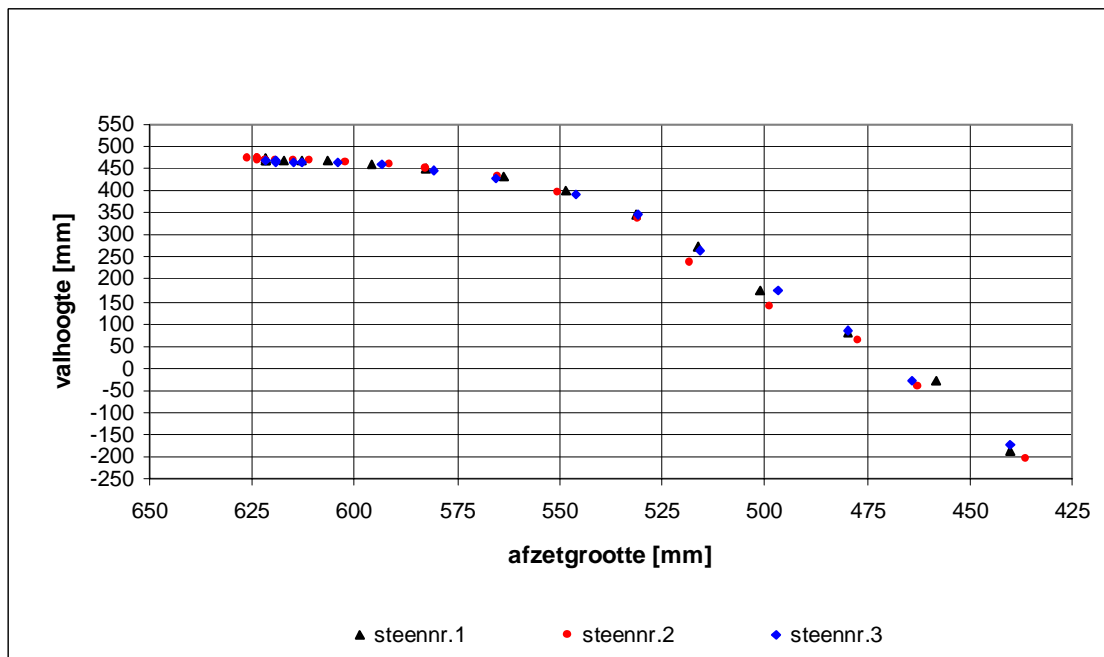
'Snelst' afgeschoven kubus:



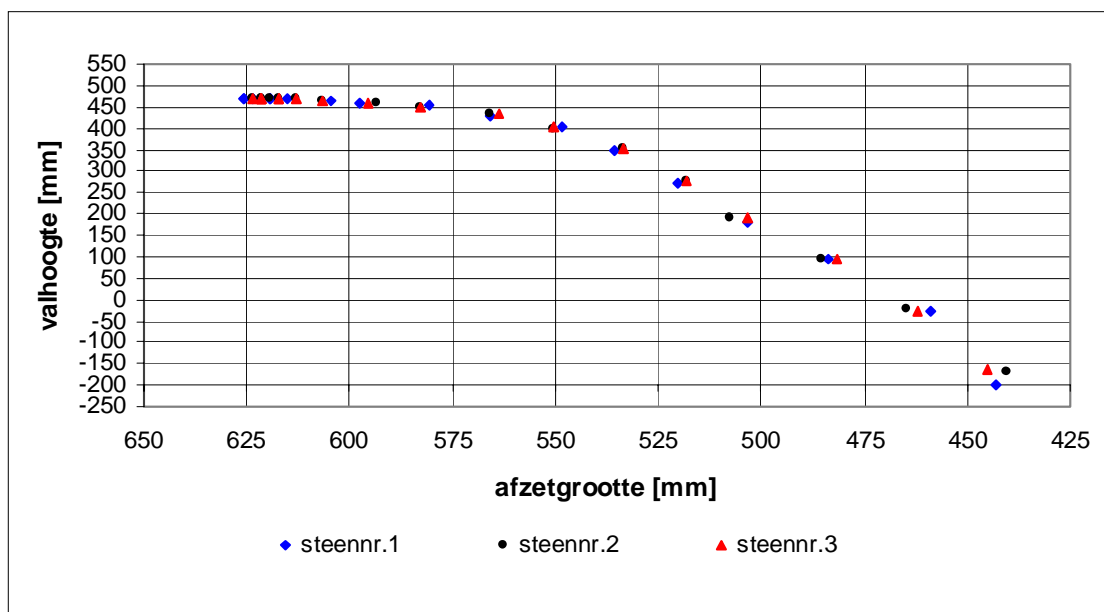
J-3 Zwaartepunten van de kubussen

Uit de coördinaten van de hoekpunten van de kubussen, kunnen de coördinaten van de zwaartepunten berekend worden. Deze punten zijn in onderstaande figuren aangegeven voor de verschillende tijdstippen tijdens het afschuiven van de kubussen. Per figuur zijn drie lijnen getekend voor de drie uitgevoerde experimenten. Duidelijk is dat er weinig verschil tussen de lijnen bestaat, waaruit geconcludeerd wordt dat er in deze marge van de afschuifsnelheid, de afschuifsnelheid geen invloed heeft op de valbaan van de kubus.

Langzaam afgeschoven:



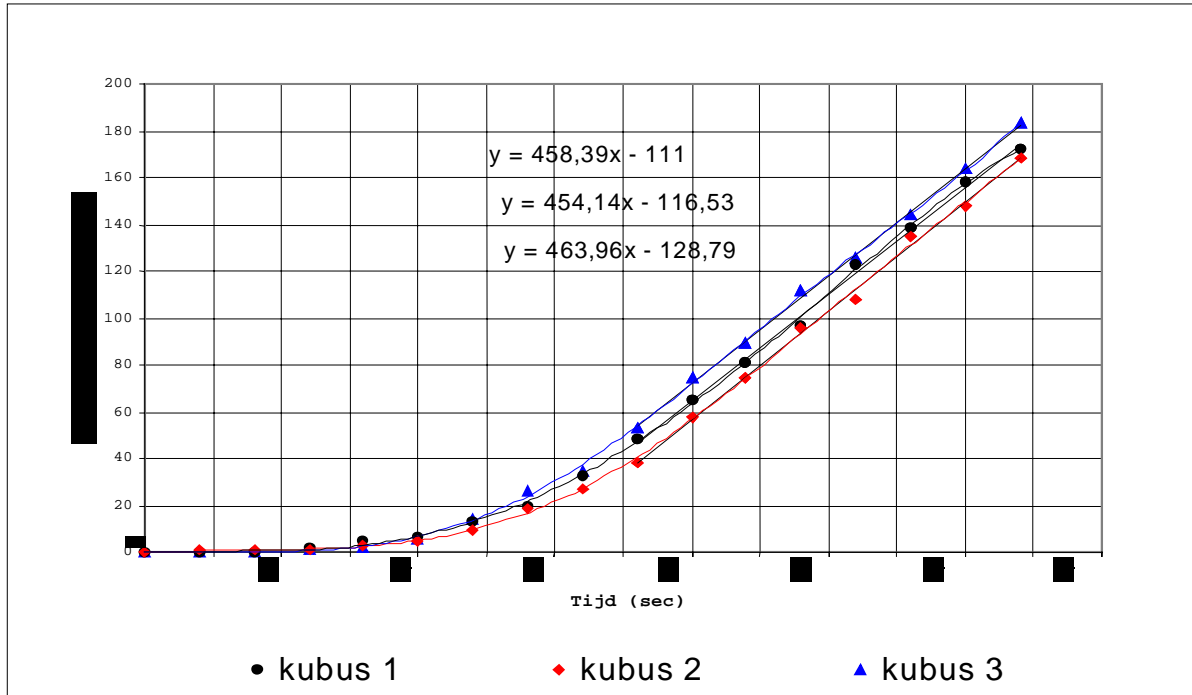
Snelst afgeschoven:



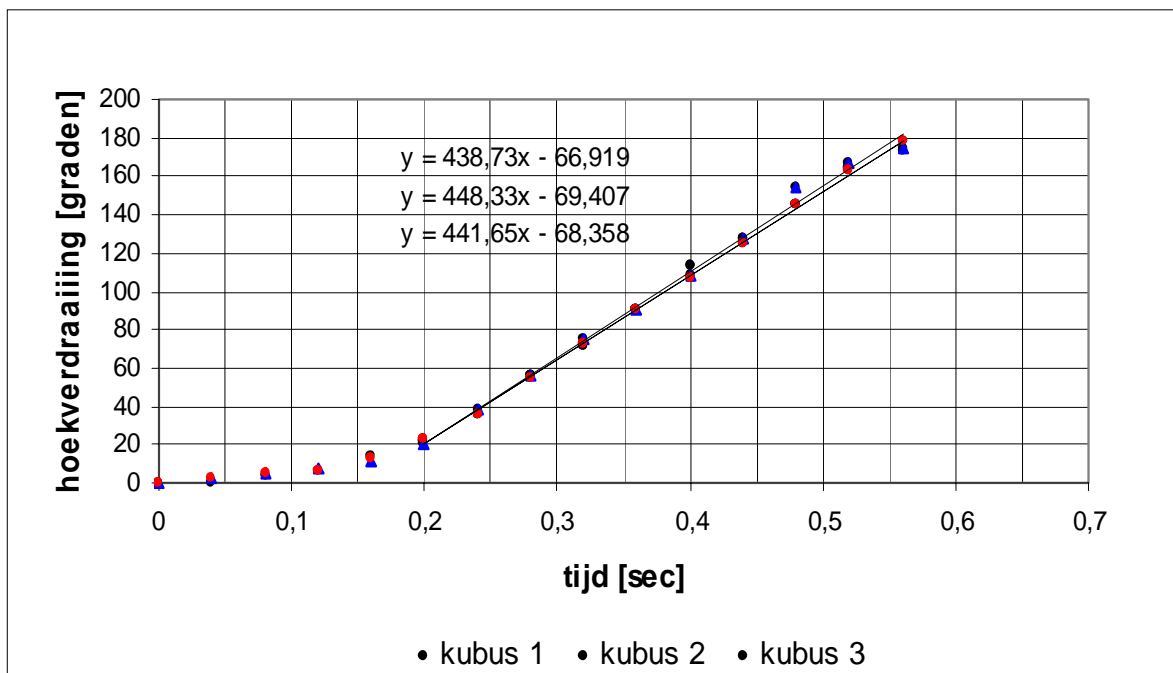
J-4 Hoekverdraaiing van een kubus

In onderstaande figuren is de hoekverdraaiing van een kubus ten opzichte van de tijd aangegeven. Dit is weergegeven voor de langzaam en snelst afgeschoven kubussen.

Langzaam afgeschoven kubus:

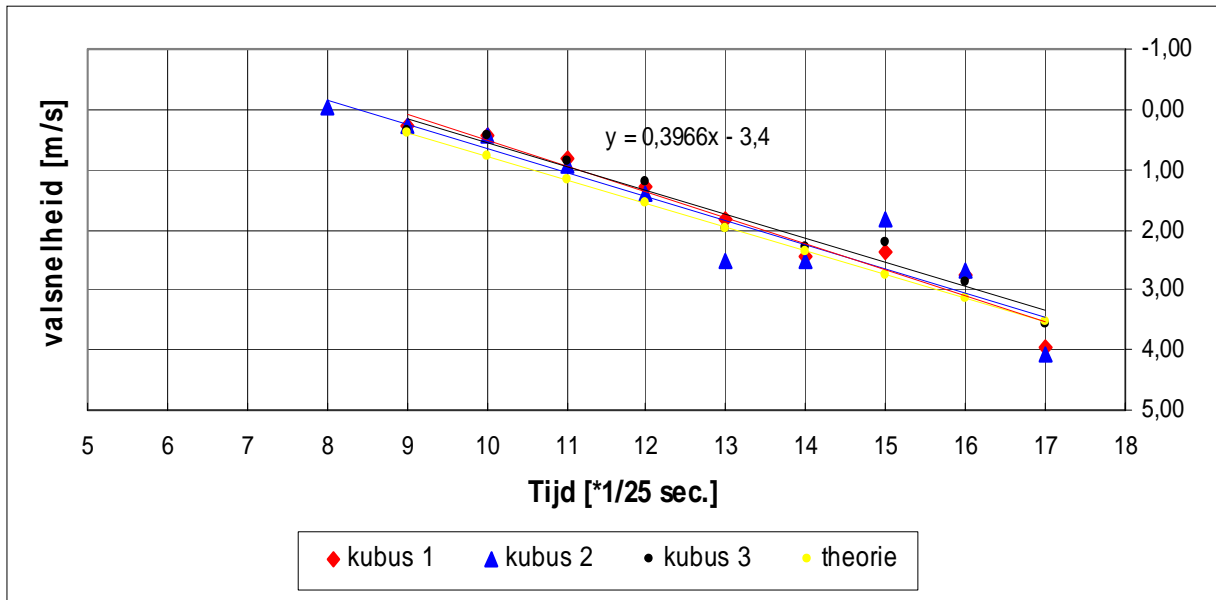


Snelst afgeschoven kubus:



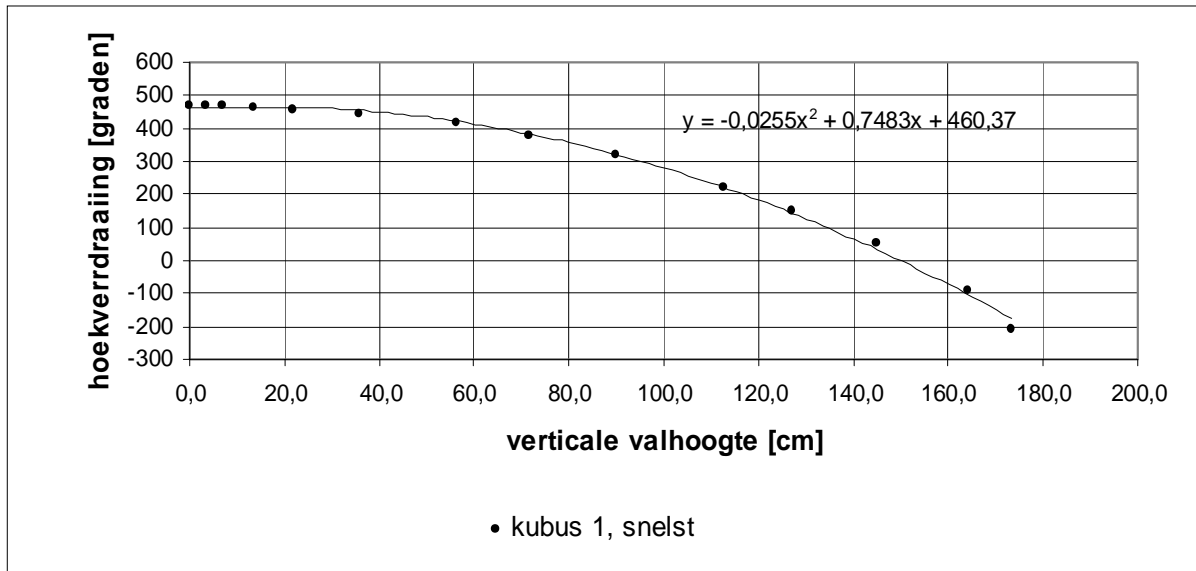
J-5 Valsnelheid van een kubus

In deze bijlage staat de valsnelheid van de kubussen uitgezet tegen de tijd. In de grafieken is ook de vergelijking van de gemiddelde (rechte) lijn vermeld. Hieruit blijkt dat de kubussen exact volgens de gravitatieversnelling ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) vallen (Want $0,3966 \cdot 25 = \pm 9,81$).



J-6 Raakpunt van de kubus met het water

In onderstaande figuur is de hoekverdraaiing tegen de verticale valhoogte uitgezet. Met behulp van een spreadsheetprogramma is van deze lijn een vergelijking gegenereerd. Met deze vergelijking kunnen de exacte posities van de raakpunten van de kubussen met de waterspiegel worden berekend.



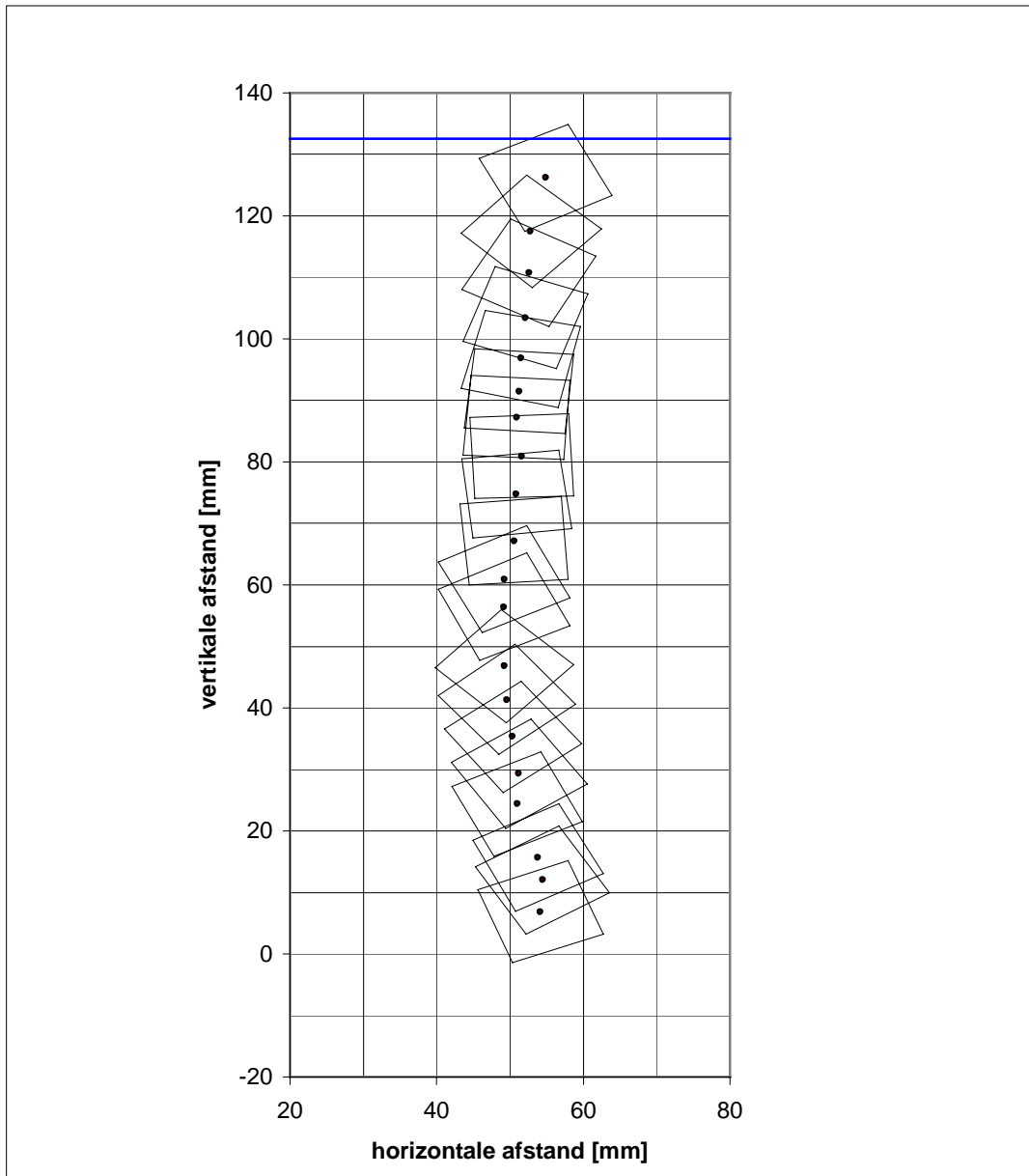
In onderstaande tabel is stapsgewijs de valhoogte van de kubus bepaald, waarbij de kubus het water met een ribbe of met een vlak raakt.

Graden		y-coördinaat zwaartepunt	afstand zwaartepunt tot wateroppervlak	y-coördinaat wateroppervlak	valhoogte [cm]
45	ribbe	442,41	106,07	336,34	13,37
90	vlak	321,17	75,00	246,17	22,38
135	ribbe	96,65	106,07	-9,41	47,94
180	vlak	-231,14	75,00	-306,14	77,61
225	ribbe	-662,20	106,07	-768,27	123,83

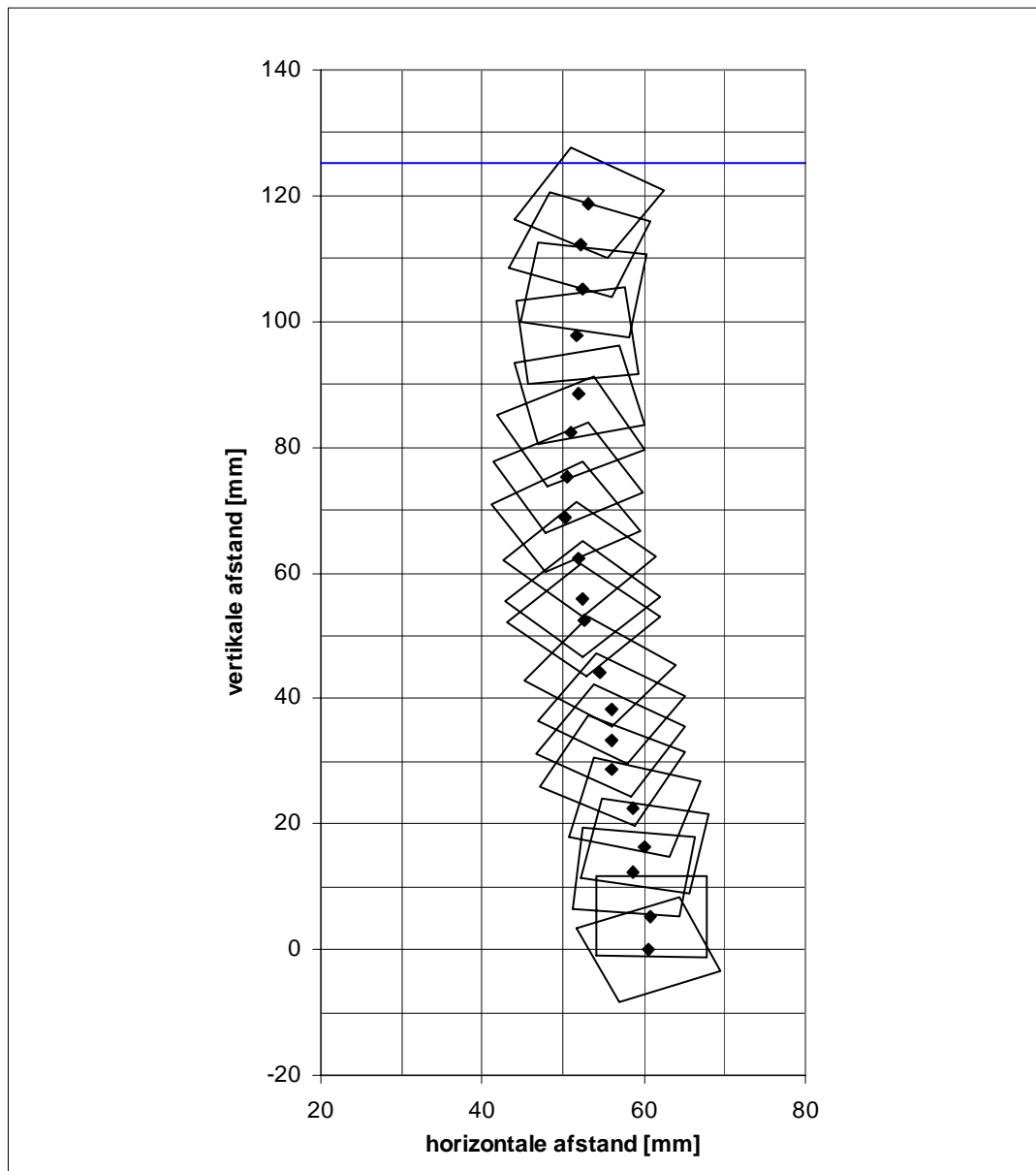
De y-coördinaat van het zwaartepunt van de kubus, waarbij of met een ribbe of met een vlak de waterspiegel geraakt wordt, wordt berekend met behulp van de gegenereerde vergelijking. De afstand van het zwaartepunt tot de waterspiegel (in de vierde kolom) is voor een ribbe en een vlak respectievelijk $7,5 \cdot \sqrt{2}$ en 7,5 cm. Uit deze twee gegevens kunnen de y-coördinaten van de zwaartepunten berekend worden. Door nu deze waarde van het oorspronkelijke vertrekpunt af te trekken wordt de exacte valhoogte bepaald.

K-1 Valbanen van kubussen in het water

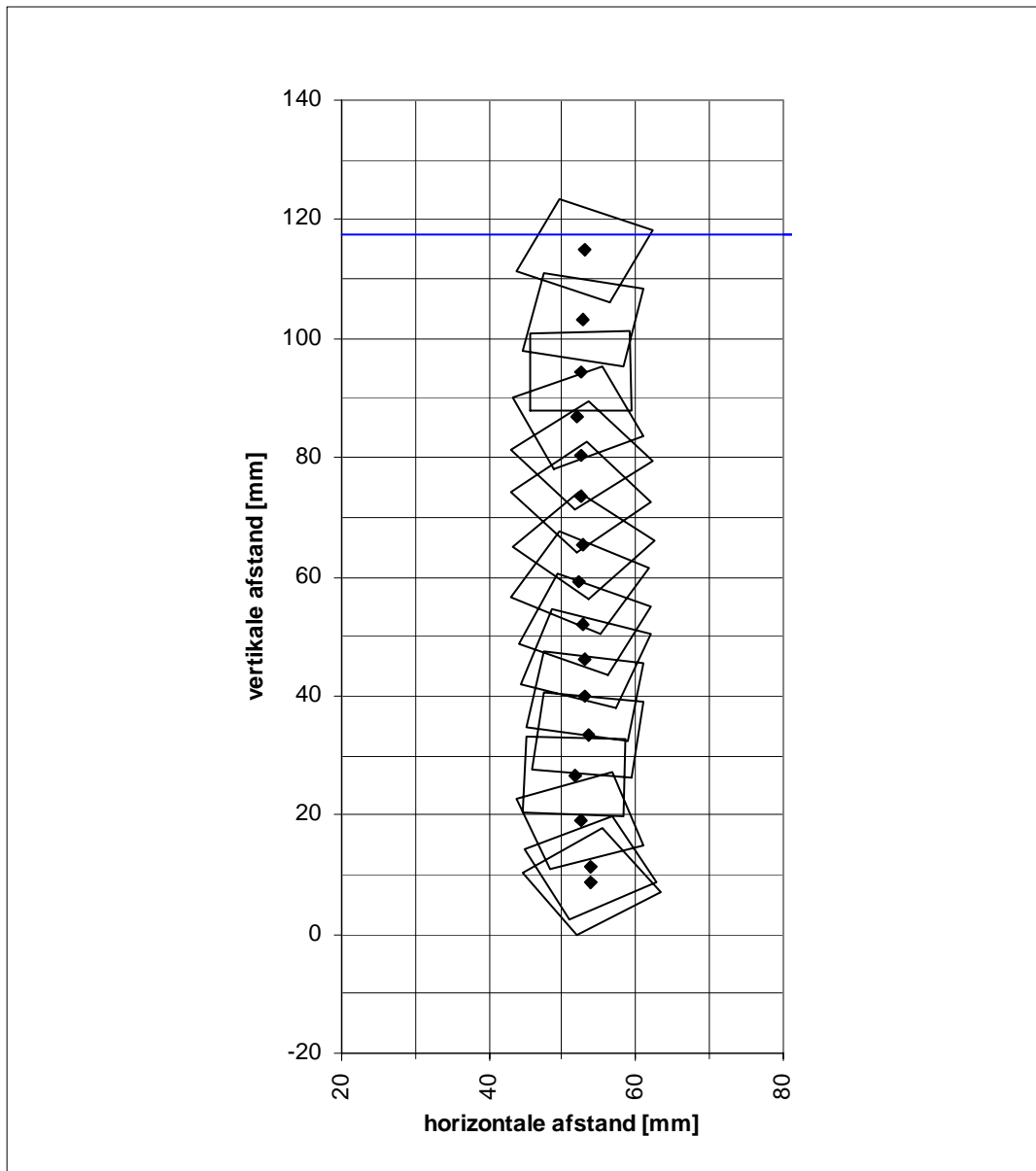
Valbaan van een kubus bij een valhoogte van 27,5 cm.



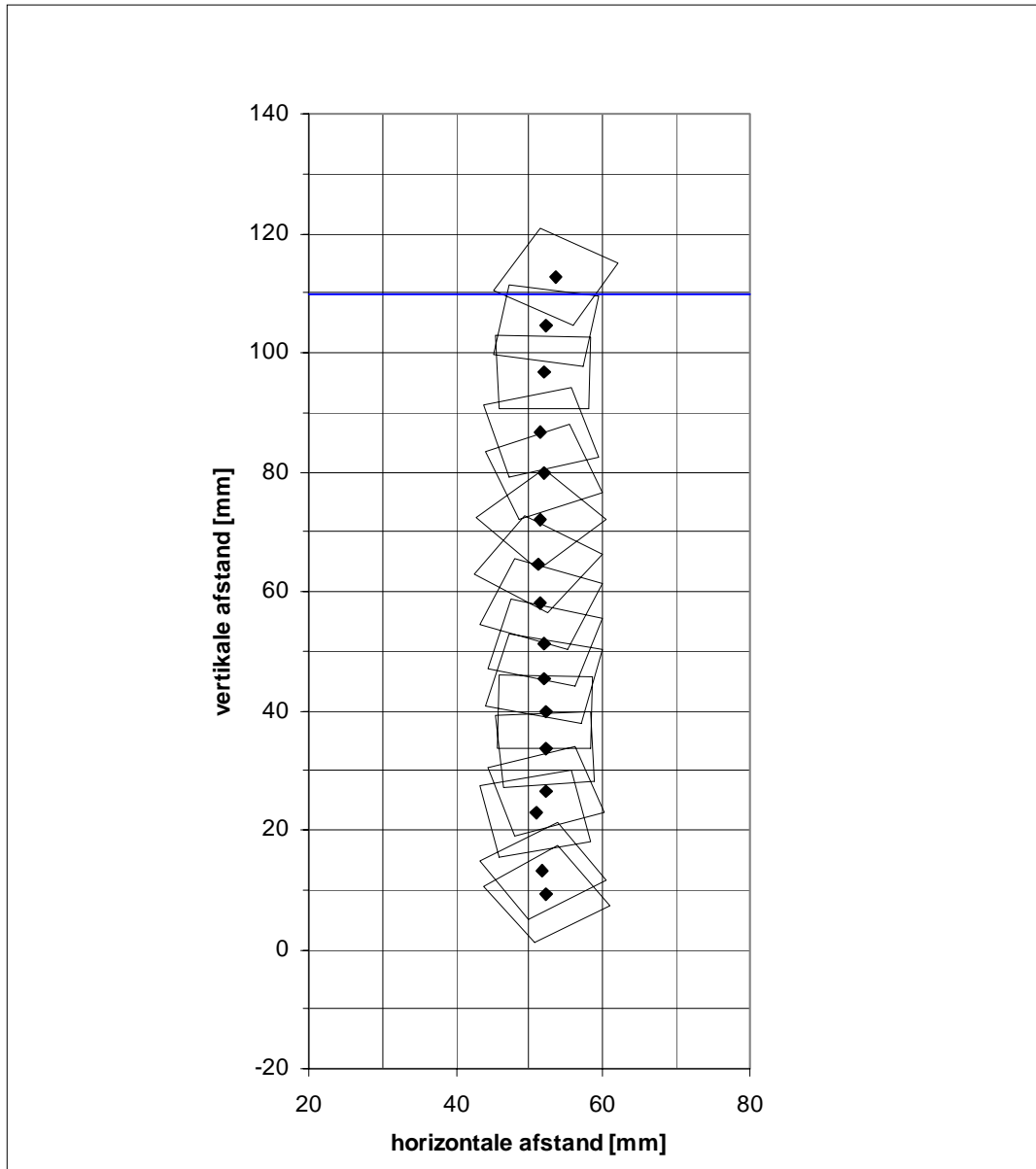
Valbaan van een kubus bij een valhoogte van 35,0 cm.



Valbaan van een kubus bij een valhoogte van 42,5 cm.

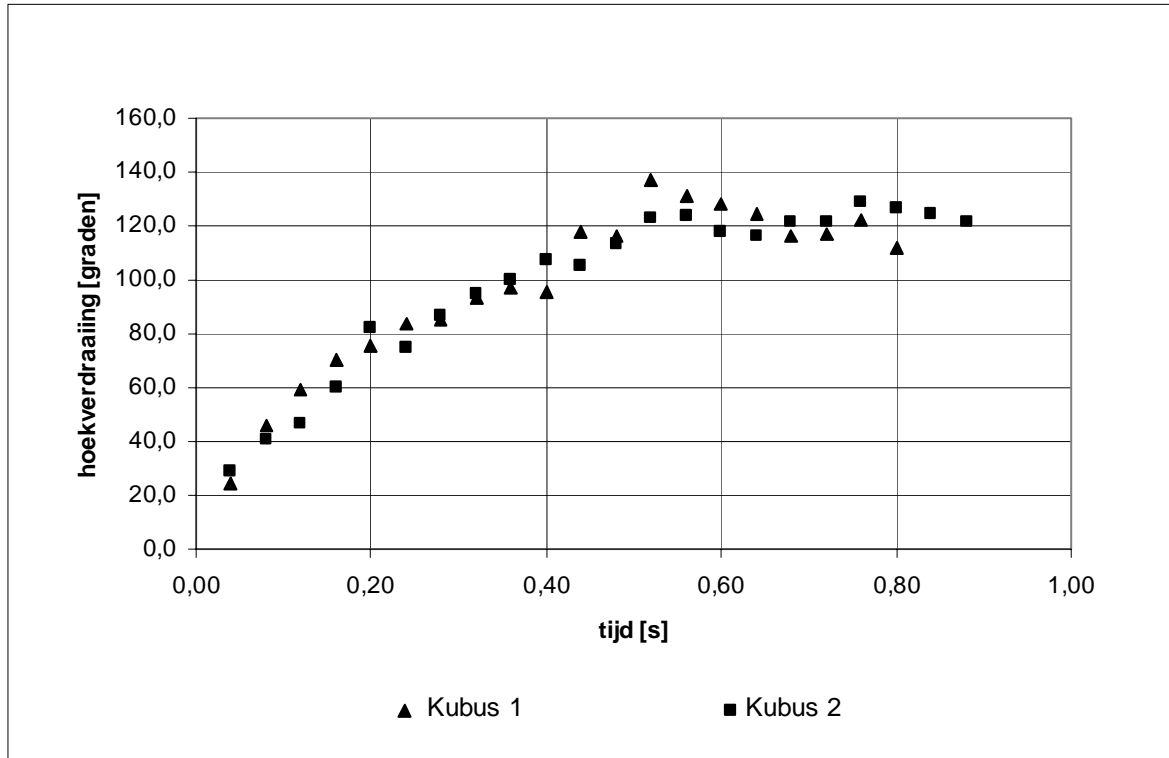


Valbaan van een kubus bij een valhoogte van 50,0 cm.

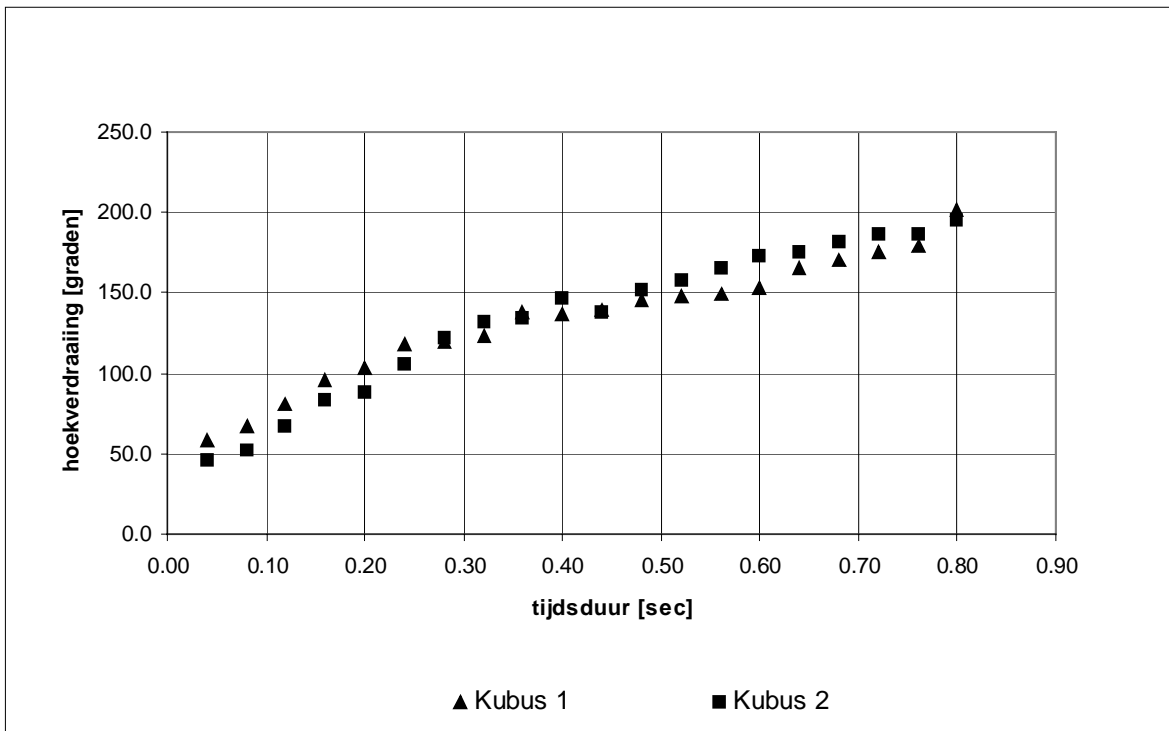


K-2 Hoekverdraaiingen van kubussen in het water

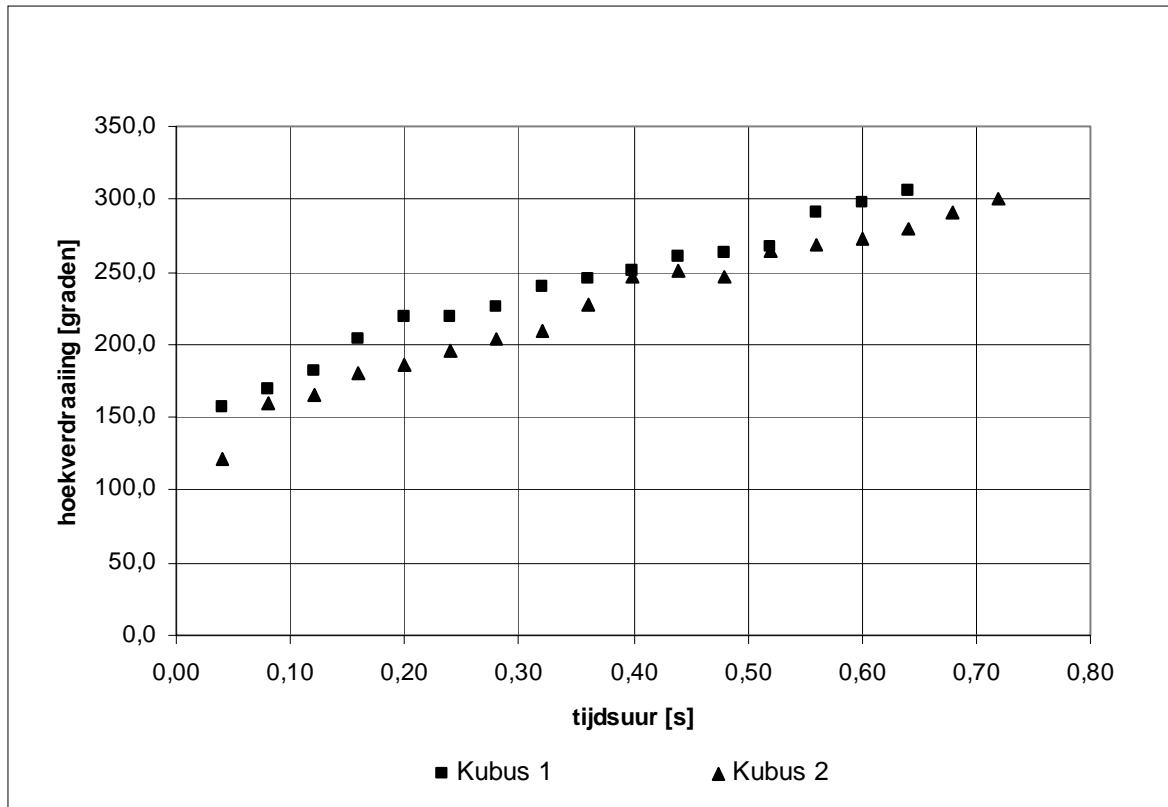
Hoekverdraaiing van een kubus met een valhoogte van 27,5 cm.



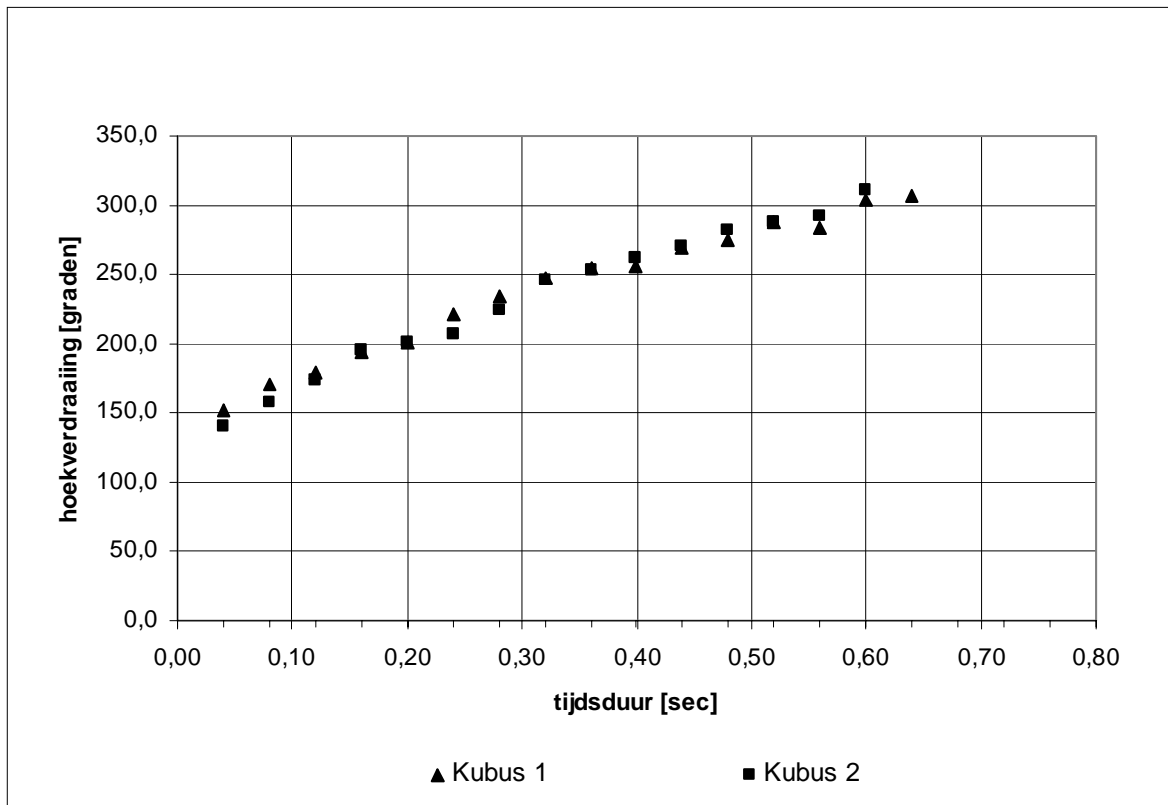
Hoekverdraaiing van een kubus met een valhoogte van 35,0 cm.



Hoekverdraaiing van een kubus met een valhoogte van 42,5 cm



Hoekverdraaiing van een kubus met een valhoogte van 50,0 cm

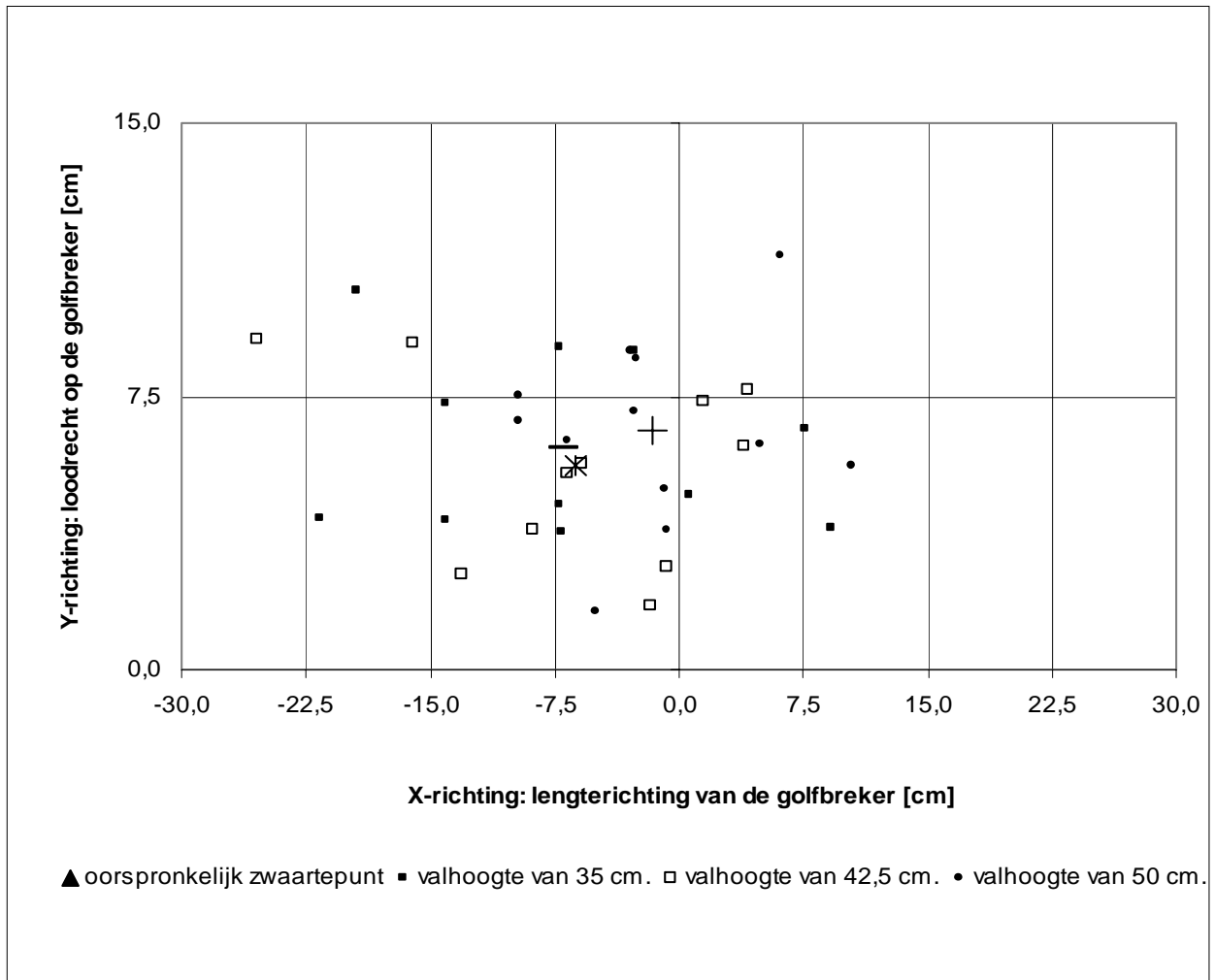


K-3 Verplaatsing zwaartepunten in het water

Tabel met de resultaten van de verplaatsing van de zwaartepunten en de r-waarden

valhoogte	kubusnr.	Verplaatsing zwpt. kubus:		r-waarde:	gemiddelde r-waarde
		x-richting:	y-richting:		
42,5 cm.	1	4,2	7,7	8,8	10,4
	2	-5,9	5,7	8,2	
	3	-8,8	3,8	9,6	
	4	-13,1	2,6	13,3	
	6	-1,7	1,8	2,5	
42,5 cm.	7	-25,4	9,1	27,0	
	8	-16,1	8,9	18,4	
	9	-6,7	5,4	8,6	
	10	3,9	6,1	7,3	
	11	-0,8	2,8	2,9	
	12	1,5	7,3	7,5	
35 cm.	13	-19,5	10,4	22,1	
	14	-7,2	3,8	8,1	
	15	-21,7	4,2	22,1	
	16	-14,1	4,1	14,7	
	17	0,6	4,8	4,8	
35 cm.	18	-2,7	8,8	9,1	
	19	-7,3	8,8	11,5	
	20	-14,1	7,3	15,9	
	21	-7,3	4,6	8,6	
	22	9,2	3,9	10,0	
	23	7,7	6,6	10,1	
35 cm. (Geen golven of Circulatiestroming)	a	-11,4	13,8	17,9	9,7
	b	-2,5	-2,3	3,4	
	c	7,7	1,2	7,7	
	d	-10,2	2,3	10,4	
	e	-8,7	6,1	10,6	
	f	-5,9	5,2	7,8	
50 cm.	24	-6,7	6,3	9,2	8,8
	25	-3,0	8,8	9,2	
	26	-9,7	7,6	12,3	
	27	6,1	11,4	12,9	
	28	-0,8	5,0	5,0	
	29	10,4	5,6	11,8	
50 cm.	30	-9,7	6,8	11,9	
	31	-2,6	8,6	8,9	
	32	-2,7	7,1	7,6	
	33	-0,7	3,8	3,9	
	34	4,9	6,2	7,9	
	35	-5,1	1,6	5,3	
Overall gemiddelde:					10,3

Grafiek met de verplaatsing van de zwaartepunten



L-1 Proef C-0

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15$ m;
Maximale waterdiepte	:	n.v.t.;
Valhoogte	:	n.v.t.;
Oriëntatie	:	n.v.t.;
Methode van de stort	:	niet gestort, maar gezet, ter referentie;
Volgorde van stort	:	niet gestort;
Patroon van zetten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	0 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			167,4	mm
Gemeten oppervlak	1,52	1,54	1,53	m ²
Aantal kubussen	66	66	66	stuks
Porositeit	12,2	13,7	13,0	%
Plaatsingsdichtheid	97,9	96,3	97,1	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6	rij 7	rij 8	rij 9	rij 10	rij 11
y											
x											
kubus 1											
kubus 2											
kubus 3											
kubus 4											
kubus 5											
kubus 6											
kubus 7											

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

x \ y	rij 3	rij 1	rij 2	rij 4	rij 5	rij 6	rij 7	rij 8	rij 9	rij 10	rij 11
kubus 1											
kubus 2											
kubus 3											
kubus 4											
kubus 5											
kubus 6											
kubus 7											
kubus 8											

Inpeiling:

X \ Y	95	105	115	125	135	145
20	2359	2313	2231	2175	2113	2040
30	2320	2307	2211	2169	2108	2057
40	2348	2296	2250	2181	2117	2035
50	2354	2299	2234	2181	2114	2058
60	2356	2292	2217	2180	2102	2050
70	2366	2293	2253	2169	2126	2072
80	2381	2285	2241	2188	2100	2057
90	2365	2317	2237	2197	2129	2033
100	2362	2320	2263	2184	2132	2028
110	2360	2294	2241	2201	2095	2025
120	2387	2314	2251	2200	2111	2055
130	2381	2324	2249	2186	2130	2050
140	2379	2327	2249	2195	2129	2047
150	2382	2303	2251	2184	2134	2044
160	2372	2323	2245	2169	2117	2061
170	2372	2317	2229	2163	2131	2051
180	2372	2334	2263	2163	2112	2061

Uitpeiling:

X \ Y	95	105	115	125	135	145
20	2169	2090	2037	1973	1912	1851
30	2162	2088	2037	1984	1916	1840
40	2161	2116	2036	1986	1912	1835
50	2153	2095	2046	1996	1915	1847
60	2147	2094	2036	1973	1920	1842
70	2157	2100	2042	1977	1908	1839
80	2165	2106	2049	1989	1912	1854
90	2161	2106	2050	1986	1910	1849
100	2165	2115	2052	1982	1911	1844
110	2171	2111	2037	1979	1906	1842
120	2177	2107	2034	1974	1905	1846
130	2184	2119	2030	1974	1911	1845
140	2187	2111	2047	1994	1916	1850
150	2183	2111	2046	1984	1923	1864
160	2185	2096	2033	1983	1918	1860
170	2187	2095	2033	1978	1916	1855
180	2194	2095	2033	1988	1913	1850

Laagdikte:

X \ Y	95	105	115	125	135	145
20	158	186	161	168	167	157
30	131	182	145	154	160	181
40	156	150	178	162	171	166
50	167	170	156	154	166	176
60	174	165	151	172	151	173
70	174	161	176	160	181	194
80	180	149	160	166	156	169
90	170	176	156	176	182	153
100	164	171	176	168	184	153
110	157	152	170	185	157	152
120	175	172	181	188	171	174
130	164	171	182	176	182	171
140	160	180	168	167	177	164
150	166	160	171	166	176	150
160	156	189	176	155	166	167
170	154	185	163	154	179	163
180	148	199	191	146	166	176

L-2 Proef C-1

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	$10 \text{ à } 11 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	42,5 cm;
Oriëntatie	:	90° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	20,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	17,0 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			169,5	mm
Gemeten oppervlak	1,25	1,37	1,31	m^2
Aantal kubussen	43	42	43	stuks
Porositeit	31,5	38,7	35,1	%
Plaatsingsdichtheid	77,4	69,2	73,3	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	Rij 5	rij 6	rij 7	rij 8	rij 9	rij 10	rij 11
y	85.0	77.5	77.5	119.0	136.0	153.0	170.0	187.0	204.0		
x											
kubus 1	65.0	72.5	72.5	65.0	72.5	65.0	72.5	65.0	72.5		
kubus 2	85.0	92.5	92.5	85.0	92.5	85.0	92.5	85.0	92.5		
kubus 3	105.0	112.5	112.5	105.0	112.5	105.0	112.5	105.0			
kubus 4	125.0	132.5	132.5	125.0	132.5	125.0	132.5				
kubus 5	145.0	152.5	152.5	145.0	152.5	145.0					
kubus 6	165.0	172.5	172.5	165.0	172.5						
kubus 7	185.0	192.5	192.5	185.0							
kubus 8	205.0	212.5	212.5								
kubus 9	225.0	232.5									
kubus 10	245.0										

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

x \ y	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	Rij 5	rij 6	rij 7	rij 8	rij 9	rij 10	rij 11
kubus 1	80	94	39	97	13	40	70	51	106		
kubus 2	91	21	109	99	124	107	28	61	73		
kubus 3	152	25	104	31	8	74	100	133			
kubus 4	147	92	108	35	129	41	101				
kubus 5	81	145	42	102	7	43					
kubus 6	71	86	103	98	49						
kubus 7	24	146	37	32							
kubus 8	150	84	36								
kubus 9	151	16									
kubus 10	19										

C-1	X \ Y	95	105	115	125	135	145	155	165
Inpeiling	50	2365	2335	2254	2177	2109	2017	1970	1921
	60	2354	2313	2227	2173	2131	2050	1970	1881
	70	2379	2321	2221	2180	2115	2023	1998	1907
	80	2365	2336	2235	2193	2130	2040	1961	1908
	90	2363	2337	2239	2195	2133	2051	2003	1898
	100	2395	2320	2248	2193	2150	2044	2000	1906
	110	2378	2328	2261	2185	2137	2054	1996	1917
	120	2385	2330	2261	2206	2141	2059	1995	1906
	130	2393	2349	2261	2203	2138	2076	1983	1919
	140	2393	2338	2265	2190	2128	2071	0	0
	150	2379	2330	2281	2194	2160	0	0	0
	160	2380	2342	2279	2195	2133	0	0	0
	170	2403	2324	2278	2190	0	0	0	0
	180	2383	2345	2250	2200	0	0	0	0
	190	2375	2323	2295	0	0	0	0	0
	200	2363	2342	2248	0	0	0	0	0
	210	2381	2341	2252	0	0	0	0	0
	220	2376	2317	0	0	0	0	0	0
	230	2412	0	0	0	0	0	0	0
	Uitpeiling	50	2216	2126	2035	gat	gat	1792	1770
60		2166	2117	2046	1949	1916	1889	1759	1725
70		2179	2099	2011	1978	1937	1845	1757	1701
80		2189	2126	2056	1966	1906	1864	1771	1831
90		2145	2155	2025	1975	1925	1847	1779	1724
100		2178	2120	2030	1988	1901	1823	1717	1727
110		2181	2120	2049	1984	1929	1837	1743	1763
120		2214	2112	2047	1984	1915	1841	1774	1723
130		2199	2125	2061	1979	1923	1848	1786	1730
140		2217	2131	2066	1967	1935	1860	0	0
150		2169	2115	2074	2011	1941	0	0	0
160		2204	2146	2029	2009	1930	0	0	0
170		2174	2152	2066	2007	0	0	0	0
180		2190	2127	2058	2001	0	0	0	0
190		2215	2080	2052	0	0	0	0	0
200		gat	2058	2051	0	0	0	0	0
210		2204	2127	0	0	0	0	0	0
220		2219	2136	0	0	0	0	0	0
230		2226	0	0	0	0	0	0	0
Laagdikte		50	124	174	182	0	0	187	166
	60	156	163	151	186	179	134	176	130
	70	166	185	175	168	148	148	201	171
	80	146	175	149	189	186	146	158	64
	90	181	151	178	183	173	170	186	145
	100	181	166	181	171	207	184	235	149
	110	164	173	176	167	173	181	211	128
	120	142	181	178	185	188	181	184	152
	130	161	186	166	186	179	190	164	157
	140	146	172	166	186	161	176	0	0
	150	175	179	172	152	182	0	0	0
	160	146	163	208	155	169	0	0	0
	170	191	143	176	152	0	0	0	0
	180	161	181	160	166	0	0	0	0
	190	133	202	202	0	0	0	0	0
	200	0	236	164	0	0	0	0	0
	210	147	178	0	0	0	0	0	0
	220	131	151	0	0	0	0	0	0
	230	155	0	0	0	0	0	0	0

Foto's:



Foto M-9 Bovenaanzicht proef C-1



Foto M-10 Bovenaanzicht (loodrecht) proef C-1

L-3 Proef C-2

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	$10 \text{ à } 11 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	$42,5 \text{ cm}$;
Oriëntatie	:	90° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	$20,0 \text{ cm}$;
H.o.h. afstand y-richting	:	$17,0 / 16,0 / 15,0 / 14,0 / \text{enz.} \dots \text{cm}$;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			164.7	mm
Gemeten oppervlak	1.81	1.95	1.88	m^2
Aantal kubussen	59	58	59	Stuks
Porositeit	33.3	39.1	36.2	%
Plaatsingsdichtheid	73.2	66.9	70.1	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	Rij 5	rij 6	Rij 7	rij 8	rij 9	rij 10	rij 11
y	85.0	77.5	102.0	118.0	133.0	147.0	160.0	172.0	183.0	193.0	
x											
kubus 1	65.0	75.0	75.0	65.0	75.0	65.0	75.0	65.0	75.0	65.0	
kubus 2	85.0	95.0	95.0	85.0	95.0	85.0	95.0	85.0	95.0	85.0	
kubus 3	105.0	115.0	115.0	105.0	115.0	105.0	115.0	105.0	115.0	105.0	
kubus 4	125.0	135.0	135.0	125.0	135.0	125.0	135.0	125.0	135.0		
kubus 5	145.0	155.0	155.0	145.0	155.0	145.0	155.0	145.0			
kubus 6	165.0	175.0	175.0	165.0	175.0	165.0	175.0				
kubus 7	185.0	195.0	195.0	185.0	195.0	185.0					
kubus 8	205.0	215.0	215.0	205.0	215.0						
kubus 9	225.0	235.0	235.0	225.0							
kubus 10	245.0	255.0	255.0								
kubus 11	265.0										

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

x \ y	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6	rij 7	rij 8	rij 9	rij 10	rij 11
kubus 1	152	146	103	35	8	133	104	136	11	128	
kubus 2	25	147	72	101	13	134	42	52	46	6	
kubus 3	24	21	43	32	7	51	36	57	123	127	
kubus 4	92	94	74	98	129	61	109	143	122		
kubus 5	151	71	73	70	48	60	37	110			
kubus 6	154	81	41	31	124	137	39				
kubus 7	150	91	106	97	12	140					
kubus 8	19	145	105	102	49						
kubus 9	16	80	107	99							
kubus 10	153	84	40								
kubus 11	86										

C-2	X \ Y	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185
Inpeiling	50	2365	2279	2260	2169	2103	2039	1996	1925	1825	1778
	60	2347	2308	2223	2186	2091	2056	1988	1884	1808	1794
	70	2379	2319	2220	2171	2067	2061	1989	1883	1835	1781
	80	2374	2318	2261	2170	2086	2072	1940	1923	1840	1784
	90	2358	2327	2269	2179	2110	2040	1986	1926	1846	1749
	100	2371	2311	2254	2175	2107	2033	1976	1896	1848	1768
	110	2383	2333	2255	2213	2117	2065	1962	1876	1848	1774
	120	2378	2331	2269	2163	2137	2079	1961	1898	1856	1754
	130	2379	2343	2238	2155	2131	2050	1964	1916	1860	1704
	140	2381	2338	2251	2187	2114	2059	1979	1894	1834	1750
	150	2383	2330	2256	2219	2139	2061	1970	1906	1822	1784
	160	2381	2320	2261	2191	2132	2090	1981	1923	1802	1774
	170	2378	2331	2270	2181	2132	2077	1957	1914	1869	
	180	2378	2320	2238	2190	2130	2054	1986	1937		
	190	2397	2326	2269	2188	2132	2048	1980			
	200	2361	2346	2282	2180	2119	2077				
	210	2383	2339	2261	2184	2103					
	220	2377	2314	2281	2197						
	230	2409	2331	2237							
	Uitpeiling	X \ Y	95	105	115	125	135	145	155	165	175
50		2117	2100	2046	1977	1959	gat	1786	1695	1677	1585
60		gat	2127	2072	gat	1897	1866	1776	1694	1643	1599
70		2180	2096	2042	1971	1904	1851	1776	1703	1637	1601
80		2214	2115	2059	1970	1938	1841	1758	1697	1611	1604
90		2175	2121	2023	1993	1913	1835	1790	1709	1612	1602
100		dubbel	2133	2023	1986	1921	1836	1746	1705	1595	1593
110		2191	2108	gat	1988	1932	1839	1748	1737	1690	1596
120		2202	2122	2032	1973	1948	1863	1765	1718	1709	1597
130		2193	2164	2060	1989	1917	1858	1766	1736	1620	1607
140		2204	2105	2066	1976	1930	1889	1772	1717	1704	
150		2196	2121	2064	1990	1904	1848	1798	1716		
160		2193	2127	2086	1972	1939	1869	1762	1671		
170		2188	2133	2073	1985	1906	1829	1824	1688		
180		dubbel	2113	2063	1996	1920	1852				
190		dubbel	2131	2053	gat	gat					
200		2166	2148	2052	1945						
210		2172	2127	2065	1954						
220		2198	2114	2051							
230		2164	2123								
Laagdikte	X \ Y	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185
	50	206	149	178	160	120	0	175	191	123	161
	60	0	151	126	0	161	158	176	158	137	162
	70	166	186	148	166	136	175	177	150	165	150
	80	133	169	168	166	123	192	151	188	191	150
	90	152	171	205	155	164	171	163	181	195	122
	100	0	148	192	157	155	164	191	159	211	146
	110	160	187	0	187	154	188	178	116	131	148
	120	146	174	197	158	157	180	163	150	122	131
	130	155	149	148	138	178	160	165	150	200	81
	140	147	194	154	176	153	141	172	147	108	
	150	156	174	160	191	196	177	143	158		
	160	156	161	146	182	161	184	182	210		
	170	158	165	164	163	188	206	111	188		
	180	0	172	146	161	175	168				
	190	0	162	180	0						
	200	162	165	191	196						
	210	176	176	163	191						
	220	149	166	191							
	230	204	173								

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	Redelijk, maar veel kleinere gaten, weinig kubussen liggen mooi aaneengesloten.
Aantal spleten:	Twee
Lengte spleten (in aantal rijen):	Één van twee en één van drie
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	6
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	4
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	5
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	-

Foto's:

Foto M-11 Bovenaanzicht (loodrecht) proef C-2

L-4 Proef C-3

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	10 à 11· D_k ;
Valhoogte	:	42,5 cm;
Oriëntatie	:	90° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	1 ^{ste} drie rijen 20,0 cm, daarna 18,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	17,0 / 16,0 / 15,0 / 14,0 / enz...cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			163.2	mm
Gemeten oppervlak	1.81	1.95	1.88	m ²
Aantal kubussen	59	58	59	stuks
Porositeit	32.7	38.5	35.6	%
Plaatsingsdichtheid	71.8	65.7	68.8	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	Rij 5	rij 6	Rij 7	rij 8	rij 9	rij 10	rij 11
y	82.0	77.5	102.0	118.0	133.0	147.0	160.0	172.0	183.0	193.0	
x											
kubus 1	65.0	75.0	75.0	65.0	74.0	65.0	74.0	65.0	74.0	65.0	
kubus 2	85.0	95.0	95.0	83.0	92.0	83.0	92.0	83.0	92.0	83.0	
kubus 3	105.0	115.0	115.0	101.0	110.0	101.0	110.0	101.0	110.0	101.0	
kubus 4	125.0	135.0	135.0	119.0	128.0	119.0	128.0	119.0	128.0		
kubus 5	145.0	155.0	155.0	137.0	146.0	137.0	146.0	137.0			
kubus 6	165.0	175.0	175.0	155.0	164.0	155.0	164.0				
kubus 7	185.0	195.0	195.0	173.0	182.0	173.0					
kubus 8	205.0	215.0	215.0	191.0	200.0						
kubus 9	225.0	235.0	235.0	209.0							
kubus 10	245.0										

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

x \ y	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6	rij 7	rij 8	rij 9	rij 10	rij 11
kubus 1	92	71	102	122	41	57	11	42	140	51	
kubus 2	16	21	32	123	43	60	6	106	110	135	
kubus 3	152	94	31	12	36	136	48	107	144	61	
kubus 4	24	150	101	129	103	134	124	105	133		
kubus 5	153	147	70	7	73	143	127	109			
kubus 6	154	25	98	13	40	52	46				
kubus 7	84	145	97	40	74	137					
kubus 8	151	146	35	128	104						
kubus 9	86	19	99	8							
kubus 10	80										

C-3	X \ Y	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185
Inpeiling	50	2364	2335	2271	2158	2110	2044	1977	1911	1838	1755
	60	2370	2314	2216	2191	2120	2040	2001	1910	1826	1785
	70	2398	2317	2240	2183	2102	2019	1989	1910	1814	1776
	80	2371	2314	2260	2183	2109	2034	1970	1909	1818	1793
	90	2358	2305	2278	2173	2131	2041	1986	1975	1814	1768
	100	2380	2317	2261	2173	2121	2034	1991	1896	1838	1802
	110	2386	2342	2252	2178	2125	2008	1961	1903	1837	1760
	120	2372	2332	2255	2164	2129	2037	1984	1916	1870	
	130	2382	2337	2270	2193	2093	2068	1964	1894	1867	
	140	2374	2356	2253	2182	2127	2058	1969			
	150	2383	2324	2265	2187	2129	2038	1982			
	160	2389	2328	2246	2226	2109	2048				
	170	2403	2320	2279	2183	2121	2043				
	180	2309	2345	2230	2206						
	190	2398	2338	2252	2178						
	200	2357	2314	2254	2187						
	210	2374	2321	2267							
	220	2393	2341								
	230	2412									
	Uitpeiling	50	2248	2075	2077	1991	1926	1847	1763	1717	1683
60		2163	2116	2061	1974	1898	1844	1780	1716	1657	1625
70		2179	2113	2011	1959	1896	1840	1777	1708	1662	1606
80		2200	2100	2101	1981	1934	1836	1761	1707	1645	1583
90		2173	2131	1998	1998	1897	1846	1765	1701	1626	1624
100		dubbel	dubbel	2040	1981	1896	1834	1770	1741	1658	1581
110		dubbel	dubbel	2042	1986	1865	1858	1782	1700	1631	1633
120		dubbel	2118	2077	1996	1939	1861	1784	1712	1653	
130		dubbel	2134	2054	1991	1927	1851	1765	1734	1650	
140		2179	2103	2081	1993	1931	1866	1769			
150		2186	2140	2043	1979	1885	1841	1748			
160		2196	2116	dubbel	1980	1931	1848				
170		2158	dubbel	dubbel	1991	1936	1827				
180		2193	dubbel	2060	1986						
190		2199	2152	2061	1985						
200		2215	2117	2037	2011						
210		2152	2117	2086							
220		2206	2161								
230		2263									
Laagdikte		50	97	216	161	139	153	164	178	161	129
	60	172	165	129	181	185	163	184	161	141	133
	70	182	170	191	186	171	149	176	168	126	141
	80	142	178	132	168	146	165	174	168	144	175
	90	154	145	233	146	195	162	184	228	156	120
	100	-	-	184	160	187	166	184	129	150	184
	110	-	-	175	160	216	125	149	169	171	106
	120	-	178	148	140	158	146	166	170	181	
	130	-	169	180	168	138	181	166	133	181	
	140	162	211	143	157	163	160	166			
	150	164	153	185	173	203	164	195			
	160	161	176	-	205	148	166				
	170	204	-	-	160	154	180				
	180	97	-	141	183						
	190	166	155	159	161						
	200	118	164	181	146						
	210	185	170	151							
	220	156	150								
	230	124									

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	Redelijk
Aantal spleten:	Drie
Lengte spleten (in aantal rijen):	Drie van drie
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	5
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	4
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	2
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	-

Foto's:



Foto M-12 Bovenaanzicht proef C-3



Foto M-13 Bovenaanzicht (loodrecht) proef C-3

L-5 Proef C-4

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	10 à 11· D_k ;
Valhoogte	:	42,5 cm;
Oriëntatie	:	90° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	1 ^{ste} drie rijen 20,0 cm, daarna 18,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	17,0 / 16,0 / 15,0 / 14,0 / enz...cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			164.0	mm
Gemeten oppervlak	3.08	3.15	3.1	m ²
Aantal kubussen	88	87	88	stuks
Porositeit	41.1	43.2	42.2	%
Plaatsingsdichtheid	64.4	62.1	63.3	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6	rij 7	rij 8	rij 9	rij 10	rij 11
y	85.0	77.5	102.0	118.0	133.0	147.0	160.0	172.0	183.0	193.0	
x											
kubus 1	25.0	35.0	35.0	25.0	34.0	25.0	34.0	25.0	34.0	25.0	
kubus 2	45.0	55.0	55.0	43.0	52.0	43.0	52.0	43.0	52.0	43.0	
kubus 3	65.0	75.0	75.0	61.0	70.0	61.0	70.0	61.0	70.0	61.0	
kubus 4	85.0	95.0	95.0	79.0	88.0	79.0	88.0	79.0	88.0	79.0	
kubus 5	105.0	115.0	115.0	97.0	106.0	97.0	106.0	97.0	106.0	97.0	
kubus 6	125.0	135.0	135.0	115.0	124.0	115.0	124.0	115.0	124.0	115.0	
kubus 7	145.0	155.0	155.0	133.0	142.0	133.0	142.0	133.0	142.0	133.0	
kubus 8	165.0	175.0	175.0	151.0	160.0	151.0	160.0	151.0	160.0	151.0	
kubus 9	185.0	195.0	195.0	169.0	178.0	169.0	178.0	169.0	178.0	169.0	
kubus 10	205.0	215.0	215.0	187.0	196.0	187.0	196.0	187.0	196.0	187.0	
kubus 11				205.0	214.0	205.0	214.0	205.0	214.0	205.0	

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

x \ y	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6	rij 7	rij 8	rij 9	rij 10	rij 11
kubus 1	152	150	34	102	52	12	23	42	70	136	
kubus 2	24	153	104	59	144	127	26	106	32	77	
kubus 3	21	145	40	68	140	122	22	74	20	61	
kubus 4	92	25	30	35	110	124	149	36	99	68	
kubus 5	81	154	33	97	137	6	15	109	53	51	
kubus 6	71	151	72	38	76	49	2	103	28	75	
kubus 7	16	19	39	55	133	123	18	73	50	143	
kubus 8	147	146	37	67	60	128	5	43	56	78	
kubus 9	94	86	27	98	135	7	17	41	31	79	
kubus 10	84	80	108	66	134	129	19	105	100	82	
kubus 11				101	57	48	4	107	47	69	

C-4	X \ Y	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185
Inpeiling	20	2377	2305	2262	2201	2114	2021	1981	1934	1860	1791
	30	2370	2306	2264	2180	2131	2040	1961	1939	1863	1772
	40	2355	2314	2241	2179	2127	2034	1969	1908	1874	1802
	50	2358	2329	2251	2145	2108	2024	1934	1910	1854	1779
	60	2387	2308	2270	2200	2111	2036	1963	1911	1843	1788
	70	2375	2322	2236	2179	2123	2039	1975	1905	1837	1804
	80	2372	2342	2255	2168	2094	2060	1995	1904	1850	1828
	90	2369	2326	2240	2177	2125	2074	1983	1884	1841	1786
	100	2373	2304	2267	2183	2124	2050	1981	1909	1838	1781
	110	2376	2316	2233	2184	2128	2048	1953	1884	1849	1781
	120	2392	2322	2265	2197	2106	2027	1990	1894	1846	1783
	130	2387	2323	2252	2184	2113	2058	2000	1908	1859	1789
	140	2385	2330	2246	2197	2133	2026	1996	1894	1860	1794
	150	2372	2326	2277	2156	2123	2061	2006	1912	1841	1784
	160	2371	2311	2278	2189	2099	2047	2012	1934	1851	1785
	170	2382	2334	2272	2189	2110	2055	1983	1924	1848	1809
	180	2378	2328	2261	2191	2094	2051	2001	1896	1856	1771

	X \ Y	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185	
Uitpeiling	20	2152	2113	2046	1990	1847	1841	1791	1737	1670	1604	
	30	2184	2046	2018	2015	1913	1888	1810	1720	1668	1595	
	40	2132	2094	2068	2003	1911	1862	1793	1728	1651	1601	
	50	2197	2096	2046	1981	1908	1836	1799	1699	1653	1594	
	60	2186	2107	2024	1962	1904	1891	dubbel	dubbel	1667	1598	
	70	2187	2119	2063	1989	1918	1841	dubbel	dubbel	1671	1573	
	80	2186	2114	2023	1975	1938	1837	1813	dubbel	dubbel	dubbel	
	90	2203	2111	2051	1948	1928	1850	1781	dubbel	dubbel	dubbel	
	100	2187	2134	2060	1995	1913	1923	1800	1724	1677	1597	
	110	2188	2103	2056	1989	1921	1815	1804	1682	1664	1587	
	120	2157	2137	2057	1976	1924	1860	1834	1716	1668	1581	
	130	dubbel	dubbel	2038	1978	1919	1846	1786	dubbel	dubbel	dubbel	
	140	dubbel	dubbel	2050	1987	1941	1878	1786	dubbel	dubbel	dubbel	
	150	2003	2124	2048	1999	1919	1858	1752	1705	1656	1580	
	160	2182	2125	2061	1998	1937	1858	1795	1714	1648	1587	
	170	2176	dubbel	dubbel	dubbel	1936	dubbel	dubbel	dubbel	1693	1658	1632
	180	2230	dubbel	dubbel	dubbel	dubbel	dubbel	dubbel	dubbel	1713	1661	1560

	X \ Y	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185
Laagdikte	20	187	160	180	176	222	150	158	164	158	156
	30	155	216	205	137	181	126	126	182	162	147
	40	186	183	144	146	180	143	146	150	186	167
	50	134	194	171	136	166	156	112	176	167	154
	60	167	167	205	198	172	121	0	0	146	158
	70	156	169	144	158	171	165	0	0	138	192
	80	155	190	193	161	130	186	151	0	0	0
	90	138	179	157	191	164	186	168	0	0	0
	100	155	141	172	156	176	106	151	154	134	153
	110	156	177	147	162	172	194	124	168	154	161
	120	196	154	173	184	151	139	130	148	148	168
	130	0	0	178	171	161	176	178	0	0	0
	140	0	0	163	175	160	123	175	0	0	0
	150	307	168	191	131	170	169	211	172	154	170
	160	157	155	181	159	135	157	181	183	169	165
	170	171	0	0	0	145	0	0	192	158	147
	180	123	0	0	0	0	0	0	152	162	176

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	Slecht, teveel dubbelen en veel gaten (niet mooi aaneengesloten).
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	9
Aantal spleten:	Drie
Lengte spleten (in aantal rijen):	Twee van twee en één van drie
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	12
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	5
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	1
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	2

Foto's:



Foto M14 Bovenaanzicht (loodrecht) proef C-4



Foto M15 Zijkant proef C-4

L-6 Proef C-5

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	10 à $11 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	42,5 cm;
Oriëntatie	:	90 t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	1 ^{ste} drie rijen 20,0 cm, daarna 18,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	17,0 / 16,0 / 15,0 / 14,0 / met minimum van 12,5cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			163.5	mm
Gemeten oppervlak	2.59	2.67	2.63	m ²
Aantal kubussen	76	75	76	stuks
Porositeit	39.4	42.1	70.8	%
Plaatsingsdichtheid	66.1	63.1	64.6	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6	rij 7	rij 8	rij 9	rij 10	rij 11
y	85.0	77.5	102.0	118.0	133.0	147.0	160.0	172.5	185.0	197.5	
x											
kubus 1	25.0	35.0	35.0	25.0	34.0	25.0	34.0	25.0	34.0	25.0	
kubus 2	45.0	55.0	55.0	43.0	52.0	43.0	52.0	43.0	52.0	43.0	
kubus 3	65.0	75.0	75.0	61.0	70.0	61.0	70.0	61.0	70.0	61.0	
kubus 4	85.0	95.0	95.0	79.0	88.0	79.0	88.0	79.0	88.0	79.0	
kubus 5	105.0	115.0	115.0	97.0	106.0	97.0	106.0	97.0	106.0	97.0	
kubus 6	125.0	135.0	135.0	115.0	124.0	115.0	124.0	115.0	124.0	115.0	
kubus 7	145.0	155.0	155.0	133.0	142.0	133.0	142.0	133.0	142.0	133.0	
kubus 8	165.0	175.0	175.0	151.0	160.0	151.0	160.0	151.0	160.0	151.0	
kubus 9	185.0	195.0	195.0	169.0	178.0	169.0	178.0	169.0	178.0	169.0	
kubus 10	205.0	215.0	215.0	187.0	196.0	187.0	196.0	187.0	196.0	187.0	

Plaatsingsvolgorde:

x \ y	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6	rij 7	rij 8	rij 9	rij 10	rij 11
kubus 1	153	80	27	28	57	128	149	106	99	82	
kubus 2	154	71	108	97	137	48	91	34	35	144	
kubus 3	146	145	72	47	60	124	17	109	53	75	
kubus 4	81	86	37	38	133	127	5	105	102	69	
kubus 5	147	151	39	67	135	7	18	43	100	140	
kubus 6	92	94	73	101	78	122	23	33	32	52	
kubus 7	150	84	40	68	134	13	4	104	50	68	
kubus 8	21	19	30	59	143	6	2	103	70	85	
kubus 9	152	16	36	98	76	123	26	107	55	136	
kubus 10	24	25	41	66	110	129	20	42	56	79	

C-5	X \ Y	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185
Inpeiling	20	2356	2295	2245	2179	2109	2048	1997	1933	1878	1791
	30	2368	2294	2244	2184	2104	2029	1991	1914	1860	1790
	40	2360	2318	2247	2187	2144	2044	1977	1921	1824	1798
	50	2354	2321	2249	2173	2138	2028	1981	1914	1834	1780
	60	2385	2299	2234	2183	2104	2038	1972	1910	1857	1804
	70	2367	2309	2241	2198	2125	2043	1973	1904	1881	1788
	80	2363	2351	2240	2189	2128	2057	1981	1918	1834	1825
	90	2376	2334	2254	2189	2101	2052	1989	1908	1849	1785
	100	2383	2314	2235	2187	2138	2053	1975	1920	1852	1795
	110	2378	2329	2246	2202	2122	2046	1969	1912	1875	1790
	120	2394	2321	2269	2176	2120	2049	1991	1902	1829	1771
	130	2377	2330	2284	2206	2111	2049	2001	1908	1849	1801
	140	2393	2323	2263	2199	2133	2046	1993	1910	1859	1791
	150	2356	2351	2248	2173	2133	2058	1958	1923	1836	1780
	160	2381	2321	2274	2201	2118	2052	1990	1937	1845	1787
	170	2358	2320	2251	2186	2123	2063	1960	1916	1857	1791
	180	2396	2320	2262	2204	2118	2055	1971	1921	1850	1756
	190	2405	2301	2259	2194	2153	2033	1999	1928	1880	1770

	X \ Y	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185
Uitpeiling	20	2141	2105	2007	1981	1937	1853	1787	1742	1666	1595
	30	gat	2076	2049	1983	1910	1826	1791	1734	1662	1594
	40	2165	2135	2068	1981	1903	1841	1789	1767	1663	1609
	50	2171	2121	2026	1983	1904	1833	1782	1707	1661	1608
	60	dubbel	2115	2026	1960	1951	1879	1792	1706	1688	1596
	70	dubbel	2107	2061	1945	1896	1863	1694	dubbel	dubbel	1598
	80	2178	2126	2051	1977	1907	1850	1757	dubbel	dubbel	1597
	90	dubbel	2157	2081	1970	1913	1840	1768	1729	1755	1606
	100	dubbel	2126	2082	1976	1916	1851	1790	1724	1641	1592
	110	2192	2107	2060	1991	1921	1847	1791	1721	1658	1576
	120	dubbel	2110	2049	1974	1945	1854	1784	1716	1681	1605
	130	dubbel	2117	2054	1990	1939	1848	1786	1694	1668	1587
	140	dubbel	dubbel	2077	1991	1945	1849	1788	1733	1677	1596
	150	dubbel	dubbel	dubbel	1999	1962	1876	1800	1731	1651	1581
	160	dubbel	dubbel	2053	2012	1943	1849	1814	1740	1623	1591
	170	2140	2134	2051	2015	1931	1867	1767	1701	1632	1642
	180	2168	2111	2048	1994	1932	1857	1816	1711	1653	1636
	190	2193	2120	2062	2004	1914	gat	gat	1717	1644	1598

	X \ Y	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185
Laagdikte	20	179	158	198	165	143	162	175	159	176	163
	30	0	181	162	167	161	169	166	150	165	163
	40	162	152	149	171	201	169	156	128	134	157
	50	152	166	186	158	195	162	166	172	144	143
	60	0	153	173	186	127	132	150	170	141	173
	70	0	168	150	211	191	150	232	0	0	158
	80	154	187	157	176	184	172	186	0	0	190
	90	0	147	144	182	156	176	184	149	78	149
	100	0	156	127	176	185	168	154	163	176	169
	110	155	185	155	176	167	166	148	159	181	178
	120	0	176	183	168	146	162	172	155	123	138
	130	0	177	191	180	143	167	179	178	151	178
	140	0	0	155	173	156	164	171	147	151	162
	150	0	0	0	145	142	151	131	160	154	166
	160	0	0	184	157	146	169	146	164	185	163
	170	181	155	166	142	160	163	161	179	187	124
	180	190	174	178	175	155	165	129	175	164	100
	190	176	151	164	158	199	0	0	176	196	143

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	Minder goed dan verwacht, waarschijnlijk is de 18,0 cm in de x-richting te klein
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	6
Aantal spleten:	Vijf
Lengte spleten (in aantal rijen):	Vier van twee en één van drie
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	4
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	7
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	2
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	2

L-7 Proef C-6

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	11 à $12 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	90 t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	20,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	17,0 / 16,0 / 15,0 / 14,0 / met minimum van 12,5 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			159.0	mm
Gemeten oppervlak	2.80	2.88	2.84	m ²
Aantal kubussen	82	81	82	stuks
Porositeit	37.9	40.2	39.1	%
Plaatsingsdichtheid	65.8	63.4	64.6	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6	rij 7	rij 8	rij 9	rij 10	rij 11
y	85.0	77.5	102.0	118.0	133.0	147.0	160.0	172.5	185.0	197.5	
x											
kubus 1	25.0	35.0	35.0	25.0	34.0	25.0	34.0	25.0	34.0	25.0	
kubus 2	45.0	55.0	55.0	43.0	52.0	43.0	52.0	43.0	52.0	43.0	
kubus 3	65.0	75.0	75.0	61.0	70.0	61.0	70.0	61.0	70.0	61.0	
kubus 4	85.0	95.0	95.0	79.0	88.0	79.0	88.0	79.0	88.0	79.0	
kubus 5	105.0	115.0	115.0	97.0	106.0	97.0	106.0	97.0	106.0	97.0	
kubus 6	125.0	135.0	135.0	115.0	124.0	115.0	124.0	115.0	124.0	115.0	
kubus 7	145.0	155.0	155.0	133.0	142.0	133.0	142.0	133.0	142.0	133.0	
kubus 8	165.0	175.0	175.0	151.0	160.0	151.0	160.0	151.0	160.0	151.0	
kubus 9	185.0	195.0	195.0	169.0	178.0	169.0	178.0	169.0	178.0	169.0	
kubus 10	205.0	215.0	215.0	187.0	196.0	187.0	196.0	187.0	196.0	187.0	

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

x \ y	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6	rij 7	rij 8	rij 9	rij 10	rij 11
kubus 1	26	156	43	7	137	80	35	33	12	144	
kubus 2	146	68	36	6	68	84	59	106	10	52	
kubus 3	24	152	105	128	133	145	38	39	49	76	
kubus 4	23	101	73	123	57	94	66	72	8	140	
kubus 5	21	155	107	129	60	147	100	40	1	83	
kubus 6	4	154	103	127	110	149	28	41	3	134	
kubus 7	5	150	109	13	136	151	47	108	9	78	
kubus 8	20	151	27	48	79	91	97	30	46	135	
kubus 9	17	102	104	124	85	16	67	34	11	75	
kubus 10	2	153	42	122	143	92	50	37	126	69	

C-6	X \ Y	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185
Inpeiling	20	2333	2310	2233	2167	2132	2040	1980	1928	1871	1819
	30	2351	2299	2222	2193	2108	2048	1983	1921	1861	1802
	40	2339	2281	2240	2174	2114	2046	1959	1894	1857	1801
	50	2347	2296	2242	2165	2114	2043	1972	1910	1851	1796
	60	2328	2297	2245	2194	2195	2035	1948	1935	1873	1798
	70	2363	2325	2247	2185	2105	2034	1968	1921	1842	1802
	80	2368	2308	2247	2184	2111	2061	1991	1917	1848	1781
	90	2365	2313	2256	2172	2126	2040	1984	1936	1852	1782
	100	2366	2323	2254	2184	2127	2060	1963	1910	1864	1797
	110	2352	2282	2228	2175	2096	2044	1985	1904	1836	1790
	120	2383	2289	2244	2195	2114	2037	1989	1916	1856	1778
	130	2366	2301	2267	2191	2136	2057	1986	1912	1826	1767
	140	2366	2323	2243	2183	2122	2068	1991	1937	1844	1776
	150	2396	2306	2247	2172	2121	2038	1980	1928	1854	1792
	160	2383	2317	2237	2176	2117	2073	1993	1920	1868	1793
	170	2366	2321	2236	2201	2114	2059	1994	1921	1852	1784

	X \ Y	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185
Uitpeiling	20	2164	2151	2040	1989	1930	1848	1802	1733	1668	1596
	30	2200	2149	2051	2019	1896	1823	1823	1700	1688	1582
	40	2166	2112	2062	1960	1927	1908	1812	1680	1657	1589
	50	2161	2080	2052	1996	1926	x	1770	1731	1658	1610
	60	2151	2071	2062	1985	1916	1863	1822	1745	1659	1603
	70	2163	2156	2065	1954	1916	1901	1796	1734	1670	1626
	80	2195	2088	2081	1988	1951	1865	1790	1730	1617	1615
	90	2146	2129	2120	1993	1922	1856	1792	1683	1664	1584
	100	2184	2119	2058	2016	1897	1854	1776	1795	1667	1588
	110	2121	2112	2066	1972	x	1857	1771	1725	1681	1606
	120	2060	2055	2082	x	x	x	1776	1724	1672	1589
	130	2170	x	2063	1993	x	1844	1784	1723	1676	1593
	140	x	x	x	x	x	1834	1781	1724	1670	1591
	150	x	x	2084	1966	x	x	1796	1736	1664	1587
	160	x	x	2061	2016	1939	1858	1799	1740	1674	1595
	170	2089	x	2055	2003	1942	1872	1796	1729	1656	1597

	X \ Y	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185
Laagdikte	20	141	132	161	148	168	160	148	162	169	186
	30	126	125	142	145	176	187	133	184	144	183
	40	144	141	148	178	156	115	122	178	166	176
	50	155	180	158	141	156	x	168	149	161	155
	60	147	188	152	174	232	143	105	158	178	162
	70	166	141	151	192	157	111	143	156	143	146
	80	144	183	138	163	133	163	167	156	192	138
	90	182	153	113	149	170	153	160	211	156	165
	100	151	170	163	140	191	171	156	96	164	174
	110	192	141	135	169	x	156	178	149	129	153
	120	269	195	135	x	x	x	177	160	153	157
	130	163	x	170	165	x	177	168	157	125	145
	140	x	x	x	x	x	195	175	177	145	154
	150	x	x	136	171	x	x	153	160	158	171
	160	x	x	146	133	148	179	161	150	161	165
	170	230	x	151	165	143	156	165	160	163	156

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	Onderin de laag niet goed, maar hoe hoger hoe beter.
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	6
Aantal spleten:	Zes
Lengte spleten (in aantal rijen):	Vier van twee en twee van drie
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	5
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	5
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	3
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	4
Aantal gaten $\leq 400 \text{ cm}^2$:	1

Foto's:



Foto L-16 Bovenaanzicht (loodrecht) proef C-6



Foto L-17 Zijaanzicht proef C-6

M-1 Serie D

Resultaten van serie D.

Serienummer:	tegelijk afgeschoven kubussen	Verplaatsing van het zwaartepunt			Spreidingsparameter (S)				Gemiddelde S-waarde (tegelijk)
		X-waarde	Y-waarde	r-waarde	S1	S2	S-waarde:	wel/niet tegelijk	
Serie D-1	twee	9,4	11,9	15,1	15,0	36,5	2,43	Wel tegelijk	2,43
		-12,1	8,4	14,7					
		8,4	7	10,9					
		5,3	7,1	8,8					
		12,2	7,6	14,3					
Serie D-2	drie	-9,2	1,6	9,4	15,0	36,4	2,43	Wel tegelijk	2,40
		11,9	20,1	23,4					
		-11,6	10	15,3					
		-28,8	4	29,1					
		17,2	6,4	18,4					
Serie D-2a	drie	-17,3	0,5	17,3	30,0	70,7	2,36	Wel tegelijk	2,40
		-16,2	6,5	17,4					
		16,5	16,7	23,5					
		-13,5	7,8	45,6					
		-18,7	7,1	20,0					
Serie D-3	vier	28,4	2,7	28,6	30,0	88,2	2,94	Wel tegelijk	2,15
		17,6	4,8	18,3					
		-29,8	6,6	30,5					
		13	8,5	15,5					
		3,3	2,4	4,1					
Serie 3a	vier	-24,2	8,6	25,7	45,0	97,6	2,17	Wel tegelijk	2,15
		-39,6	7,6	40,3					
		22,2	7,7	23,5					
		-8,3	4,6	9,5					
		-1,4	8,9	9,0					
Serie 4	vijf	-9,5	6,6	11,6	45,0	76,7	1,70	Niet tegelijk	1,92
		15,8	10,7	19,1					
		-8,3	11,4	14,1					
		-25,4	5	25,9					
		-29,4	9,9	31,1					
Serie 4a	vijf	29,5	6,9	30,3	60,0	127,7	2,13	Wel tegelijk	1,92
		-6,9	5,5	8,8					
		-16,8	7,1	18,2					
		-27,7	5,4	28,2					
		-10,5	-6,2	12,2					
Serie 5	Zeven	20,8	4,9	21,4	60,0	102,1	1,70	Wel tegelijk	1,92
		4,3	7,6	8,7					
		-12,3	5,7	13,5					
		-23,6	9,3	25,3					
		9	10,5	13,8					
Serie 5a	Zeven	15,4	-3,7	15,9	90,0	140,8	1,56	Wel tegelijk	1,52
		-7,4	8,2	11,1					
		-21,4	10,1	23,7					
		-33,2	4,1	33,4					
		-23,6	-2	23,6					
Serie 5a	Zeven	23,7	-19,5	30,7	90,0	132,2	1,47	Wel tegelijk	1,52
		17,2	8,3	19,1					
		-32,3	-9,7	33,7					
		-25,5	7,5	26,6					
		22,9	8,6	24,4					
Serie 5a	Zeven	14,4	8,3	16,6	90,0	132,2	1,47	Wel tegelijk	1,52
		1,8	10,2	10,3					
		-7,1	9,5	11,8					
		-10,9	-7,7	13,3					
		-42,9	6,7	43,4					
Serie 5a	Zeven	5,6	4,6	7,3	90,0	132,2	1,47	Wel tegelijk	1,52
		26,4	12,3	29,1					
		x	x	x					
		x	x	x					
		x	x	x					
Serie 5a	Zeven	-30,8	8	31,8	90,0	132,2	1,47	Wel tegelijk	1,52
		x	x	x					
		x	x	x					
		x	x	x					
		x	x	x					

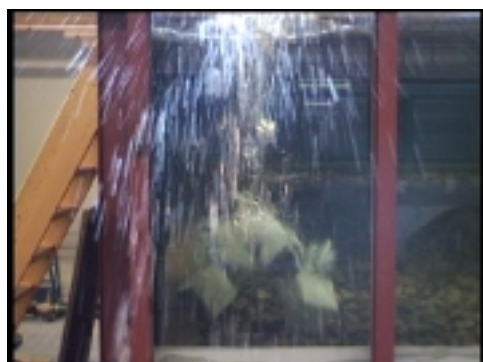
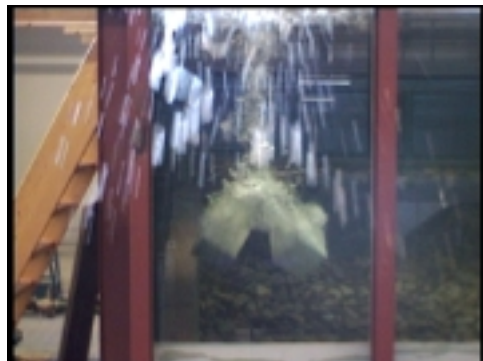
Foto's van Proef D-1

In onderstaande foto is een bovenaanzicht gegeven, nadat proef D-1 is uitgevoerd. Duidelijk is te zien dat, als de kubussen tegelijk afgeschoven zijn (de eerste twee kubussen vanaf rechts en de laatste twee), er een aanzienlijke spreiding ontstaat, maar dat als de kubussen niet tegelijk vallen, deze dicht naast elkaar op de teen van de golfbreker komen te liggen (middelste twee kubussen op de foto).



Foto M-18 Bovenaanzicht proef D-1

In onderstaande reeks foto's is de valbeweging van de eerste twee gestorte kubussen van proef D-1 aangegeven. Uit deze foto's blijkt heel duidelijk dat de kubussen, als deze tegelijk afgeschoven worden, van elkaar wegdraaien. Hierdoor zal dus een grote spreiding ontstaan.



M-2 Proef E

Resultaten van serie E

Proefnr:	tegelijk afgeschoven kubussen	Tussen- afstand	Verplaatsing van het zwaartepunt		
			X- waarde	Y- waarde	r- waarde
Proef E-1	twee	3,0			
Proef E-2	drie	5,0	5,3	10,7	11,9
			-3,2	11,1	11,6
			-1,1	7,9	8,0
			7,5	0,6	7,5
			13,9	11,5	18,0
			-29,9	3,3	30,1
			10,2	10,2	14,4
Proef E-2a	drie	5,0	-24,9	6,1	25,6
			15,3	5,3	16,2
			6,2	7,4	9,7
			-12,4	10,6	16,3
			5,9	-5	7,7
Proef E-3	drie	4,0	23,8	4,8	24,3
			-29,8	5,7	30,3
			-31,3	6,3	31,9
			2,3	7,5	7,8
			-8,3	7,8	11,4
Proef E-4	drie	6,0	-27,5	8,4	28,8
			-4	6,4	7,5
			-2,5	0,4	2,5
			-7,8	8,3	11,4
			-10,7	9,3	14,2
			-17,7	10,3	20,5
			-16,7	9,7	19,3
			27,8	8,5	29,1
			3,6	5,1	6,2
			-12,6	5,6	13,8

Spreidingsparater (S)				
S1	S2	S- waarde:	wel/niet tegelijk afgeschoven	Gemiddelde S-waarde
			Niet tegelijk	
			Niet tegelijk	
			Niet tegelijk	
40,0	46,4	1,16	Niet tegelijk	2,16
40,0	77,4	1,94	Wel tegelijk	
40,0	55,0	1,38	Niet tegelijk	
40,0	40,3	1,01	Niet tegelijk	2,16
40,0	95,2	2,38	Wel tegelijk	
38,0	67,8	1,78	Wel tegelijk	1,78
38,0	41,9	1,10	Niet tegelijk	
42,0	48,0	1,14	Niet tegelijk	1,96
42,0	82,4	1,96	Wel tegelijk	

N-1 Proef G-1

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	90 t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van zetten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	17,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	12,5 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			166,4	mm
Gemeten oppervlak	1,52	1,56	1,54	m ²
Aantal kubussen	47	46	47	stuks
Porositeit	37,4	40,1	38,8	%
Plaatsingsdichtheid	69,5	66,5	68,0	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	160.0	172.5	185.0	197.5	210.0	
x						
kubus 1	25.0	33.5	25.0	33.5	25.0	
kubus 2	42.0	50.5	42.0	50.5	42.0	
kubus 3	59.0	67.5	59.0	67.5	59.0	
kubus 4	76.0	84.5	76.0	84.5	76.0	
kubus 5	93.0	101.5	93.0	101.5	93.0	
kubus 6	110.0	118.5	110.0	118.5	110.0	
kubus 7	127.0	135.5	127.0	135.5	127.0	
kubus 8	144.0	152.5	144.0	152.5	144.0	
kubus 9	161.0	169.5	161.0	169.5	161.0	
kubus 10	178.0	186.5	178.0	186.5	178.0	
kubus 11	195.0	203.5	195.0	203.5	195.0	
kubus 12	212.0		212.0		212.0	

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	67	107	128	79	100	
kubus 2	55	30	48	57	68	
kubus 3	151	103	122	110	102	
kubus 4	98	41	6	60	154	
kubus 5	28	108	127	143	56	
kubus 6	47	36	3	85	150	
kubus 7	155	104	129	123	59	
kubus 8	38	105	13	136	50	
kubus 9	152	27	124	75	101	
kubus 10	66	73	123	135	35	
kubus 11	153	109	11	134	53	
kubus 12	156		9		70	

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
0	1937	1859	1787	1705	1668
30	1923	1863	1793	1740	1672
40	1916	1876	1794	1734	1687
50	1930	1863	1783	1737	1678
60	1923	1857	1788	1733	1674
70	1921	1863	1802	1731	1666
80	1929	1840	1817	1727	1691
90	1937	1873	1797	1718	1672
100	1890	1853	1804	1742	1680
110	1924	1843	1798	1735	1677
120	1940	1843	1776	1718	1680
130	1923	1846	1797	1726	1677
140	1932	1850	1790	1729	1665
150	1926	1870	1771	1722	1682
160	1923	1863	1808	1754	1658
170	1927	1890	1826	1720	1675
180	1928	1860	1781	1717	1660
190	1921	1841	1787	1714	1712
200	1945	1866	1808	1713	1679

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1741	1678	1607	1516	1464
	1738	1674	1598	1531	1475
	1755	1628	1593	1539	1467
	1681	1671	1607	1539	1469
	1748	1643	1613	1533	1472
	1717	dubbel	dubbel	1532	1475
	1706	dubbel	dubbel	1550	1475
	1752	dubbel	1591	1537	1490
	dubbel	dubbel	1602	1527	1464
	dubbel	dubbel	1596	1532	dubbel
	dubbel	dubbel	1583	1523	1461
	dubbel	dubbel	1592	1522	1463
	dubbel	dubbel	1602	gat	1439
	dubbel	1672	1603	1528	1456
	dubbel	1651	1603	1538	1463
	1729	1662	1605	1550	1468
	1720	1671	1589	1522	1455
	1751	1647	1589	1538	1475
	1728	1666	1581	1527	1499

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	163	151	150	157	170
30	154	157	162	174	164
40	134	206	167	162	183
50	207	160	146	165	174
60	146	178	146	166	168
70	170	0	0	166	159
80	186	0	0	147	180
90	154	0	171	151	151
100	0	0	168	179	180
110	0	0	168	169	0
120	0	0	161	162	182
130	0	0	171	170	178
140	0	0	156	0	188
150	0	165	140	161	188
160	0	176	171	180	162
170	165	190	184	141	172
180	173	157	160	162	171
190	141	161	165	146	197
200	181	166	189	155	150

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	Niet goed, teveel dubbelen, door weggantelen!
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	11
Aantal spleten:	Drie
Lengte spleten (in aantal rijen):	Drie van twee
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	7
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	4
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	3
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	3

Foto's:



Foto N-19 Bovenaanzicht (loodrecht) van proef G-1

N-2 Proef G-1a

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	90° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van zetten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	17,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	12,5 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			167,1	mm
Gemeten oppervlak	1,50	1,52	1,51	m ²
Aantal kubussen	46	45	46	stuks
Porositeit	38,0	40,1	39,1	%
Plaatsingsdichtheid	69,0	66,7	67,9	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	160.0	172.5	185.0	197.5	210.0	
x						
kubus 1	25.0	33.5	25.0	33.5	25.0	
kubus 2	42.0	50.5	42.0	50.5	42.0	
kubus 3	59.0	67.5	59.0	67.5	59.0	
kubus 4	76.0	84.5	76.0	84.5	76.0	
kubus 5	93.0	101.5	93.0	101.5	93.0	
kubus 6	110.0	118.5	110.0	118.5	110.0	
kubus 7	127.0	135.5	127.0	135.5	127.0	
kubus 8	144.0	152.5	144.0	152.5	144.0	
kubus 9	161.0	169.5	161.0	169.5	161.0	
kubus 10	178.0	186.5	178.0	186.5	178.0	
kubus 11	195.0	203.5	195.0	203.5	195.0	
kubus 12	212.0		212.0		212.0	

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	28	105	35	6	152	
kubus 2	35	141	134	124	98	
kubus 3	151	106	69	128	70	
kubus 4	150	107	110	11	68	
kubus 5	55	108	133	9	102	
kubus 6	100	43	75	129	101	
kubus 7	53	109	57	13	47	
kubus 8	59	73	79	127	155	
kubus 9	56	103	85	48	156	
kubus 10	38	36	78	3	97	
kubus 11	153	104	136	123	66	
kubus 12	154		83			

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
0	1937	1859	1787	1705	1668
30	1923	1863	1793	1740	1672
40	1916	1876	1794	1734	1687
50	1930	1863	1783	1737	1678
60	1923	1857	1788	1733	1674
70	1921	1863	1802	1731	1666
80	1929	1840	1817	1727	1691
90	1937	1873	1797	1718	1672
100	1890	1853	1804	1742	1680
110	1924	1843	1798	1735	1677
120	1940	1843	1776	1718	1680
130	1923	1846	1797	1726	1677
140	1932	1850	1790	1729	1665
150	1926	1870	1771	1722	1682
160	1923	1863	1808	1754	1658
170	1927	1890	1826	1720	1675
180	1928	1860	1781	1717	1660
190	1921	1841	1787	1714	1712
200	1945	1866	1808	1713	1679

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1720	dubbel	dubbel	dubbel	1485
	1729	dubbel	dubbel	1578	1460
	1720	dubbel	dubbel	1535	1491
	1710	dubbel	dubbel	1534	1465
	1697	1651	1573	1530	1487
	1719	1659	1629	gat	1490
	1715	1665	1604	1537	1468
	1721	1655	1595	1530	1478
	dubbel	dubbel	1583	1533	1470
	dubbel	dubbel	1592	1529	1464
	1725	1654	1605	dubbel	1486
	1726	1660	dubbel	dubbel	dubbel
	1749	1660	1586	dubbel	1453
	1728	1663	1592	1529	1461
	1729	1645	1602	1539	1480
	1731	1668	1583	1531	1486
	1735	1671	1579	1545	1480
	1725	1650	1563	1567	1455
	gat	1638	1583	1544	1462

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	181	0	0	0	152
30	161	0	0	135	176
40	163	0	0	166	163
50	183	0	0	169	177
60	188	171	179	169	156
70	168	170	144	0	146
80	178	146	177	158	186
90	180	181	168	156	161
100	0	0	184	174	175
110	0	0	171	171	177
120	179	157	142	0	161
130	164	155	0	0	0
140	152	158	170	0	176
150	165	172	149	161	184
160	161	181	171	179	148
170	163	185	202	157	157
180	161	157	168	143	150
190	163	159	186	122	214
200	0	190	187	141	181

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	niet goed , in elkaar gezakt en veel dubbelen
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	12 à 13
Aantal spleten:	5
Lengte spleten (in aantal rijen):	vijf van twee
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	6
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	3
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	4
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	1

Foto's:



Foto N-20 Bovenaanzicht (loodrecht) van proef G-1a



Foto N-21 Zijaanzicht proef G-1a

N-3 Proef G-2

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m};$
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k;$
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	90 t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van zetten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	18,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	12,5 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			168.8	mm
Gemeten oppervlak	1.45	1.52	1.49	m ²
Aantal kubussen	44	44	44	stuks
Porositeit	39.4	42.2	40.8	%
Plaatsingsdichtheid	68.2	65.0	66,6	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	160.0	172.5	185.0	197.5	210.0	
x						
kubus 1	25.0	34.0	25.0	34.0	25.0	
kubus 2	43.0	52.0	43.0	52.0	43.0	
kubus 3	61.0	70.0	61.0	70.0	61.0	
kubus 4	79.0	88.0	79.0	88.0	79.0	
kubus 5	97.0	106.0	97.0	106.0	97.0	
kubus 6	115.0	124.0	115.0	124.0	115.0	
kubus 7	133.0	142.0	133.0	142.0	133.0	
kubus 8	151.0	160.0	151.0	160.0	151.0	
kubus 9	169.0	178.0	169.0	178.0	169.0	
kubus 10	187.0	193.0	187.0	193.0	187.0	
kubus 11	205.0	214.0	205.0	214.0	205.0	
kubus 12	223.0		223.0		223.0	

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	66	104	78	127	101	
kubus 2	155	30	79	6	150	
kubus 3	152	41	110	13	97	
kubus 4	53	37	75	46	151	
kubus 5	56	105	57	48	67	
kubus 6	35	72	133	124	55	
kubus 7	38	27	134	129	47	
kubus 8	70	108	135	123	100	
kubus 9	59	73	143	11	28	
kubus 10	153	109	136	9	98	
kubus 11	156	103	60	3	154	
kubus 12	68		85		102	

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
0	1932	1857	1802	1729	1650
30	1928	1872	1791	1726	1671
40	1919	1857	1807	1738	1667
50	1941	1861	1801	1716	1669
60	1907	1856	1781	1743	1669
70	1953	1861	1809	1736	1685
80	1927	1838	1793	1738	1658
90	1936	1873	1798	1720	1667
100	1929	1853	1814	1742	1660
110	1920	1860	1799	1751	1676
120	1937	1852	1781	1720	1676
130	1928	1852	1815	1725	1651
140	1942	1858	1800	1730	1638
150	1928	1865	1793	1726	1648
160	1922	1876	1799	1748	1677
170	1929	1900	1831	1712	1662
180	1920	1872	1802	1728	1666
190	1928	1867	1787	1719	1667
200	1945	1859	1810	1713	1651

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1736	1678	1600	1539	1468
	1741	1681	1595	1532	1473
	1728	1663	1611	1520	1463
	1733	1644	1607	1552	1437
	gat	1598	1619	1527	1488
	1738	1682	1586	1552	1487
	1741	1660	1607	1535	1453
	1703	1664	1578	1536	dubbel
	dubbel	dubbel	dubbel	1543	dubbel
	dubbel	dubbel	dubbel	1534	1479
	1735	1659	dubbel	dubbel	dubbel
	1746	1667	1587	dubbel	dubbel
	1703	dubbel	1596	dubbel	dubbel
	1705	dubbel	dubbel	dubbel	dubbel
	1733	dubbel	dubbel	1518	1461
	dubbel	1639	1624	dubbel	dubbel
	dubbel	gat	1579	dubbel	dubbel
	1720	1668	1572	1521	1474
	1728	1679	1582	1486	1480

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	163	149	168	158	151
30	156	159	163	161	165
40	159	161	163	181	170
50	173	181	161	136	193
60	0	215	135	180	151
70	179	149	186	153	165
80	155	148	155	169	171
90	194	174	183	153	0
100	0	0	0	166	0
110	0	0	0	181	164
120	168	161	0	0	0
130	151	154	190	0	0
140	199	0	170	0	0
150	186	0	0	0	0
160	157	0	0	191	180
170	0	217	172	0	0
180	0	0	186	0	0
190	173	166	179	165	161
200	181	150	190	189	142

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	redelijk
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	13
Aantal spleten:	Drie
Lengte spleten (in aantal rijen):	drie van drie
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	6
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	4
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	3
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	1

Foto's:



Foto N-22 Bovenaanzicht (loodrecht) van proef G-2

N-4 Proef G-2a

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	90° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	18,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	12,5 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			169.1	mm
Gemeten oppervlak	1.56	1.63	1.54	m ²
Aantal kubussen	46	45	47	stuks
Porositeit	41.1	44.9	43.0	%
Plaatsingsdichtheid	66.4	62.1	64.3	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	160.0	172.5	185.0	197.5	210.0	
x						
kubus 1	25.0	34.0	25.0	34.0	25.0	
kubus 2	43.0	52.0	43.0	52.0	43.0	
kubus 3	61.0	70.0	61.0	70.0	61.0	
kubus 4	79.0	88.0	79.0	88.0	79.0	
kubus 5	97.0	106.0	97.0	106.0	97.0	
kubus 6	115.0	124.0	115.0	124.0	115.0	
kubus 7	133.0	142.0	133.0	142.0	133.0	
kubus 8	151.0	160.0	151.0	160.0	151.0	
kubus 9	169.0	178.0	169.0	178.0	169.0	
kubus 10	187.0	193.0	187.0	193.0	187.0	
kubus 11	205.0	214.0	205.0	214.0	205.0	
kubus 12	223.0		223.0		223.0	

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	151	41	136	13	155	
kubus 2	150	37	79	11	100	
kubus 3	53	36	143	3	153	
kubus 4	59	109	134	46	102	
kubus 5	28	104	78	48	56	
kubus 6	66	105	75	129	101	
kubus 7	97	73	85	124	156	
kubus 8	154	108	110	9	55	
kubus 9	35	103	83	123	38	
kubus 10	15	72	133	128	67	
kubus 11	98	30	135	6	47	
kubus 12	68		57		70	

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
0	1932	1854	1784	1729	1689
30	1928	1853	1790	1754	1661
40	1919	1868	1797	1724	1665
50	1941	1862	1811	1736	1667
60	1907	1864	1802	1738	1678
70	1953	1861	1815	1730	1683
80	1927	1836	1792	1725	1682
90	1936	1846	1787	1725	1670
100	1929	1831	1787	1745	1659
110	1920	1859	1786	1718	1667
120	1937	1861	1777	1721	1680
130	1928	1872	1819	1716	1685
140	1942	1872	1804	1722	1674
150	1928	1843	1804	1737	1677
160	1922	1855	1790	1743	1677
170	1929	1861	1794	1727	1669
180	1920	1870	1789	1727	1677
190	1928	1858	1791	1741	1696
200	1945	1878	1814	1706	1658

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1728	1671	1611	1545	1466
	1725	1665	1590	1566	1478
	dubbel	1683	1607	1536	1484
	dubbel	1638	1602	1548	1458
	1720	dubbel	dubbel	dubbel	dubbel
	1730	1633	dubbel	dubbel	dubbel
	dubbel	dubbel	dubbel	dubbel	1493
	dubbel	dubbel	dubbel	dubbel	1481
	1715	1638	1589	1520	1472
	dubbel	1665	1598	1519	1475
	dubbel	1597	1585	1516	1470
	dubbel	dubbel	1583	1533	1475
	dubbel	dubbel	1587	1536	1477
	1706	dubbel	dubbel	1527	1471
	1716	dubbel	dubbel	1530	1486
	1727	1663	dubbel	dubbel	1472
	1738	1670	dubbel	dubbel	1462
	1717	1651	1650	1467	1461
	1724	1677	1562	1532	1417

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	170	152	144	153	186
30	169	156	166	156	152
40	0	154	158	156	151
50	0	186	174	156	174
60	156	0	0	0	0
70	186	190	0	0	0
80	0	0	0	0	157
90	0	0	0	0	157
100	178	161	165	187	156
110	0	161	156	166	160
120	0	220	160	171	175
130	0	0	196	152	175
140	0	0	181	155	164
150	185	0	0	175	171
160	171	0	0	177	159
170	168	165	0	0	164
180	151	166	0	0	179
190	176	172	117	228	196
200	184	167	210	145	201

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	slecht veel dubbelen en veel grote gaten.
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	12 a 13
Aantal spleten:	drie
Lengte spleten (in aantal rijen):	drie van drie
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	7
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	8
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	4
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	4

Foto's:



Foto N-23 Bovenaanzicht (loodrecht) proef G-2a



Foto N-24 Zijaanzicht proef G-2a

N-5 Proef G-3

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	90° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	19,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	12,5 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			164.9	mm
Gemeten oppervlak	1.50	1.58	1.54	m ²
Aantal kubussen	47	47	47	stuks
Porositeit	36.0	38.9	37.5	%
Plaatsingsdichtheid	70.3	67.1	68.7	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	160.0	172.5	185.0	197.5	210.0	
x						
kubus 1	25.0	34.5	25.0	34.5	25.0	
kubus 2	44.0	53.5	44.0	53.5	44.0	
kubus 3	63.0	72.5	63.0	72.5	63.0	
kubus 4	82.0	91.5	82.0	91.5	82.0	
kubus 5	101.0	110.5	101.0	110.5	101.0	
kubus 6	120.0	129.5	120.0	129.5	120.0	
kubus 7	139.0	148.5	139.0	148.5	139.0	
kubus 8	158.0	167.5	158.0	167.5	158.0	
kubus 9	177.0	186.5	177.0	186.5	177.0	
kubus 10	196.0	205.5	196.0	205.5	196.0	
kubus 11	215.0	224.5	215.0	224.5	215.0	

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	59	27	79	123	35	
kubus 2	70	104	85	9	67	
kubus 3	102	105	134	13	151	
kubus 4	38	72	75	11	56	
kubus 5	153	37	110	3	101	
kubus 6	152	41	133	48	66	
kubus 7	68	108	60	124	98	
kubus 8	155	36	57	128	156	
kubus 9	53	73	143	6	150	
kubus 10	154	109	135	129	100	
kubus 11	97	30	136	46	55	

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
0	1934	1859	1783	1732	1672
30	1927	1869	1813	1731	1670
40	1921	1858	1805	1746	1663
50	1943	1858	1797	1730	1686
60	1902	1854	1786	1715	1678
70	1930	1853	1808	1733	1686
80	1923	1863	1791	1760	1674
90	1932	1874	1807	1724	1663
100	1927	1863	1814	1740	1656
110	1902	1855	1786	1725	1680
120	1938	1860	1783	1742	1633
130	1926	1855	1808	1721	1656
140	1931	1847	1798	1724	1650
150	1928	1861	1780	1717	1661
160	1923	1859	1783	1728	1665
170	1931	1875	1796	1724	1662
180	1929	1868	1792	1701	1663
190	1902	1867	1789	1749	1662
200	1916	1861	1812	1720	1653

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1736	1671	1594	1537	1478
	1740	1681	1596	1533	1476
	1734	1676	1609	1514	1505
	1734	1667	1599	1547	1485
	1723	1668	1600	1588	1482
	1733	1667	1606	1535	1481
	1721	1657	1598	1538	dubbel
	1724	1675	1594	dubbel	dubbel
	1719	1673	1585	1528	1460
	1702	1665	1590	1530	1453
	1722	1676	1598	1520	1469
	1731	1666	1638	1494	1472
	1731	1664	1606	1516	1451
	1735	1661	1595	1528	1463
	1728	1662	1605	1527	1443
	1702	1667	1594	1532	1453
	1698	1655	1597	1525	1455
	dubbel	dubbel	1593	1505	1464
	dubbel	dubbel	1596	1507	dubbel

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	165	156	157	162	161
30	156	156	181	165	161
40	156	151	163	193	131
50	174	159	165	152	167
60	149	155	155	106	163
70	164	155	168	165	171
80	168	171	161	185	
90	173	166	177		
100	173	158	191	176	163
110	166	158	163	162	189
120	180	153	154	185	136
130	162	157	141	189	153
140	166	152	160	173	166
150	161	166	154	157	165
160	162	164	148	167	185
170	191	173	168	160	174
180	192	177	162	146	173
190			163	203	165
200			180	177	

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	Redelijk, weinig dubbelen maar wel een aantal kleine gaten
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	acht
Aantal spleten:	6
Lengte spleten (in aantal rijen):	zes van twee
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	11
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	5
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	2
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	2

Foto's:



Foto N-25 Bovenaanzicht (loodrecht) proef G-3

N-6 Proef G-4

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	90 t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van zetten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	20,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	12,5 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			163.2	mm
Gemeten oppervlak	1.32	1.43		m ²
Aantal kubussen	43	43	43	stuks
Porositeit	32.4	37.9	35.2	%
Plaatsingsdichtheid	73.5	67.6	70.6	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	160.0	172.5	185.0	197.5	210.0	
x						
kubus 1	25.0	35.0	25.0	35.0	25.0	
kubus 2	45.0	55.0	45.0	55.0	45.0	
kubus 3	65.0	75.0	65.0	75.0	65.0	
kubus 4	85.0	95.0	85.0	95.0	85.0	
kubus 5	105.0	115.0	105.0	115.0	105.0	
kubus 6	125.0	135.0	125.0	135.0	125.0	
kubus 7	145.0	155.0	145.0	155.0	145.0	
kubus 8	165.0	175.0	165.0	175.0	165.0	
kubus 9	185.0	195.0	185.0	195.0	185.0	
kubus 10	205.0	215.0	205.0	215.0	205.0	

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	150	109	124	79	50	
kubus 2	156	41	128	134	97	
kubus 3	152	42	122	133	28	
kubus 4	154	108	123	85	59	
kubus 5	68	136	6	136	67	
kubus 6	151	103	127	75	98	
kubus 7	102	73	129	60	66	
kubus 8	100	105	48	110	101	
kubus 9	153	27	13	143	38	
kubus 10	155	107	3	57	47	

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
0	2005	1941	1867	1800	1719
30	1994	1931	1863	1786	1729
40	1984	1915	1869	1798	1719
50	1974	1920	1857	1796	1734
60	1978	1923	1859	1807	1728
70	1976	1933	1856	1805	1734
80	2008	1917	1845	1817	1718
90	1980	1932	1833	1808	1715
100	1986	1912	1849	1803	1716
110	1996	1925	1845	1806	1742
120	1996	1940	1851	1775	1721
130	1980	1939	1881	1800	1726
140	1981	1924	1847	1794	1726
150	1988	1921	1865	1800	1698
160	1983	1924	1873	1799	1721
170	1997	1926	1857	1815	1722
180	1992	1928	1840	1818	1730

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1795	1729	1660	1591	1538
	1797	1730	1665	1611	1531
	1800	1745	1665	1568	1537
	1797	1721	1674	1610	1548
	1801	1734	1667	1600	1536
	1787	1724	1658	1600	1567
	1795	1720	1657	1603	1545
	1809	1720	gat	1590	1528
	gat	1714	1651	1603	1534
	1779	1716	1659	1597	1531
	1793	1719	1650	1582	1528
	1790	1730	1666	1595	1543
	1792	1735	1651	1608	1488
	1802	1730	1654	gat	1539
	1800	1742	1660	1587	1536
	1800	1732	1676	dubbel	1522
	1794	dubbel	dubbel	dubbel	dubbel

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	175	176	172	174	151
30	164	167	165	146	165
40	153	141	170	191	151
50	147	166	152	155	155
60	147	157	160	172	160
70	157	174	165	171	139
80	177	164	156	178	144
90	142	176	0	181	156
100	0	165	165	166	151
110	181	174	155	174	176
120	169	184	167	161	161
130	158	174	179	171	152
140	157	157	163	155	198
150	155	159	176	0	132
160	152	151	177	176	154
170	164	161	151		166
180	165				

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	slecht, systematisch te grote gaten, door te grote
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	5
Aantal spleten:	twee
Lengte spleten (in aantal rijen):	twee van twee
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	5
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	5
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	3
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	1

N-7 Proef G-4a

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	90° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	20,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	12,5 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			164.6	mm
Gemeten oppervlak	1.47	1.55		m ²
Aantal kubussen	48	48	48	stuks
Porositeit	33.1	36.4	34.8	%
Plaatsingsdichtheid	73.5	69.8	71.7	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	160.0	172.5	185.0	197.5	210.0	
x						
kubus 1	25.0	35.0	25.0	35.0	25.0	
kubus 2	45.0	55.0	45.0	55.0	45.0	
kubus 3	65.0	75.0	65.0	75.0	65.0	
kubus 4	85.0	95.0	85.0	95.0	85.0	
kubus 5	105.0	115.0	105.0	115.0	105.0	
kubus 6	125.0	135.0	125.0	135.0	125.0	
kubus 7	145.0	155.0	145.0	155.0	145.0	
kubus 8	165.0	175.0	165.0	175.0	165.0	
kubus 9	185.0	195.0	185.0	195.0	185.0	
kubus 10	205.0	215.0	205.0	215.0	205.0	
kubus 11	225.0		225.0		225.0	

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	68	41	134	6	156	
kubus 2	55	108	133	46	70	
kubus 3	154	37	143	48	98	
kubus 4	101	109	57	13	56	
kubus 5	100	36	110	124	102	
kubus 6	35	73	75	3	38	
kubus 7	152	30	136	9	66	
kubus 8	155	105	135	128	53	
kubus 9	150	72	79	129	97	
kubus 10	153	27	83	11	67	
kubus 11	151		78		59	

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
0	1936	1854	1806	1728	1671
30	1927	1867	1793	1730	1676
40	1926	1860	1805	1734	1673
50	1924	1848	1805	1734	1671
60	1918	1857	1794	1720	1675
70	1939	1857	1800	1731	1687
80	1924	1870	1796	1728	1670
90	1900	1874	1810	1744	1659
100	1923	1868	1817	1740	1667
110	1918	1861	1790	1669	1673
120	1937	1838	1785	1749	1670
130	1919	1859	1809	1710	1669
140	1930	1855	1800	1732	1661
150	1931	1866	1788	1735	1660
160	1912	1856	1786	1745	1656
170	1904	1874	1797	1722	1654
180	1923	1880	1781	1743	1655
190	1892	1871	1793	1722	1670
200	1922	1865	1812	1714	1661

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1738	1648	1603	1534	1474
	1739	1682	1596	1527	1435
	1729	1670	1610	1532	1489
	1723	1661	1603	1541	dubbel
	1727	1659	1617	1502	dubbel
	1717	1661	1602	1525	1481
	1726	1679	1606	1539	1472
	1726	1665	1595	dubbel	dubbel
	1727	1661	1611	dubbel	dubbel
	1721	gat	1597	dubbel	1453
	1722	1655	1598	1556	1430
	1728	1671	1590	1517	1460
	1724	1656	dubbel	dubbel	1469
	1741	1655	dubbel	dubbel	1469
	1735	1660	dubbel	dubbel	1472
	1733	1670	dubbel	dubbel	1467
	1736	1675	1602	1512	1469
	1726	1657	1628	1495	1456
	gat	1665	1605	1536	1471

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	165	171	169	161	164
30	156	154	164	169	201
40	164	158	162	168	153
50	167	156	168	161	0
60	159	165	147	181	0
70	185	163	165	171	171
80	165	159	158	157	165
90	145	174	179	0	0
100	163	172	171	0	0
110	164	0	161	0	183
120	179	152	156	161	200
130	159	156	182	161	174
140	171	166	0	0	160
150	158	176	0	0	159
160	147	163	0	0	153
170	142	170	0	0	156
180	156	171	149	192	155
190	138	178	137	189	178
200	0	166	172	148	158

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	redelijk, weinig dubbelen, niet zoveel gaten
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	5
Aantal spleten:	twee
Lengte spleten (in aantal rijen):	twee van twee
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	9
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	5
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	2
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	2

Foto's:



Foto N-26 Bovenaanzicht (loodrecht) proef G-4a

N-8 Proef G-5

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	90° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	21,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	12,5 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			164.6	mm
Gemeten oppervlak	1.51	1.57	1.54	m^2
Aantal kubussen	48	47	48	stuks
Porositeit	34.6	38.5	36.6	%
Plaatsingsdichtheid	71.8	67.5	69.7	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	160.0	172.5	185.0	197.5	210.0	
x						
kubus 1	25.0	35.5	25.0	35.5	25.0	
kubus 2	46.0	56.5	46.0	56.5	46.0	
kubus 3	67.0	77.5	67.0	77.5	67.0	
kubus 4	88.0	98.5	88.0	98.5	88.0	
kubus 5	109.0	119.5	109.0	119.5	109.0	
kubus 6	130.0	140.5	130.0	140.5	130.0	
kubus 7	151.0	161.5	151.0	161.5	151.0	
kubus 8	172.0	182.5	172.0	182.5	172.0	
kubus 9	193.0	203.5	193.0	203.5	193.0	
kubus 10	214.0	224.5	214.0	224.5	214.0	

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	67	73	135	129	101	
kubus 2	155	104	143	3	98	
kubus 3	152	72	79	46	35	
kubus 4	100	37	136	11	70	
kubus 5	151	105	134	9	150	
kubus 6	97	30	83	128	53	
kubus 7	154	41	85	13	66	
kubus 8	68	108	57	6	156	
kubus 9	59	109	133	48	102	
kubus 10	153	36	110	124	56	

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
0	1917	1863	1821	1723	1671
30	1926	1870	1800	1737	1655
40	1927	1861	1819	1728	1661
50	1922	1849	1805	1731	1667
60	1896	1860	1791	1737	1670
70	1932	1858	1803	1728	1669
80	1910	1855	1798	1729	1674
90	1918	1861	1803	1740	1658
100	1932	1866	1790	1740	1669
110	1898	1860	1802	1720	1676
120	1924	1838	1776	1718	1676
130	1923	1866	1809	1706	1658
140	1928	1863	1793	1716	1674
150	1931	1863	1791	1737	1660
160	1917	1864	1799	1750	1670
170	1905	1865	1785	1719	1655
180	1917	1876	1789	1733	1674
190	1898	1856	1790	1726	1674
200	1911	1861	1809	1755	1651

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1740	1654	1587	1533	1494
	1732	1668	1594	1533	1482
	1730	1675	1601	1529	1483
	1721	1661	1606	1539	1482
	1722	1667	1603	1544	1491
	1726	1671	1602	1524	1471
	1715	1652	dubbel	1538	1487
	1726	dubbel	dubbel	1531	1455
	1717	dubbel	dubbel	1509	1446
	dubbel	dubbel	1593	1527	1489
	dubbel	dubbel	1589	1535	1486
	1725	1661	1590	1525	1488
	1733	1670	1584	1541	1469
	1702	1651	1600	1534	1477
	1712	1662	1599	1534	1454
	1719	1653	1602	1553	1478
	1719	1647	1548	1537	1456
	1712	1635	1629	1544	1463
	1732	1666	1576	1539	1468

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	147	174	195	158	147
30	161	168	171	170	144
40	164	155	181	166	148
50	167	156	166	160	154
60	145	161	156	161	149
70	171	156	167	170	165
80	162	169	0	159	156
90	160	0	0	174	169
100	179	0	0	192	186
110	0	0	174	161	156
120	0	0	156	152	158
130	165	171	182	151	141
140	162	161	174	146	171
150	191	176	159	169	152
160	171	168	166	180	180
170	155	176	152	138	147
180	165	191	201	163	181
190	155	184	134	151	176
200	149	162	194	180	152

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	redelijk, heel weinig dubbelen, maar wel grotere gaten.
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	2
Aantal spleten:	drie
Lengte spleten (in aantal rijen):	drie van twee
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	9
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	7
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	3
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	1

Foto's:



Foto N-27 Bovenaanzicht (loodrecht) proef G-5

N-9 Proef G-5a

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	90° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	21,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	12,5 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			165.3	mm
Gemeten oppervlak	1.52	1.59	1.56	m ²
Aantal kubussen	46	46	46	stuks
Porositeit	38.3	41.1	39.7	%
Plaatsingsdichtheid	68.0	64.9	66.5	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	160.0	172.5	185.0	197.5	210.0	
x						
kubus 1	25.0	35.5	25.0	35.5	25.0	
kubus 2	46.0	56.5	46.0	56.5	46.0	
kubus 3	67.0	77.5	67.0	77.5	67.0	
kubus 4	88.0	98.5	88.0	98.5	88.0	
kubus 5	109.0	119.5	109.0	119.5	109.0	
kubus 6	130.0	140.5	130.0	140.5	130.0	
kubus 7	151.0	161.5	151.0	161.5	151.0	
kubus 8	172.0	182.5	172.0	182.5	172.0	
kubus 9	193.0	203.5	193.0	203.5	193.0	
kubus 10	214.0	224.5	214.0	224.5	214.0	

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	102	108	...	124	153	
kubus 2	156	41	...	3	59	
kubus 3	151	36	...	48	47	
kubus 4	66	72	110	9	53	
kubus 5	100	73	136	13	150	
kubus 6	152	30	143	128	70	
kubus 7	155	109	136	11	97	
kubus 8	68	37	134	46	98	
kubus 9	56	104	83	129	35	
kubus 10	154	105	85	6	28	

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
0	1913	1862	1789	1739	1675
30	1917	1868	1806	1720	1668
40	1929	1857	1805	1720	1657
50	1917	1860	1793	1732	1665
60	1904	1855	1792	1734	1683
70	1933	1857	1800	1732	1667
80	1912	1845	1789	1730	1679
90	1916	1850	1795	1722	1666
100	1924	1839	1793	1742	1650
110	1902	1856	1808	1710	1658
120	1922	1870	1778	1695	1658
130	1915	1871	1812	1714	1668
140	1934	1872	1796	1719	1666
150	1929	1855	1799	1754	1660
160	1918	1862	1812	1722	1666
170	1906	1860	1804	1724	1650
180	1918	1866	1884	1721	1658
190	1925	1847	1787	1715	1689
200	1913	1868	1810	1720	1649

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1729	1668	1598	1548	1494
	1722	1661	1597	1536	1497
	1730	1671	1602	1534	1459
	1730	1669	1599	1542	1491
	1719	1662	1594	1546	1498
	1719	1670	1603	1524	1477
	1693	1683	1605	1528	1476
	1717	1647	1588	1522	1474
	1720	1674	1601	1513	1457
	1722	1661	1591	1513	1466
	1724	1665	1582	1530	1458
	1722	1664	1586	1539	dubbel
	1734	1680	1587	dubbel	dubbel
	1700	1598	1600	dubbel	dubbel
	1706	1647	1553	1537	1475
	1730	1666	1561	1551	1451
	1733	dubbel	1569	dubbel	1451
	1734	dubbel	dubbel	dubbel	1460
	1736	1677	dubbel	dubbel	dubbel

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	153	161	159	159	151
30	162	172	174	153	142
40	166	155	169	155	165
50	156	159	161	158	145
60	154	161	165	156	154
70	178	156	164	173	158
80	182	135	153	168	169
90	166	169	172	166	160
100	170	137	160	191	161
110	150	162	181	164	160
120	165	171	163	137	166
130	161	172	188	146	0
140	166	160	174	0	0
150	191	214	166	0	0
160	176	179	216	154	159
170	146	161	202	144	166
180	154	0	262	0	172
190	159	0	0	0	191
200	147	159	0	0	0

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	redelijk, maar minder dan de vorige, vooral meer
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	4
Aantal spleten:	drie
Lengte spleten (in aantal rijen):	drie van twee
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	13
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	7
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	4
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	1

Foto's:



Foto N-28 Bovenaanzicht (loodrecht) proef G-5a

N-10 Proef G-6

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	90° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	halfsteensverband.
H.o.h. afstand x-richting:	:	22,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	12,5 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			158.6	mm
Gemeten oppervlak	1.56	1.63	1.60	m ²
Aantal kubussen	46	46	46	stuks
Porositeit	37.2	40.0	38.6	%
Plaatsingsdichtheid	66.4	63.4	64.9	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	160.0	172.5	185.0	197.5	210.0	
x						
kubus 1	25.0	36.0	25.0	36.0	25.0	
kubus 2	47.0	58.0	47.0	58.0	47.0	
kubus 3	69.0	80.0	69.0	80.0	69.0	
kubus 4	91.0	102.0	91.0	102.0	91.0	
kubus 5	113.0	124.0	113.0	124.0	113.0	
kubus 6	135.0	146.0	135.0	146.0	135.0	
kubus 7	157.0	168.0	157.0	168.0	157.0	
kubus 8	179.0	190.0	179.0	190.0	179.0	
kubus 9	201.0	212.0	201.0	212.0	201.0	
kubus 10	223.0		223.0		223.0	

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	102	41	134	129	59	
kubus 2	56	105	85	128	153	
kubus 3	38	72	83	123	68	
kubus 4	150	73	135	3	97	
kubus 5	55	107	57	46	156	
kubus 6	67	36	75	6	98	
kubus 7	28	37	110	48	155	
kubus 8	35	103	78	124	101	
kubus 9	151	30	79	9	100	
kubus 10	154		133		53	

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
0	1917	1848	1789	1730	1668
30	1913	1875	1792	1740	1661
40	1912	1868	1788	1722	1652
50	1919	1870	1800	1732	1671
60	1909	1861	1803	1726	1676
70	1921	1879	1818	1730	1688
80	1932	1880	1792	1726	1678
90	1923	1849	1799	1727	1673
100	1923	1869	1781	1726	1658
110	1914	1847	1799	1721	1651
120	1921	1849	1780	1733	1665
130	1925	1867	1818	1732	1647
140	1930	1871	1800	1717	1670
150	1905	1861	1794	1750	1656
160	1920	1862	1795	1723	1653
170	1910	1856	1818	1721	1649
180	1924	1868	1796	1729	1653
190	1932	1881	1796	1730	1670
200	1912	1895	1814	1699	1658

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1727	1645	1631	1536	1481
	1750	1654	1596	gat	1487
	1737	1696	1619	1543	1490
	1735	1671	1614	1538	1486
	1733	1680	1604	1543	1494
	1716	1677	gat	1542	1495
	1735	1661	1592	1559	1483
	1710	1641	1606	1533	1491
	1725	dubbel	dubbel	1543	1505
	1720	dubbel	dubbel	1570	1495
	1721	1660	1596	1534	1484
	1717	1653	1568	1531	1499
	1736	1656	1534	1543	1486
	1719	1660	1610	1540	1482
	1730	1685	1598	1537	1483
	1722	1658	1606	1527	1480
	gat	gat	1610	1544	1494
	1721	1656	1587	1524	1485
	1739	1680	gat	gat	1461

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	158	169	131	161	156
30	136	184	163	0	145
40	146	143	141	149	135
50	153	166	155	161	154
60	146	151	166	152	151
70	171	168	0	156	161
80	164	182	166	139	162
90	177	173	161	161	151
100	165	0	0	152	127
110	161	0	0	126	130
120	166	157	153	166	151
130	173	178	208	167	123
140	161	179	221	145	153
150	155	167	153	175	145
160	158	147	164	155	141
170	156	165	176	161	141
180	0	0	155	154	132
190	176	187	174	171	154
200	144	179	0	0	164

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	teveel en relatief grote gaten!
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	2
Aantal spleten:	zes
Lengte spleten (in aantal rijen):	twee van drie en vier van twee
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	10
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	7
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	3
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	2

Foto's:



Foto N-29 Bovenaanzicht (loodrecht) proef G-6



Foto N-30 Zijaanzicht proef G-6

O-1 Proef H-1

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	45° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	v-vorm.
H.o.h. afstand x-richting:	:	23,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	12,5 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			159,6	mm
Gemeten oppervlak	1,44	1,46	1,45	m ²
Aantal kubussen	47	46	47	stuks
Porositeit	30,8	33,1	32,0	%
Plaatsingsdichtheid	73,6	71,1	72,4	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	160.0	172.5	185.0	197.5	210.0	222.5
x	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>
kubus 1	25.0	36.5	25.0	36.5	25.0	36.5
kubus 2	48.0	59.5	48.0	59.5	48.0	59.5
kubus 3	71.0	82.5	71.0	82.5	71.0	82.5
kubus 4	94.0	105.5	94.0	105.5	94.0	105.5
kubus 5	117.0	128.5	117.0	128.5	117.0	128.5
kubus 6	140.0	151.5	140.0	151.5	140.0	151.5
kubus 7	163.0	174.5	163.0	174.5	163.0	174.5
kubus 8	186.0	197.5	186.0	197.5	186.0	197.5
kubus 9	209.0	220.5	209.0	220.5	209.0	220.5

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	101	109	79	11	55	105
kubus 2	97	43	75	9	68	42
kubus 3	98	104	136	48	102	39
kubus 4	154	103	69	123	70	33
kubus 5	156	36	83	3	155	30
kubus 6	59	41	133	128	56	40
kubus 7	38	73	78	129	150	37
kubus 8	47	108	85	127	153	34
kubus 9	53	106	110	124	67	72

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
20	1924	1840	1800	1745	1682
30	1916	1854	1789	1732	1660
40	1900	1856	1789	1747	1673
50	1910	1863	1791	1734	1668
60	1902	1847	1798	1748	1690
70	1926	1856	1803	1728	1670
80	1899	1838	1792	1746	1666
90	1914	1858	1788	1723	1660
100	1904	1864	1797	1741	1671
110	1896	1844	1796	1710	1651
120	1921	1857	1791	1736	1656
130	1898	1869	1782	1717	1669
140	1910	1837	1795	1728	1675
150	1905	1851	1773	1751	1670
160	1912	1847	1802	1729	1670
170	1905	1860	1802	1731	1649
180	1921	1850	1784	1734	1678
190	1924	1861	1781	1746	1674
200	1933	1861	1779	1706	1667

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1718	1667	1606	1534	1472
	1729	1687	1612	1567	1471
	1727	1659	1623	1521	1481
	1724	1657	1669	dubbel	1477
	1717	1679	dubbel	dubbel	1482
	1760	1632	dubbel	dubbel	1490
	1702	1650	1607	1553	1520
	1743	1660	1602	1540	1442
	1710	1651	1592	1536	1481
	dubbel	dubbel	1589	1524	1478
	dubbel	dubbel	1603	1539	1479
	1719	1658	1601	1543	1459
	dubbel	dubbel	1594	1532	1460
	dubbel	dubbel	1606	dubbel	1483
	1726	1663	dubbel	dubbel	gat
	1722	1656	dubbel	1523	1474
	1730	1656	1572	1555	1472
	1714	1645	1599	1517	1477
	1716	1597	1595	1540	1479

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	171	144	161	176	175
30	156	139	147	137	157
40	144	164	138	188	160
50	155	171	102	0	159
60	154	140	0	0	173
70	138	186	0	0	150
80	164	156	154	161	121
90	142	165	155	152	181
100	161	177	171	171	158
110	0	0	172	155	144
120	0	0	156	164	147
130	149	176	151	145	175
140	0	0	167	163	179
150	0	0	139	0	156
160	155	153	0	0	0
170	152	170	0	173	146
180	159	161	176	149	171
190	175	180	151	191	164
200	181	220	153	138	156

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	redelijk, alleen nog wel veel dubbelen en gaten
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	7
Aantal spleten:	drie
Lengte spleten (in aantal rijen):	drie van twee
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	4
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	9
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	3
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	1

Foto's:



Foto O-31 Bovenaanzicht (loodrecht)

O-2 Proef H-1a

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	45° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	v-vorm.
H.o.h. afstand x-richting:	:	23,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	9,0 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			158,9	mm
Gemeten oppervlak	1,37	1,44	1,41	m ²
Aantal kubussen	42	41	42	stuks
Porositeit	34,6	39,5	37,1	%
Plaatsingsdichtheid	69,2	64,0	66,6	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	160.0	160.0	178.0	187.0	196.0	205.0
x	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>
kubus 1	35.0	46.5	35.0	46.5	35.0	46.5
kubus 2	58.0	69.5	58.0	69.5	58.0	69.5
kubus 3	81.0	92.5	81.0	92.5	81.0	92.5
kubus 4	104.0	115.5	104.0	115.5	104.0	115.5
kubus 5	127.0	138.5	127.0	138.5	127.0	138.5
kubus 6	150.0	161.5	150.0	161.5	150.0	161.5
kubus 7	173.0	184.5	173.0	184.5	173.0	184.5
kubus 8	196.0	207.5	196.0	207.5	196.0	207.5
kubus 9	219.0	230.5	219.0	230.5	219.0	230.5

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	155	41	69	9	70	42
kubus 2	59	36	85	11	66	105
kubus 3	156	108	78	48	56	33
kubus 4	153	72	110	129	101	39
kubus 5	67	73	79	124	68	103
kubus 6	53	30	75	3	55	104
kubus 7	47	34	133	13	150	40
kubus 8	97	109	134	123	154	37
kubus 9	38	106	136	127	102	43

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
20	1910	1841	1793	1741	1681
30	1913	1858	1785	1746	1669
40	1905	1866	1778	1748	1680
50	1907	1822	1792	1733	1667
60	1912	1850	1778	1744	1696
70	1894	1865	1775	1741	1680
80	1898	1843	1786	1754	1679
90	1914	1860	1788	1726	1671
100	1901	1865	1812	1742	1658
110	1901	1834	1792	1724	1668
120	1921	1864	1794	1734	1660
130	1925	1876	1780	1719	1672
140	1913	1852	1781	1727	1657
150	1906	1849	1785	1710	1645
160	1908	1853	1796	1726	1664
170	1912	1861	1797	1733	1658
180	1922	1855	1780	1732	1678
190	1929	1864	1777	1749	1675
200	1935	1865	1781	1724	1667

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1730	1669	1629	1552	1485
	1745	1693	1607	1550	1495
	1718	1655	1612	dubbel	1488
	dubbel	dubbel	dubbel	dubbel	1496
	1730	dubbel	dubbel	dubbel	1460
	dubbel	dubbel	1603	dubbel	dubbel
	dubbel	dubbel	1604	dubbel	dubbel
	dubbel	dubbel	1605	dubbel	dubbel
	dubbel	dubbel	1599	dubbel	dubbel
	1704	1649	1591	1547	dubbel
	1711	1658	1602	1528	1479
	1714	1657	1592	1538	1482
	1721	1662	1599	1542	1474
	1723	1660	1582	1548	1467
	1719	1660	1602	1540	1479
	1730	1664	1603	1533	1502
	1718	1623	1630	1542	1468
	1714	1646	dubbel	dubbel	1473
	1731	1628	dubbel	dubbel	1472

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	149,77	143,11	136,46	157,26	163,08
30	139,78	137,29	148,10	163,08	144,78
40	155,59	175,56	138,12	0,00	159,75
50	0,00	0,00	0,00	0,00	142,28
60	151,43	0,00	0,00	0,00	196,36
70	0,00	0,00	143,11	0,00	0,00
80	0,00	0,00	151,43	0,00	0,00
90	0,00	0,00	152,27	0,00	0,00
100	0,00	0,00	177,23	0,00	0,00
110	163,91	153,93	167,24	147,27	0,00
120	174,73	171,40	159,75	171,40	150,60
130	175,56	182,22	156,43	150,60	158,09
140	159,75	158,09	151,43	153,93	152,27
150	152,27	157,26	168,91	134,79	148,10
160	157,26	160,59	161,42	154,76	153,93
170	151,43	163,91	161,42	166,41	129,80
180	169,74	193,04	124,81	158,09	174,73
190	178,89	181,39	0,00	0,00	168,07
200	169,74	197,20	0,00	0,00	162,25

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	niet goed, teveel dubbelen door te kleine afstand in y-richting.
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	12
Aantal spleten:	drie
Lengte spleten (in aantal rijen):	twee van twee en een van drie
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	7
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	7
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	3
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	3

Foto's:



Foto O-32 Bovenaanzicht (loodrecht)

O-3 Proef H-1b

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	45° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	v-vorm.
H.o.h. afstand x-richting:	:	23,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	1 ^{ste} rij 12,5 cm, daarna 10,0 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			160,2	mm
Gemeten oppervlak	1,57	1,63	1,60	m ²
Aantal kubussen	48	48	48	stuks
Porositeit	35,4	37,9	36,7	%
Plaatsingsdichtheid	69,0	66,3	67,7	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	160.0	172.5	182.5	192.5	202.5	212.5
x	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>
kubus 1	35.0	46.5	35.0	46.5	35.0	46.5
kubus 2	58.0	69.5	58.0	69.5	58.0	69.5
kubus 3	81.0	92.5	81.0	92.5	81.0	92.5
kubus 4	104.0	115.5	104.0	115.5	104.0	115.5
kubus 5	127.0	138.5	127.0	138.5	127.0	138.5
kubus 6	150.0	161.5	150.0	161.5	150.0	161.5
kubus 7	173.0	184.5	173.0	184.5	173.0	184.5
kubus 8	196.0	207.5	196.0	207.5	196.0	207.5
kubus 9	219.0	230.5	219.0	230.5	219.0	230.5

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	155	43	134	13	56	108
kubus 2	70	30	75	48	98	72
kubus 3	102	37	133	46	153	107
kubus 4	38	34	83	124	156	33
kubus 5	47	40	78	129	97	39
kubus 6	150	73	136	3	68	106
kubus 7	154	104	110	9	66	36
kubus 8	53	109	69	123	101	42
kubus 9	59	41	85	11	55	103

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
20	1924	1840	1800	1745	1682
30	1916	1854	1789	1732	1660
40	1900	1856	1789	1747	1673
50	1910	1863	1791	1734	1668
60	1902	1847	1798	1748	1690
70	1926	1856	1803	1728	1670
80	1899	1838	1792	1746	1666
90	1914	1858	1788	1723	1660
100	1904	1864	1797	1741	1671
110	1896	1844	1796	1710	1651
120	1921	1857	1791	1736	1656
130	1898	1869	1782	1717	1669
140	1910	1837	1795	1728	1675
150	1905	1851	1773	1751	1670
160	1912	1847	1802	1729	1670
170	1905	1860	1802	1731	1649
180	1921	1850	1784	1734	1678
190	1924	1861	1781	1746	1674
200	1933	1861	1779	1706	1667

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1721	1653	1609	1543	1473
	1728	1632	1620	1554	1479
	1699	1649	1606	1545	1455
	1708	1652	1634	1512	1485
	1713	1646	1612	1550	1486
	1709	1645	dubbel	dubbel	1492
	1714	1671	dubbel	dubbel	1483
	1713	1655	dubbel	1537	1495
	1702	1652	dubbel	dubbel	1448
	1703	1666	dubbel	1512	1516
	1707	1635	1595	1533	1472
	1740	1660	dubbel	dubbel	dubbel
	1708	dubbel	dubbel	dubbel	dubbel
	1722	1667	1604	1543	dubbel
	1723	1658	1586	1533	1488
	1724	1664	1602	1543	1470
	1735	1657	1602	1543	1481
	1704	1664	1595	1551	1499
	dubbel	dubbel	1611	1534	1482

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	169	156	159	168	174
30	156	185	141	148	151
40	167	172	152	168	181
50	168	176	131	185	152
60	157	167	155	165	170
70	181	176	0	0	148
80	154	139	0	0	152
90	167	169	0	155	137
100	168	176	0	0	186
110	161	148	0	165	112
120	178	185	163	169	153
130	131	174	0	0	0
140	168	0	0	0	0
150	152	153	141	173	0
160	157	157	180	163	151
170	151	163	166	156	149
180	155	161	151	159	164
190	183	164	155	162	146
200	0	0	140	143	154

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	onderin niet goed, door slechte hoek, bovenin beter!
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	6
Aantal spleten:	4
Lengte spleten (in aantal rijen):	vier van twee
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	5
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	8
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	4
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	2

Foto's:



Foto O-33 Bovenaanzicht (loodrecht)

O-4 Proef H-2

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	45° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	v-vorm.
H.o.h. afstand x-richting:	:	23,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	10,0 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			165,3	mm
Gemeten oppervlak	1,56	1,62	1,59	m ²
Aantal kubussen	52	52	52	stuks
Porositeit	31,8	34,3	33,1	%
Plaatsingsdichtheid	75,2	72,4	73,8	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	162.0	172.0	182.0	192.0	202.0	212.0
x	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>
kubus 1	40.0	28.5	40.0	28.5	40.0	28.5
kubus 2	63.0	51.5	63.0	51.5	63.0	51.5
kubus 3	86.0	74.5	86.0	74.5	86.0	74.5
kubus 4	109.0	97.5	109.0	97.5	109.0	97.5
kubus 5	132.0	120.5	132.0	120.5	132.0	120.5
kubus 6	155.0	143.5	155.0	143.5	155.0	143.5
kubus 7	178.0	166.5	178.0	166.5	178.0	166.5
kubus 8	201.0	189.5	201.0	189.5	201.0	189.5
kubus 9	224.0	212.5	224.0	212.5	224.0	212.5

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	66	73	133	46	56	40
kubus 2	53	41	83	9	68	107
kubus 3	153	103	110	48	70	72
kubus 4	154	42	79	123	97	33
kubus 5	155	109	75	11	38	34
kubus 6	101	36	134	13	102	30
kubus 7	55	104	78	124	156	106
kubus 8	59	37	69	129	98	39
kubus 9	150	108	136	3	47	43

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
20	1874	1803	1782	1708	1665
30	1878	1819	1766	1717	1658
40	1886	1807	1787	1715	1650
50	1873	1808	1763	1712	1640
60	1872	1840	1785	1716	1666
70	1875	1834	1771	1717	1660
80	1882	1857	1765	1707	1658
90	1898	1821	1755	1714	1648
100	1888	1822	1753	1704	1655
110	1853	1824	1755	1717	1630
120	1874	1840	1775	1673	1644
130	1875	1830	1758	1699	1643
140	1885	1832	1760	1704	1627
150	1902	1826	1759	1786	1636
160	1857	1816	1778	1715	1642
170	1896	1831	1749	1724	1648
180	1898	1826	1759	1700	1633
190	1878	1814	1765	1713	1642
200	1863	1831	1758	1709	1636

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1720	1655	dubbel	1520	1454
	1673	1640	1577	1516	1448
	1700	1631	1577	1509	1449
	1705	1630	1575	1511	1461
	1689	1624	1577	1510	1431
	1695	1646	1576	1503	1450
	1713	1616	1592	1507	1450
	1682	1622	1587	1509	1468
	1688	1619	1572	1509	1444
	1676	1617	1566	1493	1447
	1678	1634	1586	1494	1452
	1705	1614	1571	1496	1450
	1704	1628	1584	1525	1403
	1680	1615	1573	1491	1461
	1686	1634	1558	1503	1438
	1658	1623	1554	1492	1412
	1665	1620	1578	1492	1416
	1664	1626	1542	1515	1443
	1709	1610	1556	1500	1436

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	128	123	0	156	176
30	171	149	157	167	175
40	155	146	175	171	167
50	140	148	156	167	149
60	152	180	173	171	196
70	150	156	162	178	175
80	141	201	144	166	173
90	180	166	140	171	150
100	166	169	151	162	176
110	147	172	157	186	152
120	163	171	157	149	160
130	141	180	156	169	161
140	151	170	146	149	186
150	185	176	155	245	146
160	142	151	183	176	170
170	198	173	162	193	196
180	194	171	151	173	181
190	178	156	186	165	166
200	128	184	168	174	166

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	Beste resultaat tot nu toe, haast geen dubbelen en goed aaneengesloten.
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	2
Aantal spleten:	2
Lengte spleten (in aantal rijen):	1 van drie en 1 van twee
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	4
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	7
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	1
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	1

Foto's:



Foto O-34 Bovenaanzicht (loodrecht)



Foto O-35 Zijaanzicht

O-5 Proef H-2a

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	45° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van zetten	:	v-vorm.
H.o.h. afstand x-richting:	:	23,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	10,0 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			165,0	mm
Gemeten oppervlak	1,45	1,51	1,48	m ²
Aantal kubussen	48	47	48	stuks
Porositeit	32,4	36,4	34,4	%
Plaatsingsdichtheid	74,4	69,9	72,2	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	162.0	172.0	182.0	192.0	202.0	212.0
x	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>
kubus 1	40.0	28.5	40.0	28.5	40.0	28.5
kubus 2	63.0	51.5	63.0	51.5	63.0	51.5
kubus 3	86.0	74.5	86.0	74.5	86.0	74.5
kubus 4	109.0	97.5	109.0	97.5	109.0	97.5
kubus 5	132.0	120.5	132.0	120.5	132.0	120.5
kubus 6	155.0	143.5	155.0	143.5	155.0	143.5
kubus 7	178.0	166.5	178.0	166.5	178.0	166.5
kubus 8	201.0	189.5	201.0	189.5	201.0	189.5
kubus 9	224.0	212.5	224.0	212.5	224.0	212.5

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	154	109	133	3	98	37
kubus 2	102	42	79	46	55	104
kubus 3	97	30	110	11	150	39
kubus 4	56	106	69	13	156	108
kubus 5	155	40	136	123	59	36
kubus 6	70	107	78	48	47	73
kubus 7	38	72	134	9	66	41
kubus 8	53	34	83	124	101	43
kubus 9	153	103	85	129	68	33

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
20	1874	1803	1782	1708	1665
30	1878	1819	1766	1717	1658
40	1886	1807	1787	1715	1650
50	1873	1808	1763	1712	1640
60	1872	1840	1785	1716	1666
70	1875	1834	1771	1717	1660
80	1882	1857	1765	1707	1658
90	1898	1821	1755	1714	1648
100	1888	1822	1753	1704	1655
110	1853	1824	1755	1717	1630
120	1874	1840	1775	1673	1644
130	1875	1830	1758	1699	1643
140	1885	1832	1760	1704	1627
150	1902	1826	1759	1786	1636
160	1857	1816	1778	1715	1642
170	1896	1831	1749	1724	1648
180	1898	1826	1759	1700	1633
190	1878	1814	1765	1713	1642
200	1863	1831	1758	1709	1636

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1686	1631	1556	1502	1443
	1677	1618	1596	1518	1422
	1613	1657	1543	1525	1457
	1673	1639	1574	1510	1442
	1675	1641	1587	1514	1461
	1683	1656	1549	1522	1466
	1706	dubbel	dubbel	dubbel	1456
	dubbel	dubbel	dubbel	1516	1449
	dubbel	dubbel	1579	1510	1455
	1701	1663	1543	1507	1442
	1731	1621	1602	dubbel	dubbel
	1724	1628	1547	1521	dubbel
	1687	1636	1563	1527	1454
	1690	1636	1575	1500	dubbel
	1700	1589	1571	1489	dubbel
	1689	1614	1572	1484	1446
	1687	1628	1555	1495	1434
	1687	1627	dubbel	1507	1469
	1650	1594	dubbel	1485	1450

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	156	143	188	171	185
30	167	167	141	166	196
40	227	125	203	158	161
50	166	141	157	168	165
60	164	166	165	168	171
70	160	148	185	162	161
80	146	0	0	0	168
90	0	0	0	165	166
100	0	0	145	161	166
110	126	134	176	175	156
120	119	182	144	0	0
130	126	168	176	148	0
140	165	163	164	147	144
150	176	158	153	238	0
160	131	189	172	188	0
170	172	181	147	200	168
180	176	165	170	171	166
190	159	156	0	171	144
200	177	197	0	186	155

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	y-richting niet goed in deze proef, daardoor teveel dubbel!
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	6 à 7
Aantal spleten:	twee
Lengte spleten (in aantal rijen):	twee van twee
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	4
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	6
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	2
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	0

Foto's:



Foto O-36 Bovenaanzicht (loodrecht)

O-6 Proef H-2b

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m};$
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k;$
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	45° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	v-vorm.
H.o.h. afstand x-richting:	:	23,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	10,5 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			164,7	mm
Gemeten oppervlak	1,58	1,64	1,61	m ²
Aantal kubussen	49	49	49	stuks
Porositeit	36,2	38,7	37,5	%
Plaatsingsdichtheid	70,0	67,3	68,7	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	162.0	172.5	183.0	193.5	204.0	214.5
x	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>
kubus 1	40.0	28.5	40.0	28.5	40.0	28.5
kubus 2	63.0	51.5	63.0	51.5	63.0	51.5
kubus 3	86.0	74.5	86.0	74.5	86.0	74.5
kubus 4	109.0	97.5	109.0	97.5	109.0	97.5
kubus 5	132.0	120.5	132.0	120.5	132.0	120.5
kubus 6	155.0	143.5	155.0	143.5	155.0	143.5
kubus 7	178.0	166.5	178.0	166.5	178.0	166.5
kubus 8	201.0	189.5	201.0	189.5	201.0	189.5
kubus 9	224.0	212.5	224.0	212.5	224.0	212.5

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	70	36	133	129	59	108
kubus 2	60	41	110	3	97	37
kubus 3	154	42	134	124	155	109
kubus 4	47	33	75	123	98	106
kubus 5	68	30	136	48	102	107
kubus 6	101	43	69	127	156	40
kubus 7	153	72	83	46	150	104
kubus 8	53	103	85	9	55	3
kubus 9	38	34	78	11	100	73

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
20	1874	1803	1782	1708	1665
30	1878	1819	1766	1717	1658
40	1886	1807	1787	1715	1650
50	1873	1808	1763	1712	1640
60	1872	1840	1785	1716	1666
70	1875	1834	1771	1717	1660
80	1882	1857	1765	1707	1658
90	1898	1821	1755	1714	1648
100	1888	1822	1753	1704	1655
110	1853	1824	1755	1717	1630
120	1874	1840	1775	1673	1644
130	1875	1830	1758	1699	1643
140	1885	1832	1760	1704	1627
150	1902	1826	1759	1786	1636
160	1857	1816	1778	1715	1642
170	1896	1831	1749	1724	1648
180	1898	1826	1759	1700	1633
190	1878	1814	1765	1713	1642
200	1863	1831	1758	1709	1636

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1715	1641	1566	1526	1472
	1710	1520	1585	1469	dubbel
	1708	1624	1580	1546	dubbel
	1672	1642	1579	1521	dubbel
	1675	1635	1581	1517	dubbel
	1685	1638	1580	1520	dubbel
	1688	1632	1581	dubbel	dubbel
	1675	dubbel	dubbel	1519	1465
	1685	dubbel	dubbel	1501	1463
	1681	1631	dubbel	1508	1445
	1673	1620	1564	1512	1397
	1688	1648	1575	1504	1464
	1709	1638	1565	1497	1443
	1714	1638	1574	1496	1454
	1697	1629	1549	1503	1443
	1657	1653	1558	1507	1449
	1677	1602	1552	1483	1458
	1673	1619	1576	1475	1406
	1674	1647	1569	1522	1459

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	132	135	180	151	161
30	140	249	151	206	0
40	148	152	172	141	0
50	167	138	153	159	0
60	164	171	170	166	0
70	158	163	159	164	0
80	161	187	153	0	0
90	186	0	0	162	152
100	169	0	0	169	160
110	143	161	0	174	154
120	167	183	176	134	206
130	156	151	152	162	149
140	146	161	162	172	153
150	156	156	154	241	151
160	133	156	191	176	166
170	199	148	159	181	166
180	184	186	172	181	146
190	171	162	157	198	196
200	157	153	157	156	147

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	redelijk, jammer dat de laatste rijen toch nog te dicht op elkaar gestort zijn.
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	5
Aantal spleten:	3
Lengte spleten (in aantal rijen):	drie van twee
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	6
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	4
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	3
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	0

Foto's:



Foto O-37 Bovenaanzicht (loodrecht)

O-7 Proef H-3

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m};$
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k;$
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	45° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	v-vorm.
H.o.h. afstand x-richting:	:	23,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	11,0 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			162,4	mm
Gemeten oppervlak	1,56	1,63	1,60	m ²
Aantal kubussen	53	53	53	stuks
Porositeit	29,3	32,4	30,9	%
Plaatsingsdichtheid	76,5	73,2	74,9	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	162.0	173.0	184.0	195.0	196.0	197.0
x	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>
kubus 1	40.0	28.5	40.0	28.5	40.0	28.5
kubus 2	63.0	51.5	63.0	51.5	63.0	51.5
kubus 3	86.0	74.5	86.0	74.5	86.0	74.5
kubus 4	109.0	97.5	109.0	97.5	109.0	97.5
kubus 5	132.0	120.5	132.0	120.5	132.0	120.5
kubus 6	155.0	143.5	155.0	143.5	155.0	143.5
kubus 7	178.0	166.5	178.0	166.5	178.0	166.5
kubus 8	201.0	189.5	201.0	189.5	201.0	189.5
kubus 9	224.0	212.5	224.0	212.5	224.0	212.5

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	53	30	78	9	154	37
kubus 2	100	41	69	123	97	42
kubus 3	47	13	110	46	102	107
kubus 4	150	34	136	11	66	36
kubus 5	68	39	83	127	98	33
kubus 6	153	73	134	48	156	40
kubus 7	101	43	133	3	56	106
kubus 8	38	109	85	124	155	108
kubus 9	55	72	75	13	10	104

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
20	1882	1818	1755	1718	1655
30	1881	1821	1772	1727	1657
40	1890	1813	1776	1710	1653
50	1860	1808	1762	1699	1640
60	1875	1822	1771	1703	1650
70	1851	1831	1778	1702	1653
80	1866	1833	1785	1704	1646
90	1876	1825	1773	1717	1643
100	1883	1820	1757	1699	1645
110	1872	1814	1770	1702	1651
120	1869	1819	1755	1703	1642
130	1884	1818	1777	1701	1649
140	1876	1827	1781	1697	1647
150	1857	1823	1759	1696	1652
160	1878	1819	1771	1700	1656
170	1892	1812	1754	1702	1644
180	1887	1802	1745	1715	1644
190	1890	1816	1747	1702	1643
200	1875	1821	1766	1692	1628

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1671	1635	1569	1517	1437
	1605	1638	1572	1505	1443
	1691	1633	1562	1515	1450
	1685	1626	1583	1520	1457
	1680	1661	1584	1520	1460
	1691	1638	1575	1522	1457
	1697	1631	1581	1516	1449
	1690	1646	1552	1521	1443
	1687	1621	1567	1506	1437
	1682	1624	1574	1501	1439
	1674	1634	1565	1497	1429
	1674	1631	dubbel	1477	1446
	1693	dubbel	dubbel	dubbel	1446
	1691	1628	dubbel	1507	1450
	1665	1633	1570	1509	1469
	1642	1631	1566	1516	1403
	1668	1622	1570	1528	1441
	1681	1606	1564	1506	1457
	1708	1630	1578	1509	1455

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	176	152	155	167	181
30	230	152	166	185	178
40	166	150	178	162	169
50	146	151	149	149	152
60	162	134	156	152	158
70	133	161	169	150	163
80	141	168	170	156	164
90	155	149	184	163	166
100	163	166	158	161	173
110	158	158	163	167	176
120	162	154	158	171	177
130	175	156	0	186	169
140	152	0	0	0	167
150	138	162	0	157	168
160	177	155	167	159	156
170	208	151	156	155	201
180	182	150	146	156	169
190	174	175	152	163	155
200	139	159	156	152	144

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	beste resultaat!
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	1
Aantal spleten:	twee
Lengte spleten (in aantal rijen):	twee van drie
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	3
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	4
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	1
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	0

Foto's:



Foto O-38 Bovenaanzicht (loodrecht)



Foto O-39 Zijaanzicht

O-8 Proef H-3a

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	45° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	v-vorm.
H.o.h. afstand x-richting:	:	23,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	11,0 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			161,9	mm
Gemeten oppervlak	1,60	1,66	1,63	m ²
Aantal kubussen	51	51	51	stuks
Porositeit	33,5	36,0	34,8	%
Plaatsingsdichtheid	71,8	69,1	70,5	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	160.0	173.0	184.0	195.0	206.0	217.0
x	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>
kubus 1	40.0	28.5	40.0	28.5	40.0	28.5
kubus 2	63.0	51.5	63.0	51.5	63.0	51.5
kubus 3	86.0	74.5	86.0	74.5	86.0	74.5
kubus 4	109.0	97.5	109.0	97.5	109.0	97.5
kubus 5	132.0	120.5	132.0	120.5	132.0	120.5
kubus 6	155.0	143.5	155.0	143.5	155.0	143.5
kubus 7	178.0	166.5	178.0	166.5	178.0	166.5
kubus 8	201.0	189.5	201.0	189.5	201.0	189.5
kubus 9	224.0	212.5	224.0	212.5	224.0	212.5

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	155	106	133	129	151	41
kubus 2	55	42	136	13	152	103
kubus 3	153	104	69	123	66	30
kubus 4	101	39	110	9	150	34
kubus 5	102	73	85	46	99	36
kubus 6	38	108	78	3	97	37
kubus 7	70	72	83	124	47	40
kubus 8	68	43	134	48	154	107
kubus 9	56	109	75	11	100	33

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
20	1882	1818	1755	1718	1655
30	1881	1821	1772	1727	1657
40	1890	1813	1776	1710	1653
50	1860	1808	1762	1699	1640
60	1875	1822	1771	1703	1650
70	1851	1831	1778	1702	1653
80	1866	1833	1785	1704	1646
90	1876	1825	1773	1717	1643
100	1883	1820	1757	1699	1645
110	1872	1814	1770	1702	1651
120	1869	1819	1755	1703	1642
130	1884	1818	1777	1701	1649
140	1876	1827	1781	1697	1647
150	1857	1823	1759	1696	1652
160	1878	1819	1771	1700	1656
170	1892	1812	1754	1702	1644
180	1887	1802	1745	1715	1644
190	1890	1816	1747	1702	1643
200	1875	1821	1766	1692	1628

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1711	1606	1578	dubbel	1456
	1743	1613	1558	1498	1459
	1704	1641	1582	1502	1458
	1642	1610	1573	1520	1457
	1665	1664	1550	1511	1466
	1697	1646	1549	1544	1456
	1672	1647	1570	1513	1479
	1682	dubbel	1576	1527	1481
	1684	dubbel	dubbel	1509	1437
	1704	1640	dubbel	1517	1432
	1632	1606	1602	1502	1424
	1677	1633	1543	1517	1437
	1671	1638	1563	1502	1446
	1650	1649	1562	1492	1440
	1680	1670	1559	1493	1435
	1652	1638	1569	1486	1442
	1677	1647	1540	1513	1448
	1673	1619	1620	1521	1429
	1665	1672	1562	1483	1432

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	142	176	147	0	166
30	115	173	178	191	165
40	155	143	161	173	162
50	181	165	157	149	152
60	175	131	184	160	153
70	128	154	191	131	164
80	161	155	179	159	139
90	161	0	164	158	135
100	166	0	0	158	173
110	140	145	0	154	182
120	197	177	127	167	181
130	172	154	195	153	176
140	171	157	181	162	167
150	172	145	164	170	176
160	165	124	176	172	184
170	200	145	154	180	168
180	175	129	171	168	163
190	181	164	106	151	178
200	175	124	170	174	163

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	Minder resultaat als proef H-3!
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	3
Aantal spleten:	drie
Lengte spleten (in aantal rijen):	drie van twee
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	5
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	4
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	1
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	0

Foto's:



Foto O-40 Bovenaanzicht (loodrecht)

O-9 Proef H-4

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	45° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	v-vorm.
H.o.h. afstand x-richting:	:	23,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	12,0 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			160,9	mm
Gemeten oppervlak	1,66	1,72	1,69	m ²
Aantal kubussen	51	51	51	stuks
Porositeit	35,6	37,9	36,8	%
Plaatsingsdichtheid	69,1	66,6	67,9	%

Stortplan:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
y	163.0	175.0	187.0	199.0	211.0	223.0
x	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>	<i>Hoekpnt.</i>
kubus 1	40.0	28.5	40.0	28.5	40.0	28.5
kubus 2	63.0	51.5	63.0	51.5	63.0	51.5
kubus 3	86.0	74.5	86.0	74.5	86.0	74.5
kubus 4	109.0	97.5	109.0	97.5	109.0	97.5
kubus 5	132.0	120.5	132.0	120.5	132.0	120.5
kubus 6	155.0	143.5	155.0	143.5	155.0	143.5
kubus 7	178.0	166.5	178.0	166.5	178.0	166.5
kubus 8	201.0	189.5	201.0	189.5	201.0	189.5
kubus 9	224.0	212.5	224.0	212.5	224.0	212.5

Plaatsingsvolgorde van de kubussen:

	rij 1	rij 2	rij 3	rij 4	rij 5	rij 6
kubus 1	56	40	69	124	66	34
kubus 2	70	43	136	48	151	31
kubus 3	38	109	85	123	99	36
kubus 4	100	103	78	11	152	30
kubus 5	47	108	110	9	155	73
kubus 6	102	41	133	129	156	104
kubus 7	97	72	75	3	98	42
kubus 8	68	107	83	46	153	106
kubus 9	154	33	134	13	101	39

In- en uitpeiling:**Inpeiling:**

X \ Y	165	175	185	195	205
20	1882	1818	1755	1718	1655
30	1881	1821	1772	1727	1657
40	1890	1813	1776	1710	1653
50	1860	1808	1762	1699	1640
60	1875	1822	1771	1703	1650
70	1851	1831	1778	1702	1653
80	1866	1833	1785	1704	1646
90	1876	1825	1773	1717	1643
100	1883	1820	1757	1699	1645
110	1872	1814	1770	1702	1651
120	1869	1819	1755	1703	1642
130	1884	1818	1777	1701	1649
140	1876	1827	1781	1697	1647
150	1857	1823	1759	1696	1652
160	1878	1819	1771	1700	1656
170	1892	1812	1754	1702	1644
180	1887	1802	1745	1715	1644
190	1890	1816	1747	1702	1643
200	1875	1821	1766	1692	1628

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1691	1621	1573	1537	1452
	1706	1624	1614	1477	1470
	1695	1632	1578	1517	1460
	1689	1624	1568	1520	1456
	1709	gat	1573	1512	1475
	1694	1627	1571	1532	1440
	1672	1619	1592	1510	1439
	1692	1618	1571	1507	1454
	1684	1631	1551	1503	1441
	1705	1605	1560	1511	1434
	1706	1626	1566	1498	1439
	1670	1635	1562	1513	1451
	1717	1623	1571	1505	1442
	1691	1600	1556	1507	1452
	1677	1635	1575	1504	1449
	1704	1598	1576	gat	1449
	1690	1590	1584	1510	1456
	1661	1670	1554	1531	1455
	1654	1630	dubbel	dubbel	1450

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	159	164	151	151	169
30	146	164	131	208	156
40	162	151	165	161	161
50	142	153	161	149	153
60	138	0	165	159	146
70	131	170	172	141	177
80	161	178	161	161	172
90	153	172	168	175	157
100	166	157	171	163	170
110	139	174	175	159	181
120	136	161	157	171	169
130	178	152	179	156	165
140	132	170	175	160	171
150	138	186	169	157	166
160	167	153	163	163	172
170	156	178	148	0	162
180	164	176	134	171	156
190	191	121	161	142	156
200	184	159	0	0	148

Beoordeling:

Algemeen oordeel:	niet goed, teveel spleten en gaten.
Aantal kubussen dubbel geplaatst:	3
Aantal spleten:	Vier
Lengte spleten (in aantal rijen):	één van vier, één van drie en twee van twee
Aantal gaten $\leq 50 \text{ cm}^2$:	10
Aantal gaten $\leq 100 \text{ cm}^2$:	5
Aantal gaten $\leq 150 \text{ cm}^2$:	2
Aantal gaten $\leq 200 \text{ cm}^2$:	1

Foto's:



Foto O-41 Bovenaanzicht (loodrecht)

P-1 Proef G-1a-klein

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	90° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	halfsteensverband;
H.o.h. afstand x-richting:	:	17,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	12,5 cm.

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			161,2	mm
Gemeten oppervlak	1,50	1,52	1,51	m ²
Aantal kubussen	46	45	46	stuks
Porositeit	35,8	37,9	36,9	%
Plaatsingsdichtheid	69,0	66,7	67,9	%

In- en uitpeiling:

Inpeiling:

X \ Y	165	175	185	195	205
20	1937	1859	1787	1705	1668
30	1923	1863	1793	1740	1672
40	1916	1876	1794	1734	1687
50	1930	1863	1783	1737	1678
60	1923	1857	1788	1733	1674
70	1921	1863	1802	1731	1666
80	1929	1840	1817	1727	1691
90	1937	1873	1797	1718	1672
100	1890	1853	1804	1742	1680
110	1924	1843	1798	1735	1677
120	1940	1843	1776	1718	1680
130	1923	1846	1797	1726	1677
140	1932	1850	1790	1729	1665
150	1926	1870	1771	1722	1682
160	1923	1863	1808	1754	1658
170	1927	1890	1826	1720	1675
180	1928	1860	1781	1717	1660
190	1921	1841	1787	1714	1712
200	1945	1866	1808	1713	1679

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1727	dubbel	dubbel	dubbel	1486
	1734	dubbel	dubbel	1588	1471
	1721	dubbel	dubbel	1541	1500
	1715	dubbel	1625	1544	1468
	1714	1685	1591	1539	1497
	1719	1667	gat	gat	1489
	1716	1667	1610	1539	1482
	1723	1656	1602	1534	1489
	dubbel	dubbel	gat	1536	1477
	dubbel	dubbel	1600	1523	1476
	1751	1657	1614	1542	1481
	1731	1668	dubbel	dubbel	dubbel
	1745	1667	1593	dubbel	1464
	1730	1671	1592	1528	1480
	gat	1651	1606	1545	1488
	1736	1677	1585	1537	1475
	1739	1679	1585	1551	1476
	1736	1659	1588	1569	1455
	gat	1637	1604	1544	gat

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	175	0	0	0	151
30	157	0	0	126	167
40	162	0	0	161	156
50	179	0	131	161	175
60	174	143	164	161	147
70	168	163	0	0	147
80	177	144	172	156	174
90	178	181	162	153	152
100	0	0	0	171	169
110	0	0	165	176	167
120	157	155	135	146	166
130	160	148	0	0	0
140	156	152	164	0	167
150	163	166	149	161	168
160	0	176	168	174	141
170	159	177	201	152	166
180	157	151	163	138	153
190	154	151	166	121	214
200	0	191	170	141	0

P-2 Proef G-2a-klein

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	90° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	halfsteensverband;
H.o.h. afstand x-richting:	:	18,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	12,5 cm.

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			160,6	mm
Gemeten oppervlak	1,56	1,63	1,60	m ²
Aantal kubussen	46	45	46	stuks
Porositeit	38,0	42,0	40,0	%
Plaatsingsdichtheid	66,4	62,1	64,3	%

In- en uitpeiling:

Inpeiling:

X \ Y	165	175	185	195	205
20	1932	1854	1784	1729	1689
30	1928	1853	1790	1754	1661
40	1919	1868	1797	1724	1665
50	1941	1862	1811	1736	1667
60	1907	1864	1802	1738	1678
70	1953	1861	1815	1730	1683
80	1927	1836	1792	1725	1682
90	1936	1846	1787	1725	1670
100	1929	1831	1787	1745	1659
110	1920	1859	1786	1718	1667
120	1937	1861	1777	1721	1680
130	1928	1872	1819	1716	1685
140	1942	1872	1804	1722	1674
150	1928	1843	1804	1737	1677
160	1922	1855	1790	1743	1677
170	1929	1861	1794	1727	1669
180	1920	1870	1789	1727	1677
190	1928	1858	1791	1741	1696
200	1945	1878	1814	1706	1658

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1738	1677	1612	1550	1468
	1726	1667	1596	gat	1482
	dubbel	1690	1616	1538	1484
	dubbel	dubbel	1606	1553	1468
	1722	1662	1596	dubbel	dubbel
	1730	1683	dubbel	dubbel	dubbel
	dubbel	dubbel	dubbel	dubbel	1491
	dubbel	1742	dubbel	1531	1481
	1721	1743	1602	1522	1474
	1703	1673	1605	1521	1476
	dubbel	dubbel	1588	1519	1472
	dubbel	dubbel	1586	1535	1476
	dubbel	dubbel	gat	gat	1475
	1722	dubbel	dubbel	1530	1471
	1724	dubbel	dubbel	1551	1496
	1733	1669	dubbel	dubbel	1475
	1743	gat	dubbel	dubbel	1466
	1738	1657	1680	1467	1465
	1728	1684	1569	1536	gat

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	161	147	143	149	184
30	168	155	161	0	149
40	0	148	151	155	151
50	0	0	171	152	166
60	154	168	171	0	0
70	186	148	0	0	0
80	0	0	0	0	159
90	0	87	0	161	157
100	173	73	154	186	154
110	181	155	151	164	159
120	0	0	157	168	173
130	0	0	194	151	174
140	0	0	0	0	166
150	171	0	0	172	171
160	165	0	0	160	151
170	163	160	0	0	161
180	147	0	0	0	176
190	158	167	92	228	192
200	181	161	204	141	0

P-3 Proef H-2-klein

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	45° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	v-vorm.
H.o.h. afstand x-richting:	:	23,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	10,0 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			160,2	mm
Gemeten oppervlak	1,55	1,61	1,58	m ²
Aantal kubussen	52	52	52	stuks
Porositeit	29,1	31,8	30,5	%
Plaatsingsdichtheid	75,7	72,8	74,3	%

In- en uitpeiling:

Inpeiling:

X \ Y	165	175	185	195	205
20	1874	1803	1782	1708	1665
30	1878	1819	1766	1717	1658
40	1886	1807	1787	1715	1650
50	1873	1808	1763	1712	1640
60	1872	1840	1785	1716	1666
70	1875	1834	1771	1717	1660
80	1882	1857	1765	1707	1658
90	1898	1821	1755	1714	1648
100	1888	1822	1753	1704	1655
110	1853	1824	1755	1717	1630
120	1874	1840	1775	1673	1644
130	1875	1830	1758	1699	1643
140	1885	1832	1760	1704	1627
150	1902	1826	1759	1786	1636
160	1857	1816	1778	1715	1642
170	1896	1831	1749	1724	1648
180	1898	1826	1759	1700	1633
190	1878	1814	1765	1713	1642
200	1863	1831	1758	1709	1636

Uitpeiling:

	165	175	185	195	205
	1727	1665	dubbel	1523	1458
	1689	1653	1581	1517	1455
	1718	1637	1584	1518	1453
	1716	1636	1581	1516	1468
	1697	1626	1580	1521	1437
	gat	1657	1582	1511	1464
	1709	1624	1598	1517	1457
	1683	1626	1612	1511	1469
	1697	1626	1578	1513	1447
	1678	1621	1569	1496	1448
	1682	1638	gat	1512	1456
	1710	1619	1575	1501	1459
	1708	1639	1587	gat	1406
	1685	1619	1580	1495	1483
	1694	1644	1565	1506	1441
	1662	1638	1563	1495	1419
	1669	1624	1583	1493	1425
	1666	1646	1551	1520	1444
	1718	1618	1565	1513	1437

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	122	115	0	154	172
30	157	138	154	166	169
40	140	141	169	164	164
50	131	143	151	163	143
60	146	178	171	162	191
70	0	147	157	171	163
80	144	194	139	158	167
90	179	162	119	169	149
100	159	163	146	159	173
110	146	169	155	184	151
120	160	168	0	134	156
130	137	176	152	165	153
140	147	161	144	0	184
150	181	172	149	242	127
160	136	143	177	174	167
170	195	161	155	191	191
180	191	168	146	172	173
190	176	140	178	161	165
200	121	177	161	163	166

P-4 Proef H-3-klein

Eigenschappen:

Kubussen	:	$D_k = 0,15 \text{ m}$;
Maximale waterdiepte	:	verkleind tot $\pm 8 \cdot D_k$;
Valhoogte	:	27,5 cm;
Oriëntatie	:	45° t.o.v. de x-as en y-as;
Methode van de stort	:	van het talud af;
Volgorde van stort	:	per rij in x-richting;
Patroon van storten	:	v-vorm.
H.o.h. afstand x-richting:	:	23,0 cm;
H.o.h. afstand y-richting	:	11,0 cm;

Resultaten:

Eigenschap van de laag	Maximaal	Minimaal	Gemiddeld	Eenheid
Gemiddelde laagdikte			157,5	mm
Gemeten oppervlak	1,56	1,63	1,60	m^2
Aantal kubussen	53	53	53	stuks
Porositeit	27,1	30,3	28,7	%
Plaatsingsdichtheid	76,5	73,2	74,9	%

In- en uitpeiling:

Inpeiling:

X \ Y	165	175	185	195	205
20	1882	1818	1755	1718	1655
30	1881	1821	1772	1727	1657
40	1890	1813	1776	1710	1653
50	1860	1808	1762	1699	1640
60	1875	1822	1771	1703	1650
70	1851	1831	1778	1702	1653
80	1866	1833	1785	1704	1646
90	1876	1825	1773	1717	1643
100	1883	1820	1757	1699	1645
110	1872	1814	1770	1702	1651
120	1869	1819	1755	1703	1642
130	1884	1818	1777	1701	1649
140	1876	1827	1781	1697	1647
150	1857	1823	1759	1696	1652
160	1878	1819	1771	1700	1656
170	1892	1812	1754	1702	1644
180	1887	1802	1745	1715	1644
190	1890	1816	1747	1702	1643
200	1875	1821	1766	1692	1628

Uitpeiling:

165	175	185	195	205
1676	1639	1569	1523	1437
1610	1648	1577	1507	1447
1704	1643	1570	1518	1446
1691	1628	1587	1523	1457
1682	1663	1586	1527	1467
1689	1649	1577	1527	1460
1703	1632	1581	1517	1452
1691	1653	1552	1527	1448
1694	1626	1569	1514	1441
1686	1626	1575	1506	1437
1675	1636	1568	1502	1507
1725	1637	dubbel	1475	1464
1700	1642	dubbel	dubbel	1453
1695	1632	1591	1510	1454
1674	gat	1572	1521	1476
1667	1637	1578	1515	1413
1714	1520	1570	1538	1448
1692	1607	1566	1518	1463
1725	1636	1582	1522	1467

Laagdikte:

	165	175	185	195	205
20	171	149	155	162	181
30	225	144	162	183	175
40	155	141	171	160	172
50	141	150	146	146	152
60	161	132	154	146	152
70	135	151	167	146	161
80	136	167	170	156	161
90	154	143	184	158	162
100	157	161	156	154	170
110	155	156	162	163	178
120	161	152	156	167	112
130	132	151	0	188	154
140	146	154	0	0	161
150	135	159	140	155	165
160	170	0	166	149	150
170	187	146	146	156	192
180	144	235	146	147	163
190	165	174	151	153	150
200	125	154	153	141	134