

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat,
Directie Zeeland (PBZ)



Deltagootonderzoek naar stabiliteit van basalt

Onderzoeksprogramma
Kennisleemtes Steenbekledingen

meetverslag Fase 1 en 2

december 2003

H4327

Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde



wL | delft hydraulics

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, Directie Zeeland,
Project Bureau Zeeweringen

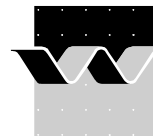
Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen

Deltagootonderzoek naar stabiliteit van basalt,
fase 1 en 2

W.D. Eysink en M. Klein Breteler

Meetverslag

December 2003



OPDRACHTGEVER:	Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Projectbureau Zeeweringen						
TITEL:	Kennisleemtes Steenbekledingen Deltagootonderzoek naar stabiliteit van basalt, fase 1 en 2						
SAMENVATTING:	<p>Ingevolge de Wet op de Waterkering dienen steenzettingen op waterkeringen vijfjaarlijks getoetst te worden. In de praktijk kan aan veel steenzettingen geen definitief toetsoordeel toegekend worden wegens een gebrek aan wetenschappelijke kennis. In 2003 is daarom door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen opgestart. Doel van dit programma is het reduceren van deze kennisleemtes teneinde te komen tot scherpere toetsregels en daarmee sneller en vaker tot definitieve toetsresultaten. In het kader van dit onderzoeksprogramma heeft voorliggend rapport betrekking op het deelonderzoek “Gezette steenbekledingen, deelplan 7.2.2, Stabiliteit van basalt, Deltagoot-onderzoek”.</p> <p>In de Deltagoot van is een steenzetting van basalt op een dijktalud belast door brekende golven. Bij drie verschillende golfsteilheden, namelijk 0,013, 0,025 en 0,035, is de golfhoogte stap voor stap verhoogd totdat schade ontstond, of totdat de grens van de capaciteit van de goot bereikt was. Vervolgens zijn deze proeven bij een golfsteilheid van 0,013 en 0,023 herhaald met een steenzetting van Basalton met vergelijkbare eigenschappen.</p> <p>Enkele eigenschappen van de steenzetting waren:</p> <ul style="list-style-type: none">• taludhelling: 1:3,5• gemiddelde topplaagdikte: $D = 0,20$ m• soortelijke massa van basalt: $\rho_s = 2955$ kg/m³• soortelijke massa van Basalton: $\rho_s = 2827$ kg/m³• inwasmateriaal: 5 – 30 mm• filterlaagdikte: $b = 0,12$ m• korrelgrootte van het filter: $D_{f15} = 22$ mm <p>Tijdens de proeven is op 26 locaties de golfdruk op het talud gemeten, en op acht locaties de druk in het filter.</p>						
REFERENTIES:	Offerte MCI04199/H4327/CK/tr dd 3 oktober 2003 Contract ZL 5755						
VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING		
1	W.D. Eysink	december 2003		M. Klein Breteler	W.M.K. Tilmans		
PROJECTNUMMER		H4327					
TREFWOORDEN:		stabiliteit, steenzetting, golfdruk, golfklap					
AANTAL BLADZIJDEN		24					
VERTROUWELIJK		<input type="checkbox"/> JA, tot (datum)		<input checked="" type="checkbox"/> NEE			
STATUS:		<input type="checkbox"/> VOORLOPIG		<input type="checkbox"/> CONCEPT		<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF	

Inhoud

Lijst van figuren

Lijst van tabellen

Lijst van symbolen

1	Inleiding	1
2	Het onderzoek	2
2.1	Modelontwerp en bouw	2
2.2	Testsectie.....	2
2.3	Meetsysteem	4
2.4	Bemonsteringsfrequentie	6
2.5	Proevenprogramma	7
3	Resultaten	9
3.1	Resultaten fase 1: basalt.....	9
3.2	Resultaten fase 2: Basalton.....	11
4	Conclusie.....	13
	Referenties	14
A	Overzicht van het onderzoeksprogramma “kennisleemtes steenbekledingen”	A-1

Lijst van Figuren

- 1 Dwarsdoorsnede model
- 2 Vooraanzicht model
- 3 Positie drukdozen (34 stuks) in een lijn op 1 m uit de gootwand
- 4 Opbouw van het talud
- 5 Aanleg geotextiel en filter
- 6 Basalt zetten en montage drukopnemers
- 7 Geïnstrumenteerde blokken met strips en golf tijdens proef 2
- 8 Golf tijdens proef 5 en talud na proef 5
- 9 Schade na proef 6
- 10 Schade na proef 8
- 11 Basaltbekleding na proef 18
- 12 Zeefkrommen filter- en inwasmateriaal
- 13 Golfoverschrijdingskromme en energiespectrum; proef 6
- 14 Golfoverschrijdingskromme en energiedichtheidspectrum; proef 8a
- 15 Golfoverschrijdingskromme en energiedichtheidspectrum; proef 17
- 16 Vervorming van taludoppervlak van basalt
- 17 Afschuiving van basalt
- 18 Besvestiging van drukopnemers in Basalton
- 19 Basalton zetten en aantrillen
- 20 Drukopnemers in Basalton voor de proeven en taludoppervlak na proef 25
- 21 Vervorming van taludoppervlak van basalton
- 22 Afschuiving van basalton

Lijst van Tabellen

- 1a Positie drukopnemers bij testen basaltbekleding (H4327-Fase1)
- 1b Positie drukopnemers bij testen Basaltonbekleding (H4327-Fase2)
- 2a Waterpassingen van gemerkte stenen op het talud2d
- 2b Afstand basaltstenen langs het talud tot een vast punt
- 2c Waterpassingen van gemerkte Basaltonstenen op het talud
- 2d Afstand gemerkte Basaltonstenen langs het talud tot een vast punt
- 3a Proevenprogramma basaltbekleding (Fase 1)
- 3b Proevenprogramma Basaltonbekleding (Fase 2)
- 4a Problemen met drukopnemers in Fase 1 van het onderzoek
- 4b problemen met drukopnemers in Fase 2 van het onderzoek

Lijst van symbolen

b	= filterlaagdikte (m)
D	= gemiddelde dikte van steenbekleding/toplaag (m)
D_{f15}	= korrelgrootte van het filter die door 15% wordt onderschreden (m)
d_k	= diepte op het talud, t.o.v. de stilwaterlijn, waar het hart van de golfklap neerkomt in regelmatige golven (m)
F	= stabiliteitsparameter
H_s	= significante golfhoogte van de inkomende golven (m)
H	= golfhoogte (m)
s_{op}	= golfsteilheid = $H_s/(1,56T_p^2)$
T_p	= golfperiode bij de piek van het spectrum (s)
x	= horizontale afstand (m)
y	= laterale afstand (m) in goot t.o.v. gootwand aan de halzijde (west)
z	= hoogte boven gootbodem of stijghoogte t.o.v. stilwater (m)
α	= taludhelling ($^\circ$)
Δ	= relatieve soortelijke massa onder water = $(\rho_s - \rho)/\rho$
ξ_{op}	= brekerparameter = $\tan\alpha/\sqrt{s_{op}}$
ρ_s	= soortelijke massa van steen in de toplaag (kg/m^3)
ρ	= soortelijke massa van water (kg/m^3)

I Inleiding

Ingevolge de Wet op de Waterkering dienen steenzettingen op waterkeringen vijfjaarlijks getoetst te worden. In de praktijk kan aan veel steenzettingen geen definitief toetsoordeel toegekend worden wegens een gebrek aan wetenschappelijke kennis.

In 2003 is daarom door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen opgestart. Doel van dit programma is het reduceren van deze kennisleemtes teneinde te komen tot scherpere toetsregels en daarmee sneller en vaker tot definitieve toetsresultaten.

In het kader van dit onderzoeksprogramma heeft voorliggend rapport betrekking op het deelonderzoek “Gezette steenbekledingen, deelplan 7.2.2, Stabiliteit van basalt, Deltagootonderzoek”.

Het totale overzicht van het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, zoals bij aanvang van dat programma gepland was, is weergegeven in Bijlage A.

Recent is modelonderzoek in de Deltagoot uitgevoerd naar de stabiliteit van onderdelen van de havendammen van Urk, Ketelhaven en Harlingen. Tijdens deze onderzoeken bleek echter schade op te treden aan de basaltbekleding op het buitentalud van deze dammen, die volgens een theoretische toetsing met ANAMOS onder de gegeven omstandigheden stabiel werd bevonden. Het Projectbureau Zeeweringen van de Directie Zeeland van Rijkswaterstaat heeft met contract ZL 5755 opdracht gegeven om een eerste aanzet te geven voor het nader onderzoeken van deze problematiek met behulp van proeven in de Deltagoot.

In de Deltagoot is een talud van 1:3,5 bekleed met een steenzetting, zoals deze veel in Nederland voorkomt. Vervolgens is de bekleding met golven belast, waarbij stap voor stap de golfhoogte is verhoogd totdat bezwijken is opgetreden, of totdat de grens van de capaciteit van de Deltagoot was bereikt. Het onderzoek was verdeeld in twee fasen:

1. stabiliteit van basalt
2. stabiliteit van Basalton met vergelijkbare maten als de basalt

Het onderhavige verslag beschrijft de metingen van beide fasen.

Het onderzoek is uitgevoerd onder leiding van ir. M. Klein Breteler en ir. W.D. Eysink. Het onderzoek werd namens de opdrachtgever begeleid door ir. R. 't Hart van de DWW van RWS. Het meetverslag is samengesteld door ir. W.D. Eysink.

2 Het onderzoek

2.1 Modelontwerp en bouw

Het onderzoek naar de stabiliteit van basalt is uitgevoerd met een dijktalud zonder berm. Dit is gedaan omdat basalt veelal wat lager op het talud ligt en de stormvloedberm boven de voor de basalt maatgevende waterstand ligt. De invloed van de berm is dan nog slechts gering. Daarnaast is het minder werk om een talud zonder berm te bouwen.

Dijken in Nederland hebben veelal een taludhelling van 1:3 tot 1:4. Voor het huidige onderzoek is gekozen voor een taludhelling die tussen deze waarden in ligt, namelijk 1:3,5.

Een overzicht van de modelopstelling is gegeven in figuur 1. In de figuur is te zien dat de teen van het talud is gemaakt op 171,00 m afstand van het golfschot.

Mede in verband met de beperkte hoogte van de zijschotten op de gootrand moest bij het ontwerp van het model een compromis worden gesloten tussen een minimum waterstand in de goot om vervorming van de hoge golven door bodemwrijving klein te houden, de maximum golfhoogte die moest worden gegenereerd en een verwerkbaar golfoverslag onder extreme golfcondities. Dat heeft geleid tot een talud tot een hoogte van 8,75 m boven de gootbodem. De overslag die dan incidenteel nog kan plaatsvinden, kan in een reservoir achter de kruin van het talud worden opgevangen en via drie buizen met een diameter van 20 cm onder vrij verval terugstromen naar de goot (zie figuur 1, 2 en 4). Tijdens alle proeven bleken deze buizen ruim voldoende te zijn om het overslagdebiet weer terug te voeren naar de goot.

De dijk is opgebouwd door in lagen zand aan te brengen op een bestaand golfdempend talud en deze per laag te verdichten (zie figuur 4). Het deel van het talud dat niet door brekende golven wordt belast, is afgewerkt met beton. Dit beton had bij de teen tot een hoogte van 2 m boven de gootbodem een dikte van 15 cm en in de golfoploopzone een dikte van 10 cm.

Om te voorkomen dat de betonlaag aan de teen wordt opgedrukt tijdens het leegpompen van de goot, is een grindrain met twee drainagebuizen aangebracht en is de teen van de betonplaat opgesloten met hoekijzers (zie figuur 4). Het deel tussen 2 m en 6 m boven de gootbodem aan de gootzijde is de testsectie waar de te beproeven steenzetting is aangebracht.

2.2 Testsectie

In de golfaanvalzone, namelijk tussen 2 m en 6 m boven gootbodem, is het zandtalud bedekt met een 50 cm dikke laag zandcementstabilisatie (zie figuur 3). Dit voorkomt dat er grondmechanische instabiliteit ontstaat tijdens de proeven en het representeert de kleilaag die in de praktijk wordt toegepast.

Op de zandcementstabilisatie is een geotextiel aangebracht met daarop een filterlaag van 12 cm dik bestaande uit gebroken graniet van 4 – 40 mm (zie figuur 5). De zeefkromme van het filtermateriaal is gegeven in figuur 12.

Fase I - Basaltbekleding

In de eerste fase van het onderzoek bestond de steenzetting uit basalt. De zuilen zijn allemaal per stuk geselecteerd, waarbij alleen zuilen zijn gebruikt met een zuilhoogte tussen 18 en 22 cm. De gemiddelde dikte was 20,1 cm. De gemiddelde soortelijke massa is bepaald door de soortelijke massa van 5 zuilen te meten. Het resultaat was respectievelijk 3000, 2934, 3000, 2924 en 2919 kg/m³, met een gemiddelde van 2955 kg/m³.

De zuilen van de basalt waren betrekkelijk klein (kopafmeting). Door aselect 21 stuks te meten is vastgesteld dat 20% groter is dan ongeveer 23x23 cm en dat 25% kleiner is dan ongeveer 16x16 cm. De gemiddelde maat was ongeveer 19x20 cm.

De steenzetting is door ervaren steenzetters aangebracht (zie figuur 6). Vervolgens is de steenzetting ingewassen met steenslag met korrelgrootte van 5 – 30 mm (zie figuur 12). Door na het inwassen met een trilplaat over de steenzetting te gaan is ervoor gezorgd dat het inwasmateriaal optimaal tussen de zuilen terecht is gekomen.

Om te voorkomen dat de steenzetting zich gaat vastklemming tussen de gootwanden, is er aan beide zijden tussen de steenzetting en de gootwand rubber geplaatst met een dikte van 28 mm en een hoogte van 20 cm. Dit is hetzelfde rubber als gebruikt is in het Deltagootonderzoek van 1997 en 1998. Het rubber is gemakkelijk in te drukken: met de vingers kan het ingedrukt worden tot een dikte van ongeveer 10 mm.

Om randeffecten te voorkomen zijn langs de gootwand hoekijzers geplaatst, zodat de zuilen langs de gootwand niet door de golven uit het talud gelicht kunnen worden.

Tijdens een bezoek van de opdrachtgever is door hem geconstateerd dat de steenzetting er bijzonder goed uit zag. Deze steenzetting lijkt eerder representatief voor een oude steenzetting, omdat tegenwoordig in nieuw werk de stenen wat ruimer uit elkaar gezet worden.

Fase 2 – Basaltonbekleding

In Fase 2 van het onderzoek zijn de basaltblokken en het filter vervangen door een nieuw filter met zelfde zeefkromme als onder de basalt, met daarop een steenzetting van Basalton. Om tot een zo goed mogelijke vergelijking van de stabiliteit van basalt en Basalton te komen is getracht om Basaltonblokken aan te schaffen met ongeveer vergelijkbare eigenschappen als de geteste basalt. De dichtst in de buurt komende Basalton bleek een steunset van 18 stuks blokken van 20 cm hoog met horizontale afmetingen variërend van circa 20x25 cm tot circa 30x35 cm. Deze set was te verkrijgen in soortelijke massa's van 2300, 2600 en 2900 kg/m³. Voor dit onderzoek is gekozen voor de Basalton met de hoogste soortelijke massa en zijn de grootste blokken (6 stuks van 30x30 cm tot 30x35 cm) uit de set weggelaten. Uit controle van de hoogte van de zuiltjes bleek dat deze allemaal binnen de range van 19 – 21 cm viel en in het algemeen zelfs binnen de range 19,5 – 20,5 cm. Uiteindelijk is een Basaltonzetting in model gebouwd met de volgende eigenschappen:

1. hoogte: 19 – 21 cm; gemiddeld circa 20,0 cm
2. kopafmetingen: circa 20x25 – 25x30 cm; gemiddeld circa 23x26 cm
3. soortelijke massa: 2827 kg/m³

Ook in dit geval is de steenzetting door dezelfde steenzetters aangebracht (zie figuur 19). Doordat, in tegenstelling tot de situatie met basaltzuiltjes, met een beperkter aantal blokvormen moest worden gewerkt, kan dit hier en daar tot wat grotere spleten hebben geleid en bovendien is er een patroon van rijen en kolommen van zuilen herkenbaar, zoals te zien is in figuur 19. In het algemeen zag de Basaltonzetting er goed uit. Verder is de bekleding op dezelfde manier afgewerkt als bij de basaltbekleding.

2.3 Meetsysteem

Het onderzoek richt zich enerzijds op het vaststellen van de golfhoogte waarbij de steenzetting bezwijkt, en anderzijds op het meten van de golfdruk op het talud en de druk in het filter als gevolg van de golfaanval. Om dit doel te bereiken zijn er drie golfhoogtemeters en 34 drukopnemers gebruikt. Verder is na elke proef de waterstand verlaagd en zijn 20 punten op het talud nauwkeurig ingemeten.

De golfhoogtemeters zijn op een onderlinge afstand van enkele meters in de goot geplaatst op een afstand van ongeveer 90 meter van het golfschot. Afhankelijk van de golfcondities is de onderlinge afstand tussen de golfhoogtemeters ingesteld. De locatie van de golfhoogtemeters is steeds vastgelegd in de SEQ-file van de metingen (zie hoofdstuk 3).

Voor de plaatsing van de drukopnemers op het talud is eerst als uitgangspunt de beschikbaarheid van totaal 34 drukopnemers genomen. Deze zijn gebruikt om in de zone waar de golven breken (onder de waterlijn) de druk op het talud en in het filter te meten. De drukvariaties als functie van de plaats zijn vooral op het talud groot, terwijl de druk in het filter slechts een gedempte weergave is van datgene wat er op het talud gebeurt. Daarom is besloten om de meeste drukopnemers op het talud te plaatsen, namelijk 26 stuks, en slechts 8 drukopnemers in het filter. De druk in het filter is gemeten door een drukopnemer zo in een zuil te plaatsen dat de druk onder de zuil gemeten kan worden.

De drukopnemers op het talud zijn verdeeld over het gebied tussen de verwachte locatie van de top van het brekerfront en de waterlijn. De locatie van de top van het brekerfront en die van de voet van het brekerfront zijn voor het gehele proevenprogramma geschat op basis van de formules uit Klein Breteler e.a. (1992) (recht front, zoals dat is opgenomen in ANAMOS) en De Waal e.a. (1995) (rond front). In beide gevallen is de aandacht geconcentreerd op het extreme brekerfront bij $H = 1,4H_s$ (recht front) en die met een overschrijdingsfrequentie van 2% (rond front). Ter plaatse van de voet van het brekerfront en in de zone waar de golfklap te verwachten is, zijn de drukopnemers wat dichterbij elkaar gezet. De locatie van de golfklap is gebaseerd op de volgende formule voor regelmatige golven (Coeveld 2003):

$$d_k/H_s = 0,3 \xi_{op}^{1,25} \quad \text{mits } \xi_{op} < 3$$

met: d_k = diepte op het talud, t.o.v. de stilwaterlijn, waar het hart van de golfklap neerkomt in regelmatige golven (m)

H_s = significante golfhoogte van de inkomende golven (m)

ξ_{op} = brekerparameter = $\tan\alpha/\sqrt{s_{op}}$

s_{op} = golfsteilheid = $H_s/(1,56T_p^2)$

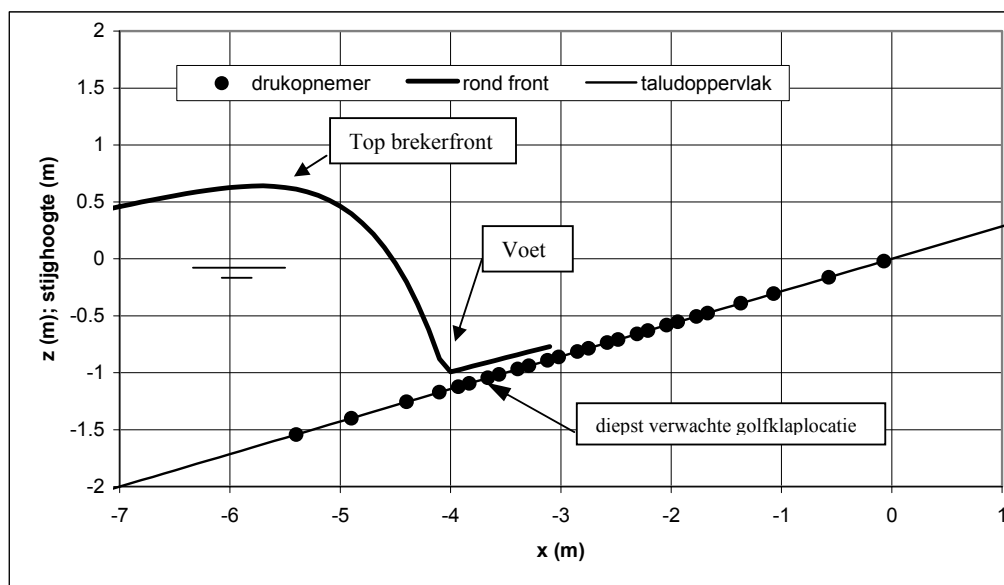
T_p = golfperiode bij de piek van het spectrum (s)

$$\alpha = \text{taludhelling (}^\circ\text{)}$$

Deze formule is gebruikt voor de extreme golven in het golfveld: $H = 1,4H_s$.

Op basis van de ervaring met basalt in de Deltagoot was geschat dat er mogelijk schade zou gaan ontstaan bij een significante golfhoogte van ongeveer $H_s = 1,2$ m als de golfsteilheid $s_{op} = 0,02$ is. Bij kleinere golven of steilere golven zal het brekerproces zich afspelen over een kleiner stuk van de bekleding en daarom is ervoor gekozen juist voor deze condities de instrumentatie uit te leggen. Wel bleek het nodig te zijn om de waterstand geregeld aan te passen, zodanig dat het brekerproces goed bij de drukopnemers plaatsvindt.

In onderstaande figuur is het resultaat van de berekening met bovenstaande condities gegeven, en zijn de gekozen locaties van de drukopnemers getekend (zie ook figuur 3).



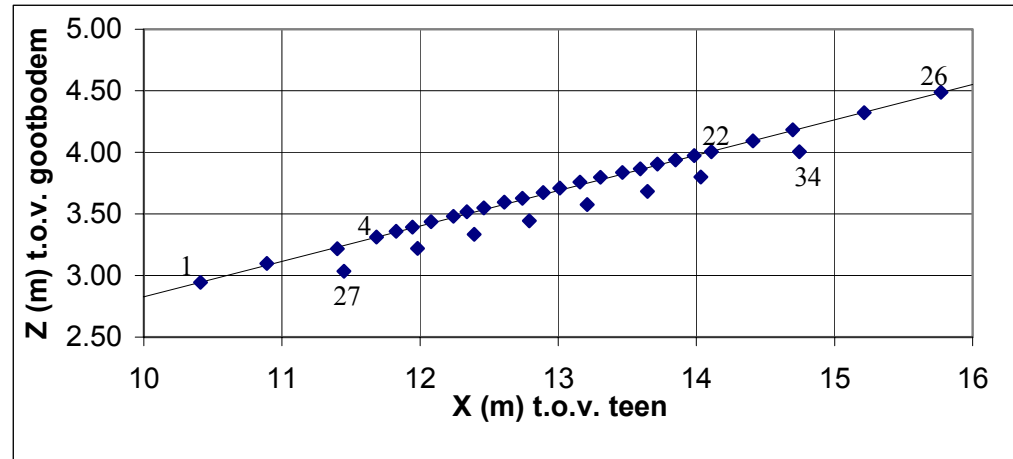
Figuur, Locatie brekerfront en golfklap ten opzichte van geplande locatie drukopnemers op 1:3.5 talud

De drukopnemers in het filter zijn verdeeld over de zone waarin de drukopnemers op de toplaag de kleinste onderlinge afstand hebben.

Steeds is bij de proeven visueel gecontroleerd of de golfklappen in het gebied van de instrumentatie plaatsvonden. Dit bleek bij alle proeven in orde te zijn.

De werkelijke positie van de drukopnemers is na de inbouw opgemeten (Tabel 1a voor basalt in Fase 1 en Tabel 1b voor Basalton in Fase 2). Van beneden naar boven zitten de opnemers DRO01 t/m DRO26 aan de bovenkant van de stenen en opnemers DRO27 t/m DRO34 aan de onderzijde van de stenen met de opnemers DRO03, DRO06, DRO09, DRO12, DRO15, DRO18, DRO21 en DRO24.

De werkelijke locatie van de drukopnemers, zoals die voor Fase 1 (basalt) zijn ingemeten met meetlint en waterpastoestel, is weergegeven in onderstaande figuur. De locatie van de drukopnemers in de Basalton (fase 2) was vrijwel gelijk aan die in de basalt.



Figuur, werkelijke locatie van de drukopnemers t.o.v. de gootbodem met nummer (Fase 1)

De drukopnemers waren van het type Kulite (type HKM-375M-1), die een snelle respons hebben. Voor de montage van elke drukopnemer in de zuilen is een gat van 100 mm door de stenen geboord, waarin vervolgens een 80 mm messing koker is vastgekit (zie figuur 18). De drukopnemers zijn hierin met ca 2 kg ballast in passende cylinders aangebracht, die na het zetten van de stenen in de messing kokers zijn geplaatst.

In 26 stenen wordt de druk aan de bovenzijde van de steen gemeten en in 8 van deze stenen tevens aan de onderzijde. De stenen zijn zo goed mogelijk volgens een gewenst patroon van afstanden langs het talud geplaatst in een strook op circa 0,5 à 1 m afstand van de gootwand en vervolgens met een stalen strip aan andere stenen vastgezet (Fig. 6 en 7). Dit laatste is gedaan omdat het zeer ongewenst dat de stenen met een drukopnemer uit de steenzetting gelicht worden, omdat dit schade aan de instrumenten geeft.

Van 20 gemerkte stenen in de brekerzone op het talud zijn de afstanden langs het talud tot een vast punt gemeten en zijn de niveaus gewaterpast. De resultaten van deze metingen geven aan of het talud onder de golfbelasting langzaam vervormt of niet. De gegevens van Fase 1 zijn vermeld in de Tabellen 2a en 2b. In figuur 16 en 17 zijn de verplaatsingen ten opzichte van het begin van het onderzoek gegeven. De gegevens van Fase 2 zijn vermeld in de Tabellen 2c en 2d en figuur 21 en 22.

2.4 Bemonsteringsfrequentie

De bemonsteringsfrequentie tijdens de proeven is bepalend voor de mate van detail waarmee tijdelijke drukvariaties kunnen worden gemeten. Vooral golfklappen duren bijzonder kort. Het allerhoogste drukpiekje tijdens een extreme golfklap duurt bijzonder kort; orde 0,1 ms. Dit allerhoogste drukpiekje hoeft niet gemeten te worden, omdat deze metingen gebruikt worden voor een beoordeling van de stabiliteit van steenzettingen. De blokken in een steenzetting hebben een zodanige traagheid dat ze niet reageren op dergelijke korte piekjes. In overleg met de opdrachtgever is vastgesteld dat een bemonsteringsfrequentie van 200 Hz voor deze proeven ruim voldoende is.

Teneinde ‘aliasing’ te voorkomen is het noodzakelijk om te filteren met een laagdoorlaat-filter op een frequentie gelijk aan de helft van de bemonsteringsfrequentie. Dit is in dit geval 100 Hz.

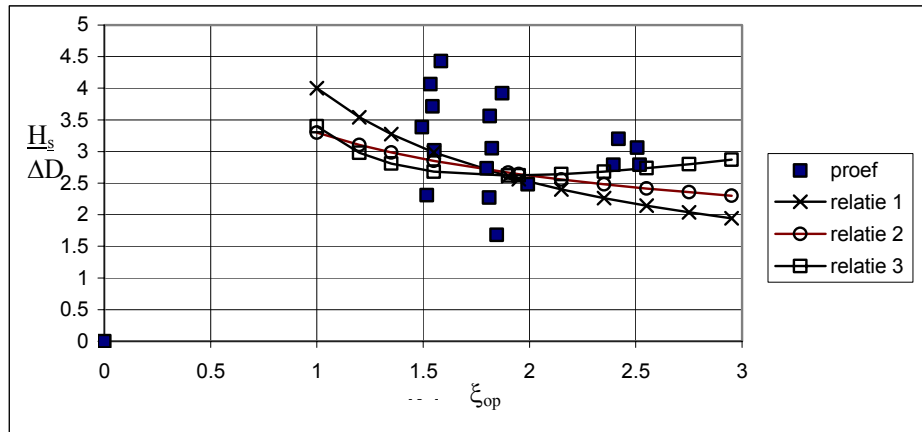
2.5 Proevenprogramma

Het proevenprogramma voor het testen van de basaltbekleding in Fase 1 van het onderzoek bestond uit drie golfseries elk met een eigen, constante golfsteilheid en een oplopende golfhoogte. Een proevenserie is voortgezet totdat er schade aan de steenzetting optrad of tot aan de maximum haalbare golfconditie in de goot.

Elke proevenserie is gestart met een proef met relatief lage golfhoogte waarmee het talud ingegolf, behalve na de eerste serie, omdat toen het belangrijkste deel van het talud ongewijzigd is gebleven. De ervaring leert dat tijdens zo’n ingolfproef, die vergelijkbaar is met een bescheiden storm, de steenzetting en het inwasmateriaal wat beter vast komt te zitten. De ervaring van dijkbeheerders is ook dat een steenzetting pas zijn eindsterkte bereikt heeft nadat er een stormseizoen overheen is geweest.

Als eerste proevenserie is gekozen voor een golfsteilheid van $s_{op} = 0,025$ ($\xi_{op} = 1,8$). Omdat toen nog gevreesd werd voor schade bij een golfhoogte van $H_s = 1,2$ m, is na de ingolfproef gestart met een golfhoogte van $H_s = 0,9$ m.

De tweede serie proeven is uitgevoerd met een veel kleinere golfsteilheid, namelijk $s_{op} = 0,014$ ($\xi_{op} = 2,4$), omdat er onzekerheid is over de relatie tussen de brekerparameter ξ_{op} en de belastingparameter $H_s/\Delta D$. In onderstaande figuur zijn enkele scenario’s weergegeven. Door de tweede proevenserie bij een grote waarde van de brekerparameter uit te voeren, wordt het mogelijk om aan de hand van het proefresultaat onderscheid te maken tussen deze relaties.



Figuur, gerealiseerde proeven en mogelijke relaties

De derde serie proeven is uitgevoerd met een golfsteilheid van $s_{op} = 0,035$.

In bovenstaande figuur is te zien dat de gerealiseerde golfcondities soms iets afwijken van de geplande condities.

Het gerealiseerde proevenprogramma voor de basaltbekleding in Fase 1 is gegeven in Tabel 3a. Proef 4 had een te lage golfhoogte door een fout in de stuurfile en is opnieuw als proef

4A uitgevoerd. Proeven 7 en 8 zijn gestopt door het afslaan van het golfschot. De proef is vervolgens voortgezet als 7A en 8A.

Door de extreme golfcondities traden tijdens proef 18 zodanig brekende golven op in de goot, dat schade aan de golfopnemers werd veroorzaakt. Als gevolg hiervan zijn maar van een beperkt deel van deze proef golfgegevens beschikbaar. De beschikbare gegevens waren voldoende om de golfcondities te karakteriseren. De schade aan de golfopnemers is hersteld tijdens de verbouwing van het model voor Fase 2 van het onderzoek.

De proeven op de Basalton zijn gestart met een serie met golfsteilheid van 0,013, omdat bij die steilheid de basalt het meeste beschadigd was geraakt. De golfhoogte is weer stap voor stap verhoogd tot dat de maximale capaciteit van de goot was bereikt. Vervolgens zijn nog 2 proeven uitgevoerd met een golfsteilheid van 0,022 à 0,024, omdat ook bij die steilheid de basalt beschadigd was geraakt.

Het gerealiseerde proevenprogramma voor de Basalton in Fase 2 is gegeven in Tabel 3b (zie ook figuur 23).

De proefduur van elke proef bedroeg tenminste een periode van circa 1000 golven per proef. Voor proef 4, 7 en 8 geldt dat de som van 4 en 4A etc ca 1000 golven betrof. De duur van elke proef is vermeld in tabel 3a en 3b.

In principe werd na de eerste twee proeven van een serie het uitgespoelde inwasmateriaal nog eens aangevuld, daarna pas weer voor de eerste proef van de volgende proevenserie.

3 Resultaten

3.1 Resultaten fase I: basalt

Het meest in het oog springende resultaat van de proeven met de basaltbekleding is dat er geen schade is ontstaan bij een golfhoogte van $H_s = 1,2$ m. Op basis van Deltagootproeven met basalt in het verleden was de vrees ontstaan dat schade bij die golfhoogte al zou kunnen optreden, terwijl volgens ANAMOS pas schade zou moeten ontstaan bij $H_s > 1,6$ m bij een golfsteilheid van $s_{op} = 0,025$. De sterkte van de basalt is dus minder laag dan gevreesd werd.

De belangrijkste proefresultaten met basalt (fase 1) zijn:

- Tijdens proef 3 begint de basaltbekleding enigszins naar beneden te verschuiven (in het vlak van de steenzetting). In figuur 17 is te zien dat op een aantal locaties er een verplaatsing is van enkele millimeters tot maximaal 7 mm. De steenzetting lijkt zich te verdichten. Dit is geen vorm van schade, maar kan wel tot gevolg hebben dat langs een overgangsconstructie boven de basalt er een spleet ontstaat. Daar zullen dan de basaltzuilen slecht geklemd liggen. In deze proefopstelling is de overgangsconstructie zo hoog gekozen dat dit het proefresultaat niet kan beïnvloeden.
- Na proef 5 (bij $H_s = 1,40$ m, $T_p = 6,01$ s en $\xi_{op} = 1,81$) is er nog geen schade geconstateerd en is ook het inwasmateriaal nog goed aanwezig (zie figuur 8). De steenzetting ligt er nog mooi vlak bij, maar op de locatie $z = 3,64$ m, $y = 3$ m, begint de steenzetting over een wat groter oppervlak enigszins omhoog te komen. De verticale verplaatsing is hier na de proef 5 mm (zie figuur 16).
- Tijdens proef 6 (bij $H_s = 1,54$ m, $T_p = 6,51$ s en $\xi_{op} = 1,87$) is er begin van schade ontstaan. Op een afstand van 1,2 m van de gootwand aan de kant van de drukopnemers is op een niveau van $z = +4,41$ m een steen gedeeltelijk omhoog gekomen. In figuur 9 is te zien dat een zuil een rotatie heeft ondergaan waardoor hij aan de ene kant 8,5 cm boven de steenzetting uit steekt, terwijl de andere kant niet omhoog gekomen is. Deze steen was waarschijnlijk niet mooi zuilvormig. Het inwasmateriaal was overal nog goed aanwezig en verder lag de steenzetting er nog mooi vlak bij. Opmerkelijk is wel dat de steenzetting kraakte toen erover gelopen werd, hetgeen kan duiden op een normaalspanning in het vlak van de steenzetting, of dat de hele bekleding een beetje is opgelicht. In figuur 16 is te zien dat op de locatie $z = 3,64$ m, $y = 3$ m, het taludoppervlak weer iets verder omhoog gekomen is tot totaal 8 mm. Op het zelfde niveau is bij $y = 2$ m het talud 4 mm omhoog gekomen, maar verder zijn de verplaatsingen slechts 1 à 2 mm.
- Voordat proef 7 is gestart, is de omhoog gekomen zuil weer naar beneden geslagen. Na proef 7A (bij $H_s = 1,10$ m, $T_p = 7,39$ s en $\xi_{op} = 2,52$) is er nog geen schade geconstateerd en is ook het inwasmateriaal nog goed aanwezig. De verticale verplaatsingen van het taludoppervlak zijn niet groter geworden. De maximale verplaatsing in het vlak van de steenzetting is nu opgelopen tot 11 mm (verschuiving naar beneden). De grootste verschuiving naar beneden ligt op dezelfde locatie als de grootste opwaartse opbolling: $z = 3,64$ m, $y = 3$ m.

- Tijdens proef 8 (bij $H_s = 1,26$ m, $T_p = 7,60$ s en $\xi_{op} = 2,42$) of proef 8A (bij $H_s = 1,20$ m, $T_p = 7,70$ s en $\xi_{op} = 2,51$) is er schade ontstaan. Op een afstand van 1,7 m van de gootwand, aan de kant waar de drukopnemers niet zitten, is op een niveau van $z = +3,50$ m een steen uit de bekleding gelicht (zie figuur 10). Deze schade is zo ver onder water ontstaan, dat tijdens de proef dit niet is opgemerkt. Het tijdstip waarop de schade is ontstaan is daardoor niet bekend. Het valt op dat het filtermateriaal nog niet is uitgespoeld, hetgeen een aanwijzing is dat de schade vrij laat in de proef is ontstaan. Het inwasmateriaal was overal nog goed aanwezig.
- Voor proef 13 is een paar vierkante meter van de steenzetting rondom het gat uitgebroken en opnieuw gezet. Vervolgens is er tot en met proef 18 (bij $H_s = 1,74$ m, $T_p = 5,85$ s en $\xi_{op} = 1,58$) geen schade meer geconstateerd. Ook na proef 18 was het inwasmateriaal overal nog goed aanwezig. Ter plaatse van $z = 3,64$ m, $y = 3$ m, is echter het taludoppervlak steeds verder omhoog gekomen tot een waarde van 23 mm na proef 18. Op datzelfde niveau is bij $y = 4$ m en $y = 2$ m het talud ook aanzienlijk omhoog gekomen, respectievelijk 5 mm en 9 mm. De steenzetting is ook steeds verder naar beneden gaan schuiven, tot een maximale verschuiving van 19 mm.

Aan de hand van deze proefresultaten kan de voorlopige conclusie getrokken worden dat deze steenzetting van basalt beschadigd raakt als (zie figuur 23):

$$H_s/(\Delta D) = F \cdot \xi_{op}^{-2/3} \quad \text{met } F = 5,5 \text{ à } 6$$

Volgens ANAMOS zou voor deze constructie $F = 6$ gelden. Ten opzichte van ANAMOS raakt basalt dus bij een iets lagere golfhoogte beschadigd.

Bij het uitbreken van het model na proef 18 is er opgelet of de basalt in de rubbers gedrukt is, dat aangebracht was tussen de steenzetting en gootwand. In figuur 11 is te zien dat dit inderdaad het geval is. Maar omdat dit ook helemaal onderaan het talud het geval is, waar de bekleding weinig te verduren heeft gehad, is het niet waarschijnlijk dat deze indrukking toegeschreven kan worden aan de vervorming van het talud. Het is goed mogelijk dat dit al voor proef 1 aanwezig was.

Alle relevante gegevens zijn per proef verzameld in een elektronische data base. De data base kent twee soorten bestanden, namelijk:

1. SEQ-bestanden, waarin alle basisgegevens van een proef zijn vermeld, zoals Projectnummer, datum, proefnummer, posities van de golf- en drukopnemers, golfduur, enz.
2. DAT-bestanden, waarin alle meetgegevens van de golfhoogtemeters en de drukopnemers.

Tijdens de proeven van Fase 1 zijn er enkele problemen met sommige drukopnemers opgetreden. Een overzicht hiervan is gegeven in Tabel 4a. De eerste drie drukopnemers die kapot zijn gegaan, konden vervangen worden door reserve exemplaren in te zetten. In overleg met de DWW is besloten dat wanneer er nog meer drukopnemers kapot zouden gaan, drukopnemer 34 te laten vervallen, omdat die het minst belangrijk is in de modelopstelling. Later konden enkele kapotte drukopnemers weer gerepareerd worden zodat ook drukopnemer 34 vervangen kon worden. Uiteindelijk heeft 97% van de instrumentatie goed gefunctioneerd.

Uit de DAT-bestanden zijn de golfgegevens geanalyseerd en verwerkt tot een golfoverschrijdingskromme en een energiespectrum (zie figuur 13 t/m 15). Hieruit zijn de werkelijk gerealiseerde waarden van de inkomende golven, H_s en T_p , bepaald (zie Tabel 3).

Schade aan de steenzetting werd tijdens de proef zo goed mogelijk visueel vastgesteld en na elke proef gedetailleerd vastgelegd, na het afpompen van het water. Tijdens de proeven werden continu video-opnamen van het aangevallen talud gemaakt. Alleen de opnamen van de laatste proef van een serie zijn bewaard, omdat die informatie zou kunnen verschaffen over de schade die is opgetreden. Verder zijn er honderden foto's gemaakt.

3.2 Resultaten fase 2: Basalton

De Basaltonbekleding heeft in alle uitgevoerde proeven de golfaanval zonder schade doorstaan. Bij de proeven met lange golven ($s_{op} = 0,013$) trad nog geen schade op bij golven met $H_s = 1,37$ m (proef 24), terwijl bij basalt er schade optrad bij golven met $H_s = 1,26$ à $1,20$ m (proef 8/8A). Bij kortere golven ($s_{op} = 0,023$) trad bij basalt begin van schade op bij golven met $H_s = 1,54$ m (proef 6), terwijl de Basaltonbekleding heel bleef bij golven met $H_s = 1,57$ m (proef 26).

Aan de hand van de waterpassingen bleek dat de bekleding van Basalton tijdens de proeven een beetje is verzakt (zie figuur 18 en Tabel 2c), en zeker niet is opgebold zoals de basalt bekleding. In het algemeen is over de hele proevenserie een lichte daling gevonden in de orde van $0,5$ à $1,5$ mm (afleesnauwkeurigheid $0,1$ mm) met een iets grotere verlaging tijdens de laatste proef (tot bijna 6 mm bij $z = 3,57$ m).

Ook het verschuiven van de bekleding naar beneden is nu veel minder dan in fase 1 met de basalt. De resultaten van Tabel 2c en figuur 18 en 19 laten zien dat de Basalton niet of nauwelijks is afgeschoven tijdens de proeven van fase 2. De maximale verplaatsing van 2 mm ligt nog vlak bij de nauwkeurigheidsgrens van de metingen (± 1 mm per meting, ± 2 mm in verschillen).

Aan de hand van deze proefresultaten kan de voorlopige conclusie getrokken worden dat deze steenzetting van Basalton nog stabiel is tot ten minste (zie figuur 23):

$$H_s/(\Delta D) = F \cdot \xi_{op}^{-2/3} \text{ met } F > 6,8$$

Volgens ANAMOS zou voor deze constructie $F = 6$ gelden. Ten opzichte van ANAMOS raakt Basalton dus bij een iets hogere golfhoogte beschadigd.

Tijdens de proeven is, net als bij de proeven met basalt, het meeste inwasmateriaal in de spleten gebleven. Na de laatste proef bleek uit de kleine spleten globaal 0 tot 25% van het inwasmateriaal te zijn weggespoeld en uit de grotere 75 tot 100% . Volledige uitspoeling (100%) kwam maar bij enkele gaten voor. De Basalton was in geen enkele spleet ondergraven (geen uitspoeling dieper dan onderkant zuil). Tijdens een proef werd continu materiaal uitgespoeld en weer gevangen in de speten. Er was zoveel inwasmateriaal in beweging dat dat zelfs tot schade aan de meetkabels heeft geleid (een van de oorzaken van schade aan de drukopnemers).

Ook in Fase 2 zijn alle relevante gegevens per proef verzameld in de elektronische data base. De data base kent twee soorten bestanden, namelijk:

1. SEQ-bestanden, waarin alle basisgegevens van een proef zijn vermeld, zoals Projectnummer, datum, proefnummer, posities van de golf- en drukopnemers, golfduur, enz.
2. DAT-bestanden, waarin alle meetgegevens van de golfhoogtemeters en de drukopnemers.

Tijdens de proeven van Fase 2 zijn er eveneens enkele problemen met sommige drukopnemers opgetreden. Een overzicht hiervan is gegeven in Tabel 4b. De kapotte drukopnemers zijn steeds zo snel mogelijk vervangen door een gerepareerde opnemer. Maximaal zijn per proef slechts drie drukopnemers kapot gegaan. In veel gevallen is er nog informatie van een bepaalde periode bruikbaar of kunnen delen van de meetgegevens worden gebruikt na aanbrengen van een nulcorrectie. Uiteindelijk heeft 95% van de instrumentatie goed gefunctioneerd.

4 Conclusie

In de Deltagoot van WL | Delft Hydraulics is eerst een steenzetting van basalt op een dijktaalud belast door brekende golven. Bij drie verschillende golfsteilheden, namelijk 0,013, 0,025 en 0,035, is de golfhoogte stap voor stap verhoogd totdat schade ontstond, of totdat de grens van de capaciteit van de goot bereikt was. Vervolgens zijn deze proeven bij een golfsteilheid van 0,013 en 0,023 herhaald met een steenzetting van Basalton met vergelijkbare eigenschappen.

Enkele eigenschappen van de steenzetting waren:

- taludhelling: 1:3,5
- gemiddelde toplaagdikte: $D = 0,20$ m
- soortelijke massa van basalt: $\rho_s = 2955$ kg/m³
- soortelijke massa van Basalton: $\rho_s = 2827$ kg/m³
- inwasmateriaal: 5 – 30 mm
- filterlaagdikte: $b = 0,12$ m
- korrelgrootte van het filter: $D_{f15} = 22$ mm

Tijdens de proeven is op 26 locaties de golfdruk op het talud gemeten, en op acht locaties de druk in het filter. Ondanks problemen met enkele drukopnemers, heeft 96% van de instrumentatie goed gefunctioneerd.

De proeven op basalt hebben bij een golfsteilheid van 0,013 geleid tot schade bij een golfhoogte van $H_s = 1,26$ m. Door de golven is toen één basaltzuil uit de bekleding gelicht (zie figuur 10). Bij een golfsteilheid van 0,025 is begin van schade ontstaan bij $H_s = 1,54$ m. Er is toen één basaltzuil gedeeltelijk (8,5 cm) omhoog gekomen (zie figuur 9). Bij een golfsteilheid van 0,035 is tot en met een golfhoogte van $H_s = 1,74$ m geen schade aan de basalt ontstaan. Een hogere golfhoogte kon in de goot niet opgewekt worden.

De proeven op Basalton hebben bij een golfsteilheid van 0,013 niet geleid tot enige vorm van schade tot en met de maximale capaciteit van de goot was bereikt bij een golfhoogte van $H_s = 1,37$ m. Hetzelfde geldt voor de proeven met een golfsteilheid van 0,023: geen schade tot en met $H_s = 1,57$ m.

Aan de hand van deze proefresultaten kan de voorlopige conclusie getrokken worden dat deze steenzetting van basalt beschadigd raakt als (zie figuur 23):

$$H_s/(\Delta D) = F \cdot \xi_{op}^{-2/3} \quad \text{met } F = 5,5 \text{ à } 6$$

Volgens ANAMOS zou voor deze constructie $F = 6$ gelden. Ten opzichte van ANAMOS raakt basalt dus bij een iets lagere golfhoogte beschadigd.

De Basalton blijkt beduidend stabiel te zijn. Deze steenzetting van Basalton is nog stabiel tot ten minste (zie figuur 23):

$$H_s/(\Delta D) = F \cdot \xi_{op}^{-2/3} \quad \text{met } F > 6,8$$

Referenties

Coeveld, M. (2003); Invloed van golf klappen op stabiliteit: literatuurstudie, WL / Delft Hydraulics, conceptverslag H4134, september 2003.

Klein Breteler, M., e.a. (1992); Talusbekledingen van gezette steen, stabiliteit van de toplaag, M1795 / H195 deel XX, band A, WL / Delft Hydraulics, april 1992.

Waal, J.P. de, M. Klein Breteler, en H. den Adel (1995); Talusbekledingen van gezette steen, golfdruk op het talud, deel B: verbetering van het analytische model en Steenzet; WL / Delft Hydraulics, verslag H195, December 1995

Opnemer	x (m)	y (m)	z (m)	Opmerkingen
DRO01	181.410	0.585	2.944	Bovenzijde zetsteen
DRO02	181.891	0.792	3.097	Bovenzijde zetsteen
DRO03	182.400	0.602	3.218	Bovenzijde zetsteen
DRO04	182.685	0.633	3.313	Bovenzijde zetsteen
DRO05	182.827	0.96	3.358	Bovenzijde zetsteen
DRO06	182.944	0.433	3.393	Bovenzijde zetsteen
DRO07	183.079	0.802	3.437	Bovenzijde zetsteen
DRO08	183.240	0.674	3.481	Bovenzijde zetsteen
DRO09	183.338	1.047	3.517	Bovenzijde zetsteen
DRO10	183.460	0.645	3.549	Bovenzijde zetsteen
DRO11	183.609	0.878	3.596	Bovenzijde zetsteen
DRO12	183.740	1.039	3.626	Bovenzijde zetsteen
DRO13	183.891	0.592	3.673	Bovenzijde zetsteen
DRO14	184.010	1.055	3.710	Bovenzijde zetsteen
DRO15	184.157	0.867	3.759	Bovenzijde zetsteen
DRO16	184.305	0.732	3.798	Bovenzijde zetsteen
DRO17	184.465	0.631	3.837	Bovenzijde zetsteen
DRO18	184.593	0.778	3.867	Bovenzijde zetsteen
DRO19	184.717	0.957	3.904	Bovenzijde zetsteen
DRO20	184.849	0.550	3.940	Bovenzijde zetsteen
DRO21	184.983	0.883	3.972	Bovenzijde zetsteen
DRO22	185.109	1.058	4.004	Bovenzijde zetsteen
DRO23	185.409	0.626	4.093	Bovenzijde zetsteen
DRO24	185.698	0.684	4.183	Bovenzijde zetsteen
DRO25	186.215	0.826	4.323	Bovenzijde zetsteen
DRO26	186.771	0.923	4.489	Bovenzijde zetsteen
DRO27	182.448	0.792	3.035	Onder DRO03
DRO28	182.982	0.433	3.220	Onder DRO06
DRO29	183.391	1.047	3.334	Onder DRO09
DRO30	183.790	1.039	3.443	Onder DRO12
DRO31	184.209	0.867	3.576	Onder DRO15
DRO32	184.645	0.778	3.684	Onder DRO18
DRO33	185.033	0.883	3.799	Onder DRO21
DRO34	185.746	0.684	4.005	Onder DRO24

x afstand vanaf middenpositie golfschot

y afstand tot gootwand bij meetruimte

z afstand tot gootbodem

Tabel 1a Positie drukopnemers bij testen basaltbekleding (H4327-Fase 1)

Opnemer	x (m)	y (m)	z (m)	Opmerkingen
DRO01	181.407	0.637	2.936	Bovenzijde zetsteen
DRO02	181.890	0.653	3.067	Bovenzijde zetsteen
DRO03	182.390	0.647	3.209	Bovenzijde zetsteen
DRO04	182.712	0.906	3.302	Bovenzijde zetsteen
DRO05	182.806	0.683	3.332	Bovenzijde zetsteen
DRO06	182.972	0.912	3.367	Bovenzijde zetsteen
DRO07	183.110	0.661	3.412	Bovenzijde zetsteen
DRO08	183.240	0.902	3.449	Bovenzijde zetsteen
DRO09	183.378	1.138	3.493	Bovenzijde zetsteen
DRO10	183.522	0.644	3.528	Bovenzijde zetsteen
DRO11	183.642	1.091	3.567	Bovenzijde zetsteen
DRO12	183.761	0.602	3.603	Bovenzijde zetsteen
DRO13	183.898	0.810	3.649	Bovenzijde zetsteen
DRO14	184.051	1.041	3.684	Bovenzijde zetsteen
DRO15	184.180	0.605	3.727	Bovenzijde zetsteen
DRO16	184.301	1.018	3.765	Bovenzijde zetsteen
DRO17	184.445	0.584	3.806	Bovenzijde zetsteen
DRO18	184.587	0.810	3.849	Bovenzijde zetsteen
DRO19	184.718	0.612	3.879	Bovenzijde zetsteen
DRO20	184.866	1.287	3.923	Bovenzijde zetsteen
DRO21	184.995	0.820	3.954	Bovenzijde zetsteen
DRO22	185.143	0.581	3.996	Bovenzijde zetsteen
DRO23	185.435	0.794	4.087	Bovenzijde zetsteen
DRO24	185.747	1.088	4.179	Bovenzijde zetsteen
DRO25	186.223	0.949	4.312	Bovenzijde zetsteen
DRO26	186.719	0.574	4.444	Bovenzijde zetsteen
DRO27	182.443	0.647	3.022	Onder DRO03
DRO28	183.025	0.912	3.180	Onder DRO06
DRO29	183.431	1.138	3.306	Onder DRO09
DRO30	183.814	0.602	3.417	Onder DRO12
DRO31	184.233	0.605	3.540	Onder DRO15
DRO32	184.640	0.810	3.661	Onder DRO18
DRO33	185.046	0.820	3.776	Onder DRO21
DRO34	185.798	1.088	4.001	Onder DRO24

x afstand van middenpositie golfschot
 y afstand van gootwand bij meetruimte
 z afstand tot gootbodem

Tabel 1b Positie drukopnemers bij testen Basaltonbekleding (H4327-Fase 2)

	Tijdstip	voor p001	na p002	na p003	na p04a	na p005	na p006	na p07a	na p08a
Raai	Steen								
1	1	3.983	3.982	3.982	3.982	3.982	3.983	3.982	3.983
	2	3.789	3.789	3.789	3.789	3.789	3.789	3.789	3.789
	3	3.587	3.586	3.587	3.586	3.587	3.588	3.587	3.587
	4	3.422	3.421	3.420	3.420	3.420	3.420	3.419	3.419
	5	3.316	3.314	3.314	3.314	3.314	3.314	3.313	3.313
2	6	3.968	3.968	3.968	3.969	3.968	3.970	3.969	3.969
	7	3.821	3.820	3.819	3.819	3.818	3.819	3.818	3.817
	8	3.636	3.635	3.636	3.637	3.641	3.644	3.644	3.644
	9	3.437	3.436	3.437	3.436	3.437	3.437	3.436	3.436
	10	3.301	3.300	3.300	3.299	3.299	3.299	3.298	3.298
3	11	3.974	3.973	3.972	3.973	3.972	3.972	3.971	3.972
	12	3.827	3.825	3.825	3.825	3.825	3.826	3.825	3.824
	13	3.624	3.622	3.622	3.622	3.626	3.628	3.628	3.627
	14	3.409	3.408	3.409	3.409	3.409	3.409	3.408	3.408
	15	3.227	3.226	3.227	3.227	3.226	3.226	3.226	3.226
4	16	4.057	4.056	4.054	4.055	4.055	4.055	4.054	4.054
	17	3.847	3.847	3.847	3.847	3.846	3.847	3.846	3.846
	18	3.670	3.668	3.668	3.668	3.670	3.670	3.669	3.670
	19	3.532	3.532	3.531	3.532	3.533	3.533	3.533	3.532
	20	3.306	3.305	3.305	3.305	3.303	3.304	3.303	3.303

	Tijdstip	na p013	na p014	na p015	na p016	na p017	na p018
Raai	Steen						
1	1	3.983	3.983	3.982	3.982	3.982	3.982
	2	3.789	3.789	3.788	3.788	3.788	3.788
	3	3.586	3.586	3.587	3.588	3.589	3.592
	4	3.419	3.419	3.419	3.420	3.420	3.420
	5	3.314	3.314	3.313	3.314	3.314	3.314
2	6	3.969	3.969	3.969	3.968	3.968	3.969
	7	3.818	3.818	3.817	3.817	3.817	3.818
	8	3.643	3.644	3.645	3.649	3.653	3.659
	9	3.437	3.437	3.437	3.439	3.440	3.441
	10	3.297	3.298	3.297	3.298	3.298	3.298
3	11	3.972	3.972	3.971	3.971	3.971	3.971
	12	3.825	3.824	3.823	3.823	3.823	3.824
	13	3.627	3.627	3.626	3.628	3.630	3.633
	14	3.408	3.409	3.408	3.409	3.410	3.410
	15	3.226	3.226	3.226	3.227	3.227	3.227
4	16	4.054	4.054	4.054	4.054	4.054	4.054
	17	3.846	3.846	3.845	3.846	3.845	3.845
	18	3.670	3.669	3.669	3.670	3.671	3.671
	19	3.532	3.531	3.532	3.532	3.533	3.533
	20	3.303	3.303	3.303	3.304	3.304	3.304

Tabel 2a Waterpassingen van gemerkte basaltstenen op het talud

	Tijdstip	voor p001	na p002	na p003	na p04a	na p005	na p006	na p07a	na p08a
Raai	Steen								
1	1	7.460	7.460	7.460	7.460	7.460	7.460	7.461	7.461
	2	8.162	8.162	8.165	8.167	8.166	8.169	8.170	8.170
	3	8.903	8.905	8.910	8.910	8.911	8.912	8.912	8.913
	4	9.425	9.425	9.426	9.429	9.428	9.430	9.431	9.430
	5	9.782	9.783	9.788	9.786	9.786	9.788	9.789	9.788
2	6	7.515	7.515	7.517	7.515	7.515	7.517	7.518	7.518
	7	8.060	8.060	8.065	8.065	8.064	8.065	8.066	8.065
	8	8.710	8.712	8.716	8.719	8.719	8.721	8.721	8.722
	9	9.367	9.368	9.370	9.374	9.374	9.373	9.375	9.374
	10	9.858	9.859	9.861	9.863	9.862	9.863	9.863	9.863
3	11	7.368	7.370	7.370	7.370	7.370	7.372	7.372	7.373
	12	8.013	8.012	8.015	8.015	8.015	8.018	8.018	8.018
	13	8.738	8.740	8.743	8.745	8.743	8.745	8.745	8.745
	14	9.450	9.451	9.453	9.455	9.456	9.457	9.455	9.455
	15	10.084	10.084	10.087	10.090	10.089	10.090	10.090	10.090
4	16	7.065	7.065	7.068	7.067	7.068	7.069	7.069	7.068
	17	7.864	7.860	7.862	7.864	7.864	7.868	7.865	7.865
	18	8.542	8.542	8.546	8.546	8.548	8.549	8.549	8.550
	19	9.072	9.072	9.075	9.076	9.079	9.078	9.079	9.079
	20	9.830	9.830	9.835	9.835	9.838	9.836	9.838	9.838

	Tijdstip	na p013	na p014	na p015	na p016	na p017	na p018
Raai	Steen						
1	1	7.462	7.462	7.462	7.462	7.462	7.462
	2	8.170	8.170	8.171	8.171	8.172	8.173
	3	8.913	8.915	8.915	8.915	8.917	8.917
	4	9.430	9.431	9.431	9.432	9.432	9.432
	5	9.789	9.788	9.789	9.789	9.789	9.790
2	6	7.518	7.518	7.518	7.518	7.518	7.518
	7	8.068	8.067	8.068	8.066	8.068	8.069
	8	8.723	8.725	8.725	8.725	8.728	8.729
	9	9.382	9.382	9.382	9.382	9.383	9.383
	10	9.865	9.868	9.866	9.866	9.868	9.869
3	11	7.372	7.373	7.372	7.372	7.372	7.373
	12	8.018	8.019	8.019	8.018	8.020	8.020
	13	8.745	8.745	8.745	8.745	8.747	8.748
	14	9.455	9.455	9.456	9.456	9.459	9.459
	15	10.090	10.088	10.092	10.090	10.090	10.092
4	16	7.068	7.070	7.069	7.069	7.069	7.069
	17	7.865	7.865	7.867	7.865	7.867	7.868
	18	8.550	8.550	8.550	8.550	8.551	8.552
	19	9.078	9.078	9.080	9.080	9.080	9.081
	20	9.838	9.840	9.838	9.838	9.839	9.840

Tabel 2b Afstand gemerkte basaltstenen langs het talud tot een vast punt

	Tijdstip	voor p020	na p021	na p022	na p023	na p024	na p025	na p026
Raai	Steen							
1	1	4.009	4.009	4.008	4.008	4.008	4.008	4.008
	2	3.788	3.788	3.787	3.787	3.787	3.787	3.787
	3	3.565	3.565	3.565	3.564	3.564	3.564	3.563
	4	3.384	3.384	3.384	3.383	3.383	3.383	3.383
	5	3.238	3.237	3.237	3.237	3.237	3.237	3.237
2	6	3.973	3.972	3.972	3.971	3.972	3.971	3.970
	7	3.773	3.773	3.772	3.772	3.772	3.771	3.770
	8	3.550	3.550	3.549	3.549	3.549	3.549	3.548
	9	3.419	3.419	3.419	3.419	3.419	3.418	3.418
	10	3.242	3.242	3.243	3.243	3.241	3.241	3.240
3	11	3.929	3.929	3.928	3.928	3.928	3.928	3.928
	12	3.777	3.777	3.777	3.777	3.777	3.776	3.776
	13	3.562	3.563	3.562	3.562	3.562	3.562	3.561
	14	3.372	3.371	3.371	3.371	3.371	3.371	3.370
	15	3.168	3.168	3.167	3.167	3.167	3.167	3.167
4	16	3.980	3.980	3.979	3.979	3.979	3.979	3.979
	17	3.763	3.763	3.762	3.762	3.762	3.762	3.761
	18	3.570	3.570	3.569	3.569	3.568	3.568	3.564
	19	3.367	3.368	3.367	3.368	3.368	3.367	3.367
	20	3.167	3.168	3.167	3.167	3.167	3.167	3.167

Tabel 2c Waterpassingen van gemerkte Basaltonstenen op het talud

	Tijdstip	voor p020	na p021	na p022	na p023	na p024	na p025	na p026
Raai	Steen							
1	1	7.298	7.299	7.299	7.298	7.299	7.299	7.300
	2	8.095	8.095	8.095	8.094	8.095	8.095	8.095
	3	8.865	8.865	8.865	8.866	8.866	8.867	8.866
	4	9.524	9.524	9.522	9.522	9.523	9.523	9.524
	5	10.098	10.098	10.098	10.097	10.098	10.099	10.099
2	6	7.426	7.426	7.426	7.426	7.427	7.427	7.428
	7	8.158	8.158	8.157	8.157	8.157	8.157	8.157
	8	8.903	8.901	8.902	8.901	8.902	8.902	8.902
	9	9.390	9.390	9.390	9.390	9.390	9.391	9.392
	10	10.075	10.073	10.073	10.074	10.074	10.075	10.074
3	11	7.520	7.519	7.518	7.518	7.518	7.519	7.519
	12	8.082	8.082	8.082	8.081	8.081	8.081	8.083
	13	8.851	8.85	8.851	8.851	8.851	8.851	8.852
	14	9.546	9.544	9.546	9.544	9.545	9.546	9.546
	15	10.298	10.298	10.299	10.298	10.299	10.300	10.300
4	16	7.325	7.324	7.324	7.324	7.324	7.324	7.323
	17	8.089	8.088	8.087	8.087	8.086	8.087	8.089
	18	8.814	8.814	8.815	8.814	8.814	8.814	8.815
	19	9.489	9.488	9.489	9.488	9.488	9.489	9.490
	20	10.271	10.270	10.272	10.272	10.271	10.271	10.272

Tabel 2d Afstand gemerkte Basaltonstenen langs het talud tot een vast punt

serie	proef	H _s (m)	T _p (s)	waterdiepte (m)	Duur (u:min:sec)	s _{op} (-)	ξ _{op} (-)
1	1	0.66	4.21	4.20	1:08:40	0.024	1.85
	2	0.89	4.79	4.19	1:17:00	0.025	1.81
	3	1.07	5.22	4.36	1:12:00	0.025	1.80
	4	0.97	5.51	4.33	1:17:00	0.021	1.99
	4A	1.20	5.60	4.32	1:17:00	0.025	1.82
	5	1.40	6.01	4.58	1:23:00	0.025	1.81
	6	1.54	6.51	4.78	1:29:10	0.023	1.87
2	7	1.10	7.03	4.72	0:48:50	0.014	2.39
	7A	1.10	7.39	4.72	0:56:00	0.013	2.52
	8	1.26	7.60	4.85	0:35:20	0.014	2.42
	8A	1.20	7.70	4.85	1:09:30	0.013	2.51
3	13	0.91	4.05	4.21	0:59:00	0.035	1.52
	14	1.19	4.74	4.19	1:05:40	0.034	1.55
	15	1.33	4.83	4.31	1:08:00	0.037	1.49
	16	1.46	5.23	4.39	1:12:00	0.034	1.54
	17	1.60	5.43	4.49	1:14:00	0.035	1.53
	18	1.74	5.85	4.69	1:20:00	0.033	1.58

Golfsteilheid: $s_{op} = H_s / (1.56 T_p^2)$

Brekerparameter: $\xi_{op} = \tan \alpha / \sqrt{s_{op}}$

Proef 4 had een te lage golfhoogte door fout in de stuurfile en is opnieuw als proef 4A uitgevoerd.

Proeven 7 en 8 zijn gestopt door afslaan van het golfschot; herstart voor de rest van de proeven: 7A en 8A.

Bij proef 18 is schade aan de golfhoogtemeters ontstaan door brekende golven in de goot.

Tabel 3a, Proevenprogramma basaltbekleding (Fase1)

serie	proef	H _s (m)	T _p (s)	waterdiepte (m)	Duur (u:min:sec)	s _{op} (-)	ξ _{op} (-)
4	20	0.70	5.82	4.69	1:25:20	0.013	2.48
	21	1.07	7.25	4.68	1:45:00	0.013	2.51
	22	1.18	7.50	4.84	1:48:00	0.013	2.47
	23	1.28	7.83	4.99	1:55:00	0.013	2.47
	24	1.37	8.08	5.10	1:59:00	0.013	2.46
	25	1.41	6.16	4.56	1:23:00	0.024	1.85
	26	1.57	6.70	4.74	1:29:10	0.022	1.91

Golfsteilheid: $s_{op} = H_s / (1.56 T_p^2)$

Brekerparameter: $\xi_{op} = \tan \alpha / \sqrt{s_{op}}$

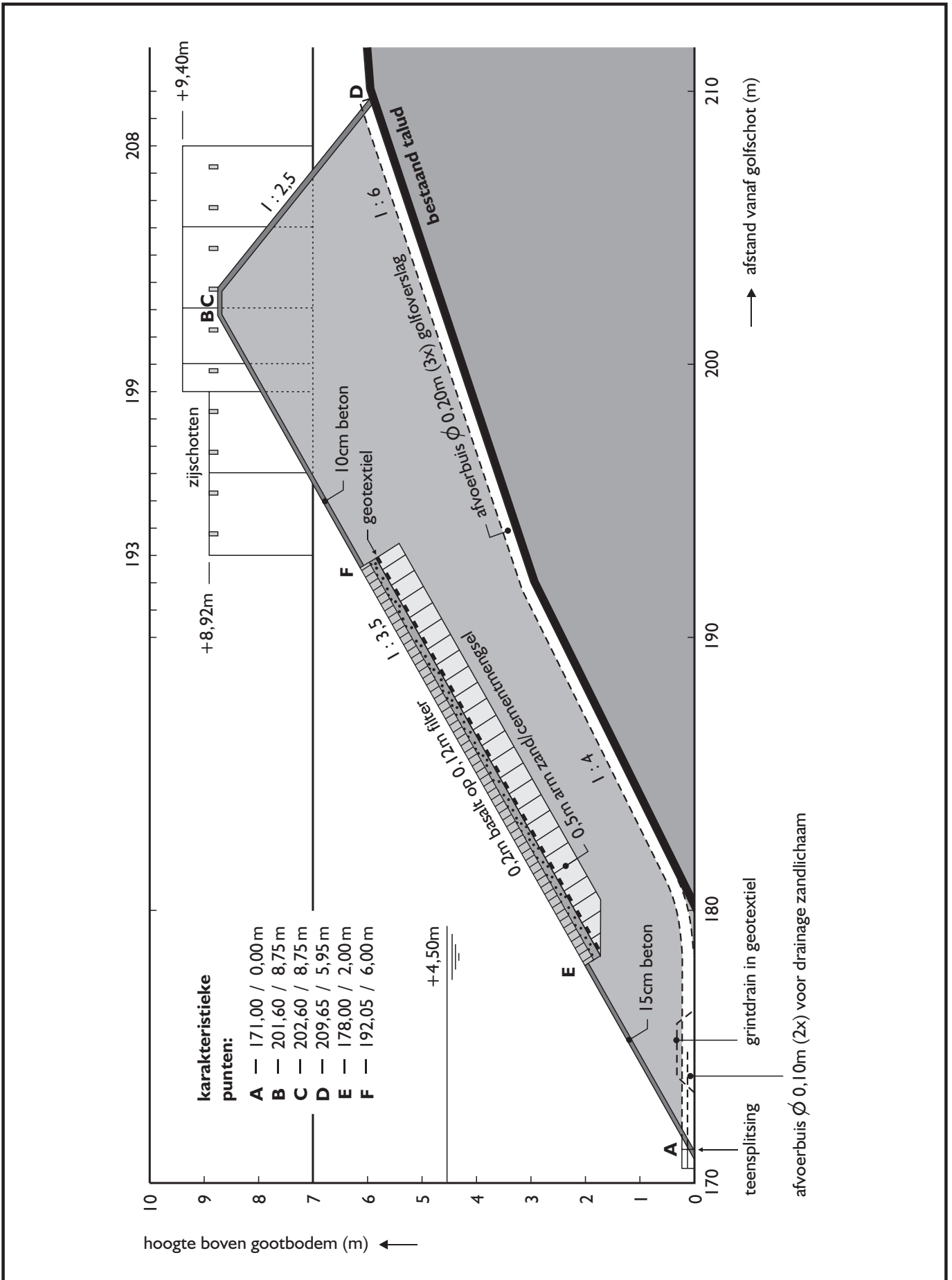
Tabel 3b, Proevenprogramma Basaltonbekleding (Fase2)

Proef	Opnemer	Opmerkingen
<u>Fase 1</u>		
P01	DRO31	Stuk na 42 minuten en 42 seconden
P02	DRO31	Stuk
	DRO14	Stuk na 27 minuten en 47 seconden
	DRO12	Stuk na 1 uur 6 minuten en 0 seconden
P03		Opnemers 12, 14 en 31 voor proef vervangen
	DRO16	Nul verlopen op 11 minuten en 26 seconden
P04	DRO16	Nul te hoog na begin proef, maar weer goed na 2 min en 45 sec
P04A	DRO34	Stuk na 42 minuten en 30 seconden
P05	DRO34	Stuk
	DRO16	Verlopen tijdens proef; signaal wel goed
P06	DRO34	Stuk
P07/7A	DRO34	Stuk
	DRO16	Verlopen tijdens proef; signaal wel goed
P08/8A	DRO34	Stuk
	DRO16	Verlopen tijdens proef; signaal wel goed
P13	DRO16	Verlopen tijdens proef; signaal wel goed
P14	DRO16	Na 38 min en 20 sec nul versprongen, daarna verloop naar nul
P15	DRO16	In begin nul goed/iets verlopen; na 29 min en 41 sec nul versprongen
P16		Alles goed
P17		Alles goed
P18		Alles goed

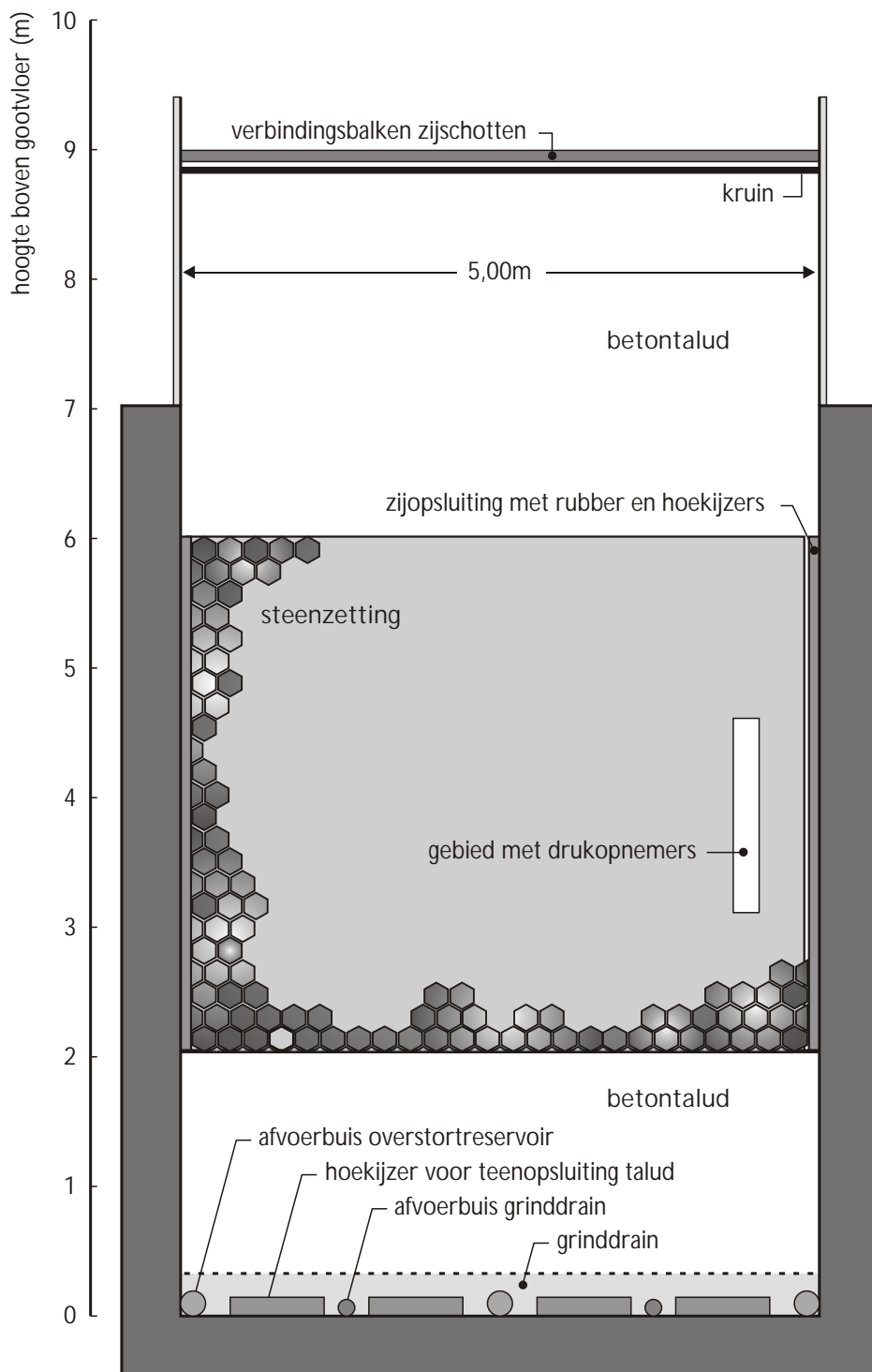
Tabel 4a Problemen met drukopnemers tijdens Fase 1 van het onderzoek

Proef	Opnemer	Opmerkingen
P20	DRO22	Na 3 minuten en 20 seconden nul versprongen. Soms goed, soms niet
P21	DRO22	Nul versprongen; signaal wel goed
P22	DRO19	Stuk na 1 uur en 21 minuten
	DRO24	Stuk na 10 minuten en 54 seconden
P23	DRO19	Stuk
	DRO24	eerste 45 minuten fout, daarna signaal goed met verlopende nul
	DRO34	Stuk na 34 minuten en 17 seconden
P24	DRO34	Stuk (stukjes met wel goed signaal)
	DRO20	Stuk na 1 uur en 20 minuten
P25	DRO23	Nul versprongen na 13 minuten en 30 seconden
	DRO24	Nul verschuift steeds; niet goed
P26	DRO26	Stuk na 13 minuten en 30 seconden
	DRO23	Stuk na 1 uur, 7 minuten en 45 seconden; nul verschuift steeds
	DRO24	Niet goed; nul verspringt steeds. Delen zijn uit te werken

Tabel 4b Problemen met drukopnemers tijdens Fase 2 van het onderzoek

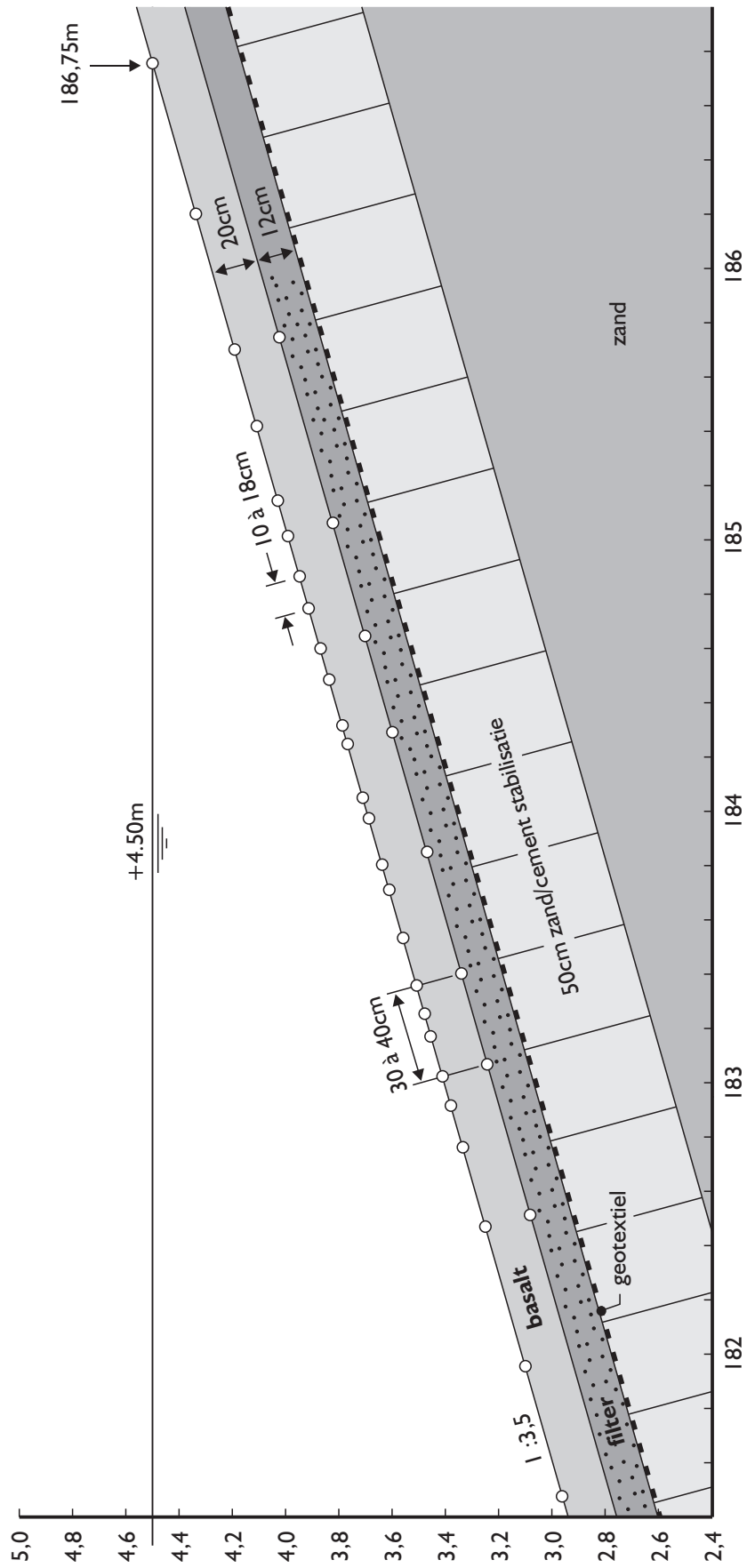


Dwarsdoorsnede		E030925c
	WL Delft Hydraulics	H4327



Voorraanzicht

E030925e



Positie drukdozen (34 stuks) in een lijn op 0,5 à 1m uit gootwand

E030925d



Dunne drainagepijpen en dikke overslagpijpen waarop zand in lagen wordt aangebracht en verdicht



Beton aanbrengen op onderste deel van het talud

Opbouw van het talud

WL | Delft Hydraulics

H4327

FIG. 4



Aanleg geotextiel en filter

WL | Delft Hydraulics

H4327

FIG. 5



Basalt zetten en montage drukopnemers



Geinstrumenteerde blokken met strips
en golf tijdens proef 2



Golf tijdens proef 5 en
talud na proef 5

WL | Delft Hydraulics

H4327

FIG. 8



Schade na proef 6

WL | Delft Hydraulics

H4327

FIG. 9



Schade na proef 8

WL | Delft Hydraulics

H4327

FIG. 10



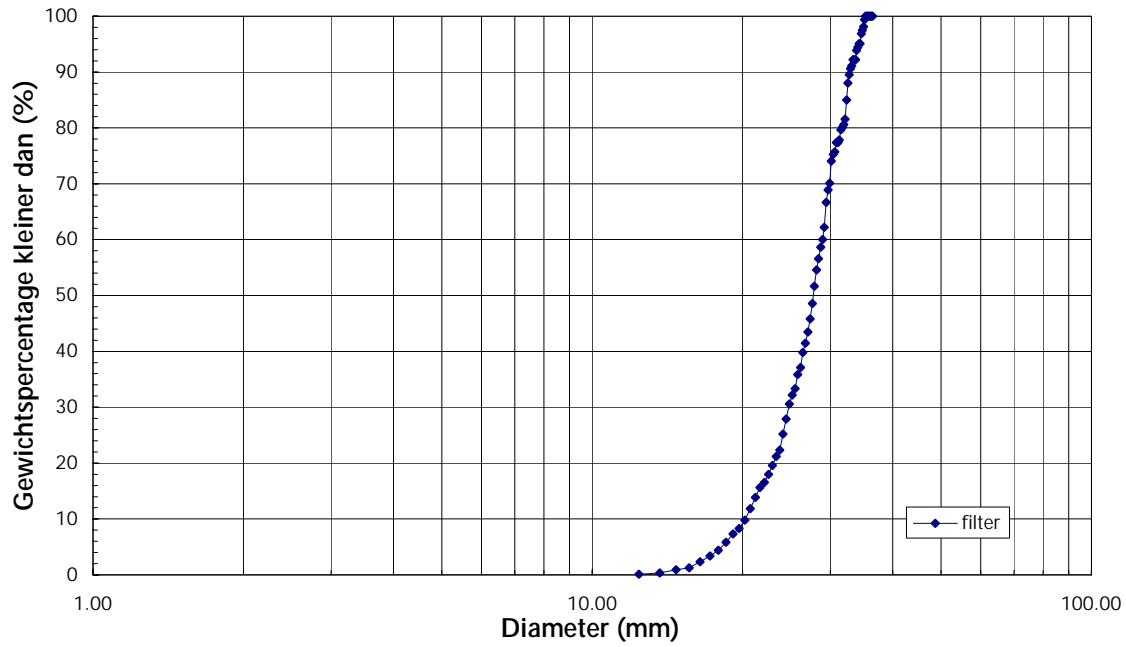
Indeuking rubber onderaan talud



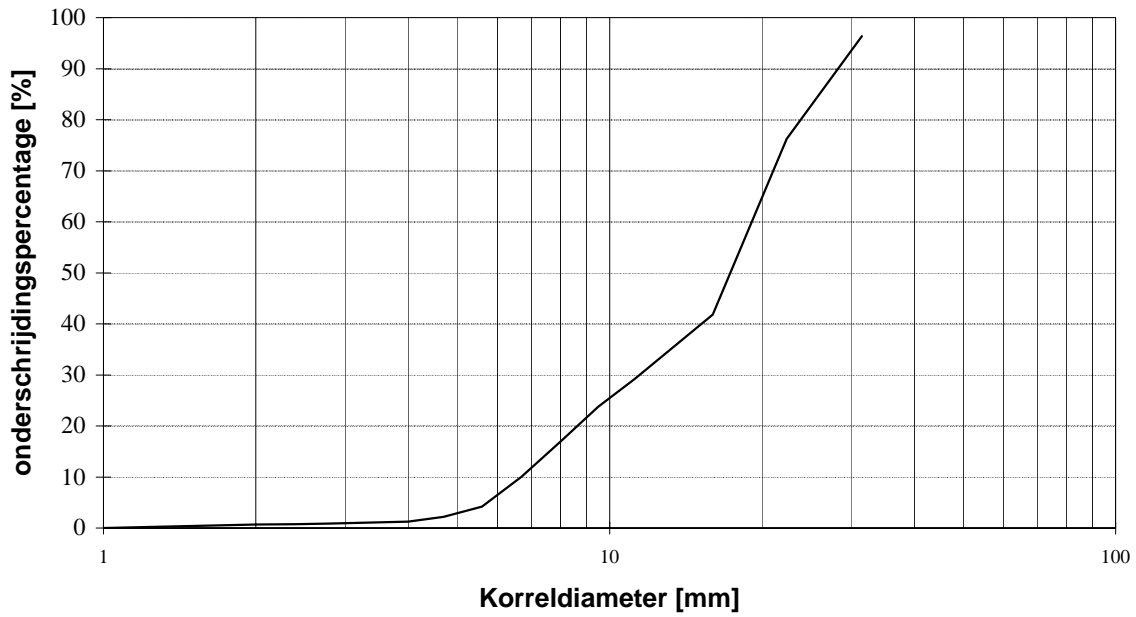
Indeuking rubber halverwege talud

Na proef 18		
WL Delft Hydraulics	H4327	FIG. 11

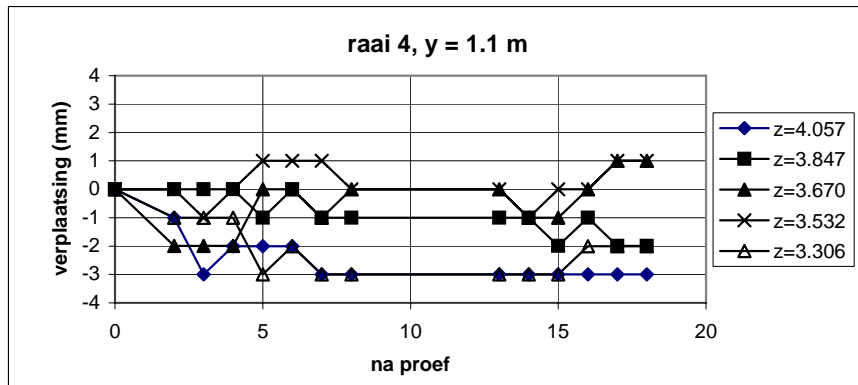
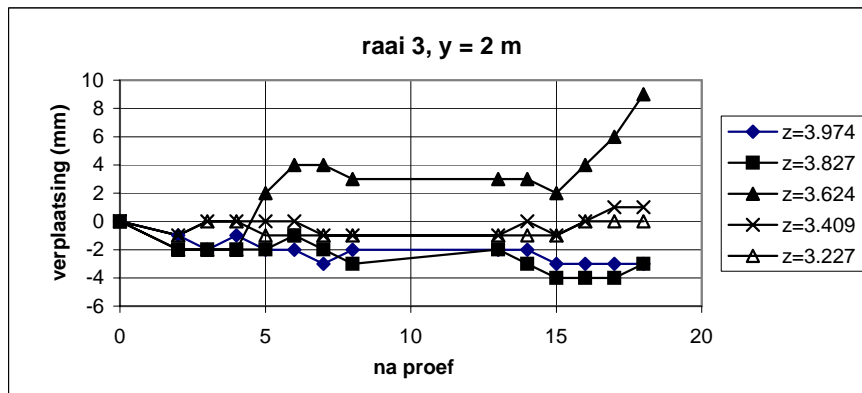
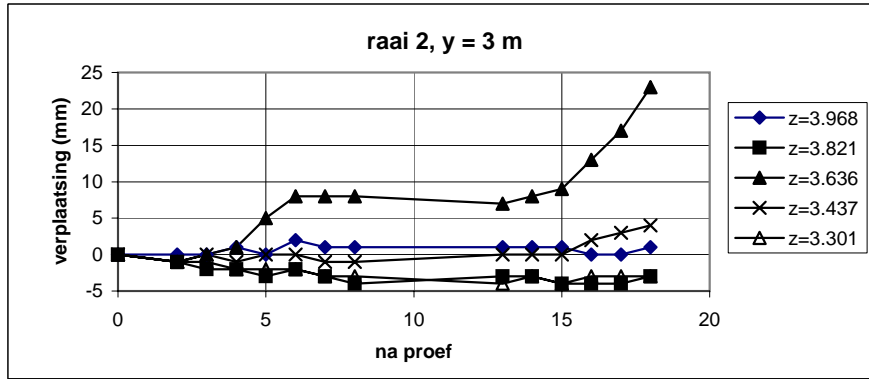
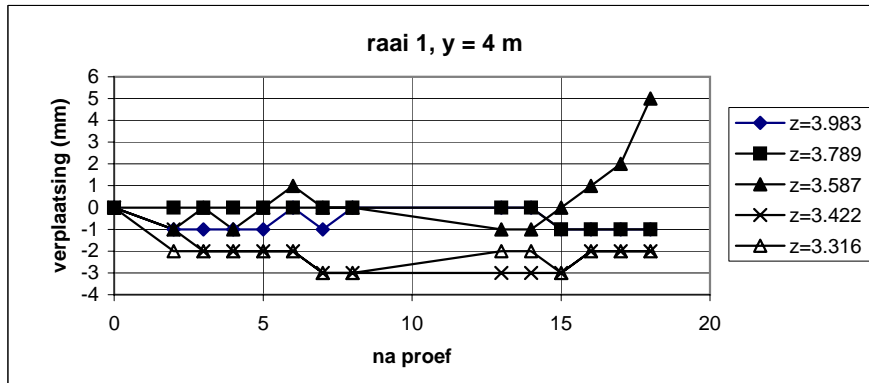
Zeefkromme van filter



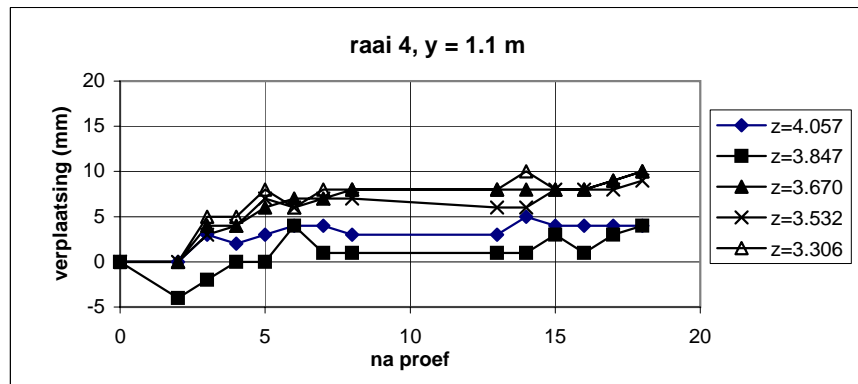
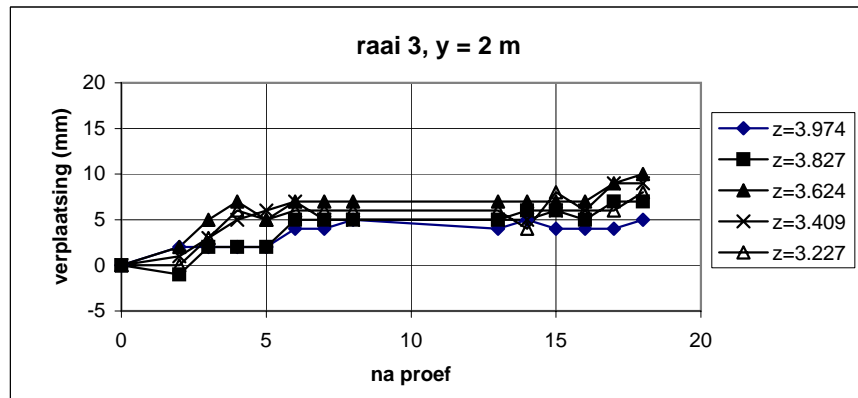
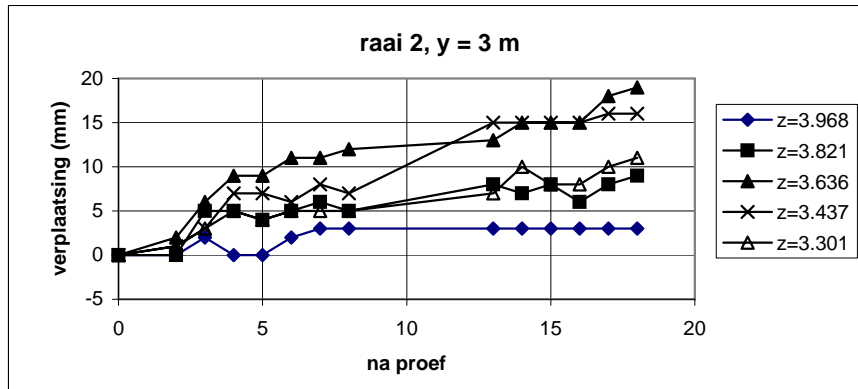
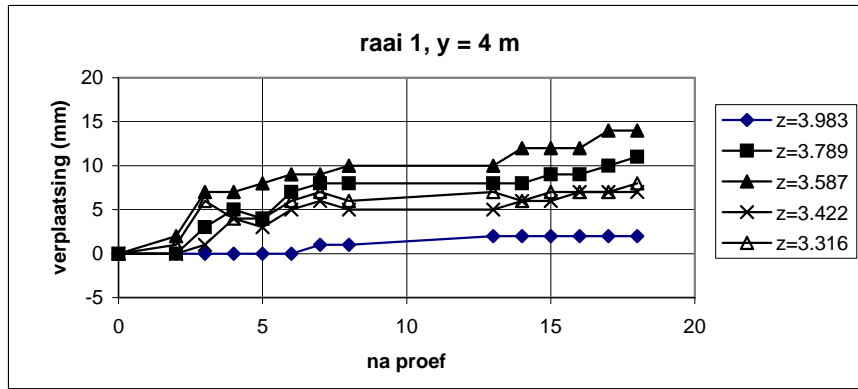
Zeefkromme van inwasmateriaal



Zeefkromme van filter en inwasmateriaal



Vervorming van taludoppervlak van Basalt



Afschuiving van basalt



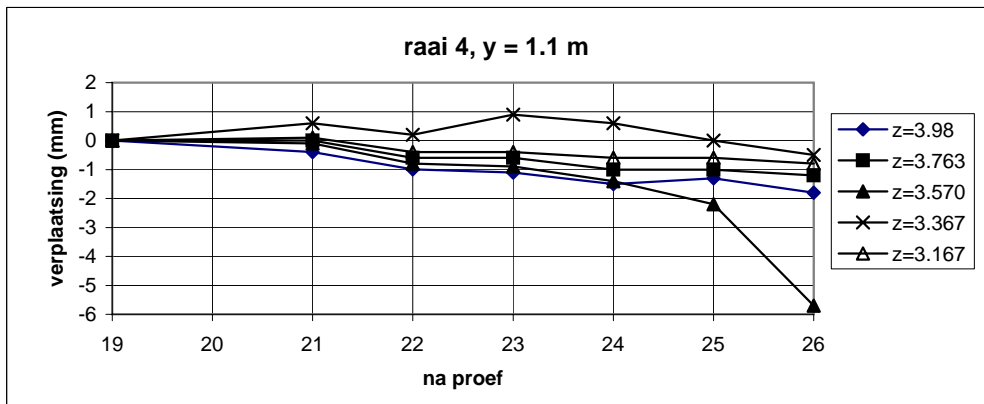
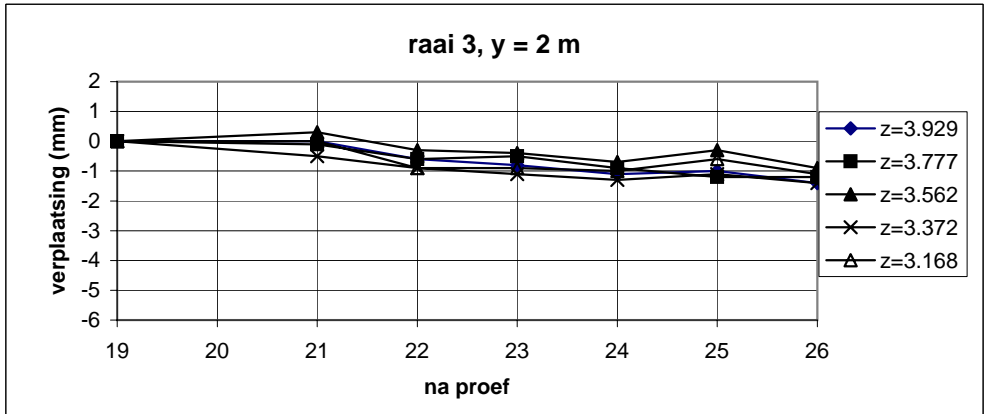
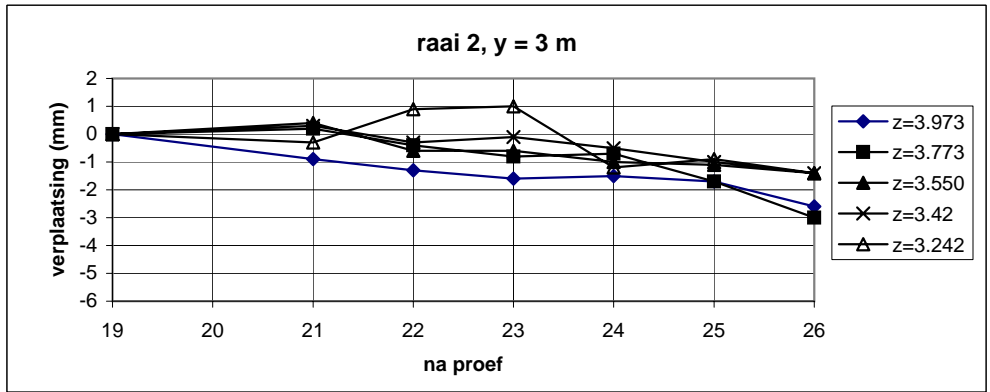
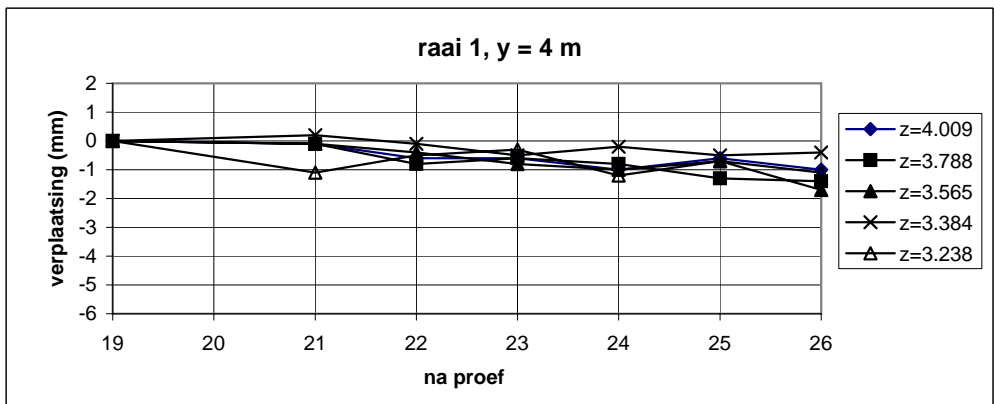
Bevestiging van drukopnemers
in Basalton



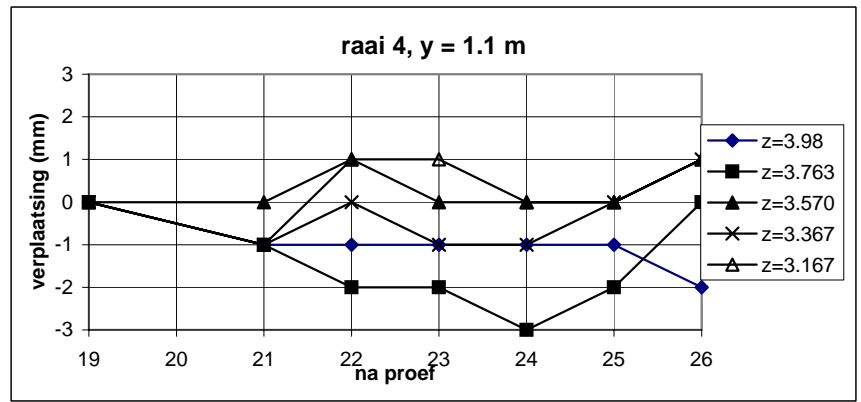
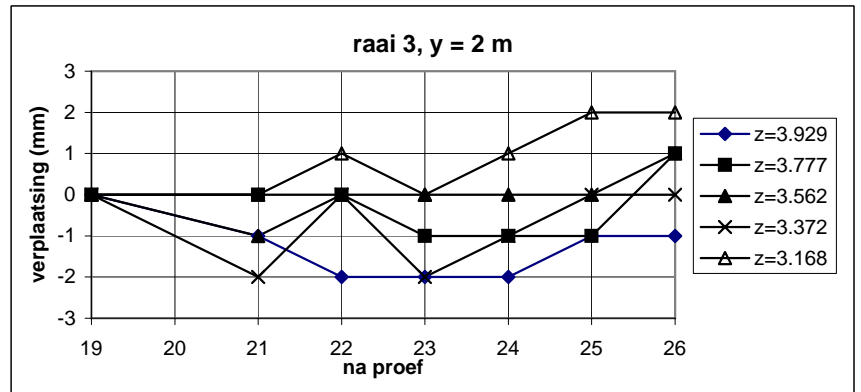
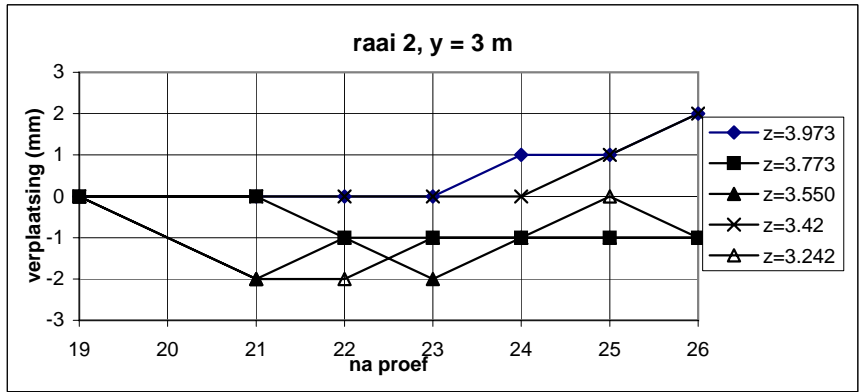
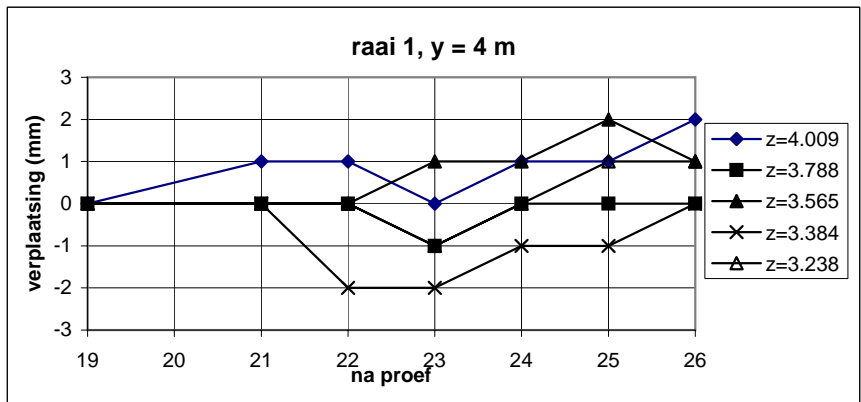
Basalton zetten en aantrillen



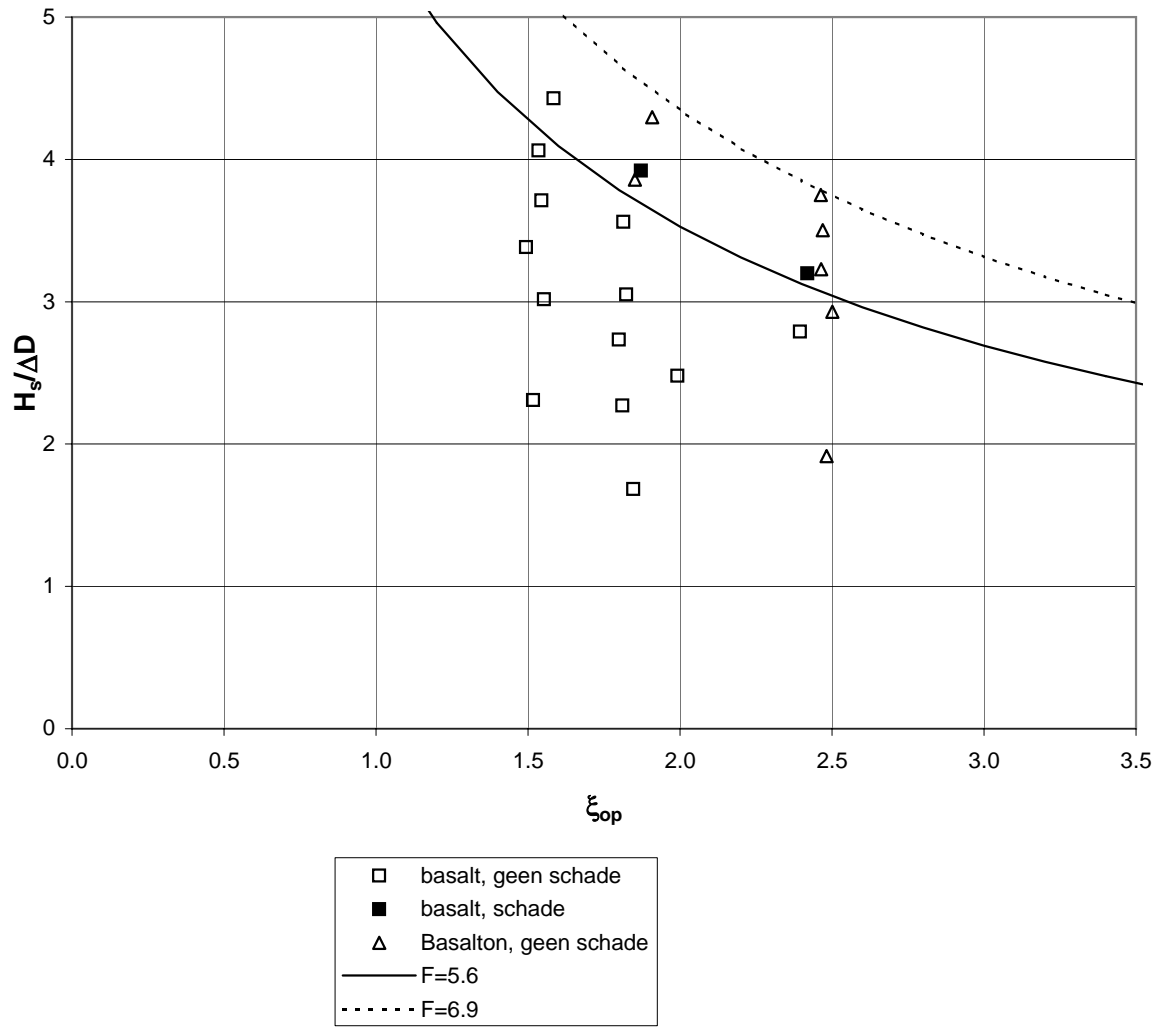
Drukopnemers in Basalton voor de proeven
en taludoppervlak na proef 25



Vervorming van taludoppervlak van Basalton

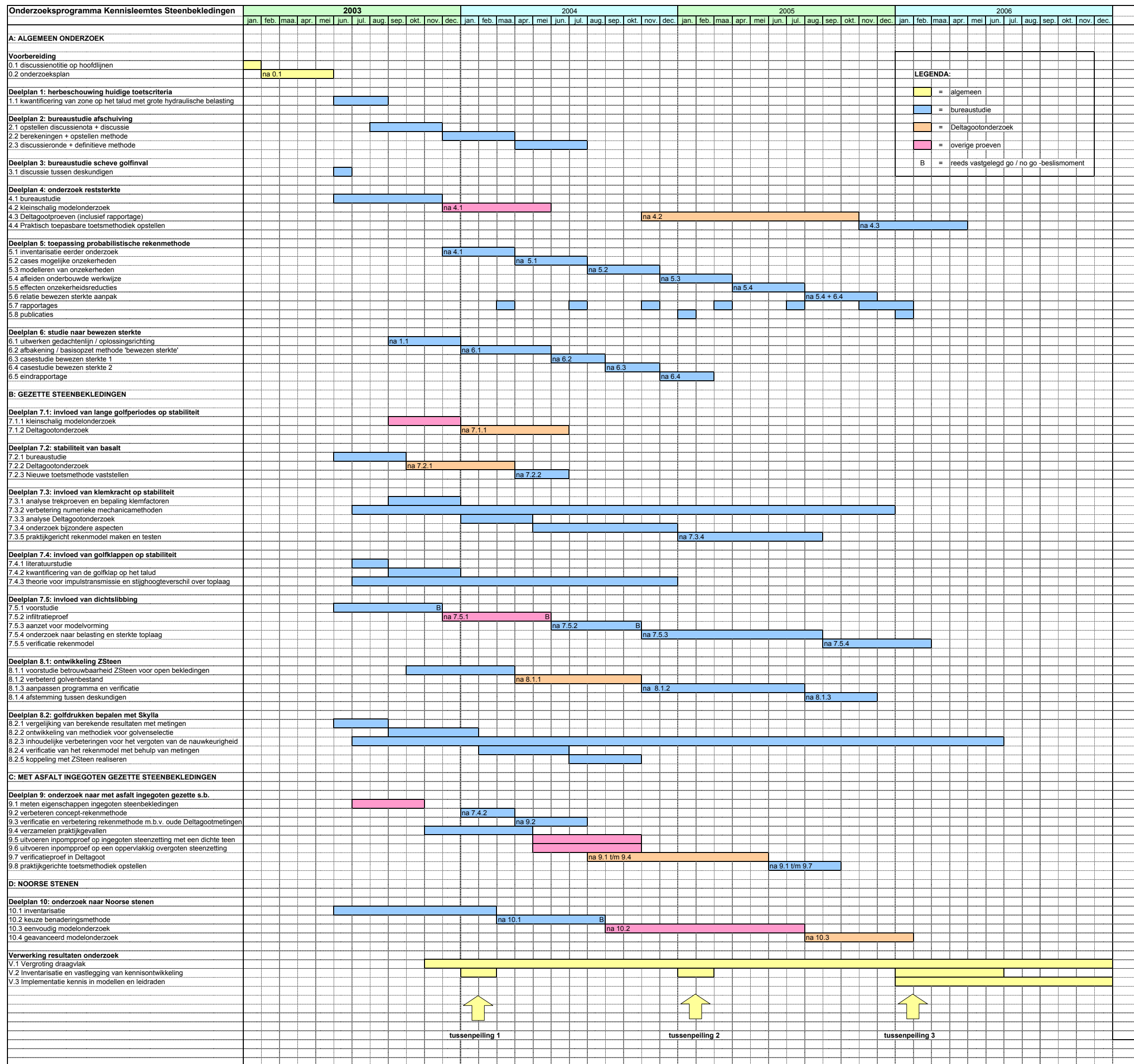


Afschuiving van Basalton



Proefresultaten		
WL Delft Hydraulics	H4327	FIG. 23

A Overzicht van het onderzoeksprogramma “kennisleemtes steenbekledingen”



LEGENDA:

- = algemeen
- = bureaustudie
- = Deltagootonderzoek
- = overige proeven
- B = reeds vastgelegd go / no go -beslismoment