

Oprachtgever

Rijkswaterstaat,  
Directie Zeeland (PBZ)



## Golfdrukken op talud ten gevolge van lange golven

Onderzoeksprogramma  
Kennisleemtes Steenbekledingen

rapport

december 2003

H4329

Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat  
Dienst Weg- en Waterbouwkunde



**wL | delft hydraulics**

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, Directie Zeeland (PBZ)

## Golfdrukken op talud ten gevolge van lange golven

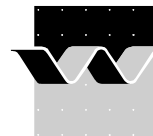
Onderzoeksprogramma:

Kennisleemtes steenbekledingen

C. Kuiper/ B. van Vossen

Rapport Fase 1 en Fase 2

december 2003



OPDRACHTGEVER:	RWS Directie Zeeland Project Bureau Zeeweringen							
TITEL:	Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen Golfdrukken op talud ten gevolge van lange golven rapport fase 1+ fase 2							
SAMENVATTING:	<p>Op veel plaatsen langs de Nederlandse kust zijn de golven onder maatgevende condities minder steil dan de golven waarop voorgaande steenzettingsonderzoeken zich richtten.</p> <p>Met het kleinschalig modelonderzoek beschreven in dit <i>meetrapport</i> zijn databestanden gegenereerd die gebruikt kunnen worden voor de toetsing van de stabiliteit van steenzettingen bij een golfaanval met relatief lange golven.</p> <p>De data is verkregen door uitvoering van 2 series van 15 modelproeven met minimaal 1000 golven (Pierson Moskowitz) op taludhellingen van 1:3 en 1:4 in de Scheldegoot van WL   Delft Hydraulics. Daarnaast zijn in dezelfde faciliteit 3 proeven uitgevoerd op het 1:4 talud met een dubbeltoppig golfspectrum. Gedurende deze proeven zijn de drukvariaties gemeten op 42 locaties op het talud, zodanig gekozen dat drukvariaties ten gevolge van golfterugtrekking en golfklappen zo goed mogelijk gemeten konden worden.</p> <p>De tweede fase van dit onderzoek (rapport : Golfdrukken op talud ten gevolge van lange golven) beschrijft de dataverwerking en gereedmaking van de golfbestanden voor gebruik in het computerprogramma ZSTEEN.</p>							
REFERENTIES:	contract : ZL-5755 Projectbegeleider DWW : R. 't Hart Projectbegeleider PBZ : Y. Provoost							
VER.	AUTEUR		DATUM	OPMERK.	REVIEW		GOEDKEURING	
1	C. Kuiper		25-11-2003	concept fase 2	M. Klein Breteler		W.M.K. Tilmans	
2	C. Kuiper/ B. van Vossen		01-12-2003	definitief fase 1 + fase 2	M.R.A. van Gent		W.M.K. Tilmans	
PROJECTNUMMER			H4329					
TREFWOORDEN:			steenzetting, golfaanval, dijken, zsteen					
AANTAL BLADZIJDEN								
VERTROUWELIJK			<input type="checkbox"/> JA, tot (datum)		<input type="checkbox"/> NEE			
STATUS:			<input type="checkbox"/> VOORLOPIG		<input type="checkbox"/> CONCEPT		<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF	

## Inhoud

### Lijst van Symbolen

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Achtergrond van het onderzoek .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Doel van het onderzoek .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Fysisch-model proeven .....</b>	<b>5</b>
4.1	De Scheldegoet en golfopwekking .....	5
4.2	Modelopzet .....	5
4.3	Bemonsteringsfrequentie .....	8
4.4	Testprogramma .....	8
<b>5</b>	<b>Resultaten .....</b>	<b>11</b>
5.1	Meetsignalen.....	11
5.2	Zerolevel .....	11
5.3	Beschrijving databestanden .....	12
5.4	Aanmaken databestanden .....	12
5.4.1	GEF-header .....	12
5.4.2	Kunstmatige golfoploop .....	12
5.4.3	Databestand 1.....	12
5.4.4	Databestand 3.....	13

### Referenties

### Appendices

#### A Tabellen

#### B Figuren

#### C Overzicht van het onderzoeksprogramma “kennisleemtes steenbekledingen”

## Lijst van Symbolen

<b>Symbol</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Betekenis</b>
$d_k$	$m$	diepte op het talud, t.o.v. de stilwaterlijn, waar het hart van de golfklap neerkomt in regelmatige golven
$g$	$m/s^2$	gravitatie versnelling
$h$	$m$	waterstand ten opzichte van de gootbodem
$H_{1/3}$	$m$	significante golfhoogte, gedefinieerd als het gemiddelde van hoogste 1/3-deel
$H_s$	$m$	significante golfhoogte bij de teen van het talud
$H_{m0}$	$m$	significante golfhoogte op basis van golfenergie
$L_{op}$	$m$	golflengte, omgerekend naar diep water
$N$	-	aantal golven in de proef
$s_{op}$	-	golfsteilheid
$t$	$s$	tijd vanaf het moment dat het oploofront langs SWL komt
$t_m$	$s$	tijdsduur van de golfop- of neerloop, gerekend vanaf het moment dat het oploofront langs de SWL komt ( $t_m \approx 1/3 T_p$ )
$T_m$	$s$	gemiddelde golfperiode
$T_{m-1..0}$	$s$	spectrale golfperiode
$T_p$	$s$	golfperiode bij de piek van het spectrum
$T_{pD}$	$s$	golfperiode bij de piek van het spectrum
$X=0$	$m$	coördinaat langs de goot t.o.v de teen van de constructie
$+X$	$m$	coördinaat langs de goot t.o.v het golfschot
$Y$	$m$	coördinaat dwars op de goot t.o.v de gootwand
$Z$	$m$	coördinaat loodrecht op de gootbodem t.o.v de gootbodem
$\alpha$	-	hoek die het talud maakt met de gootbodem
$\phi$	$m$	stijghoogte
$\phi_{min}$	$m$	minimale stijghoogte
$\phi_{max}$	$m$	maximale stijghoogte
$\gamma_{\phi min}$	-	Invloedsfactor in verband met berm en voorland
$\theta_x$	-	helling van het stijghoogtefront
$\xi_{op}$	-	brekerparameter gebaseerd op $L_{op}$ en $H_{m0}$

# 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 7.1.1, Invloed van lange golfperiodes op stabiliteit, kleinschalig modelonderzoek”.

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

Met een brief (PZDT-B-03217 d.d. 26-09-2003) heeft Rijkswaterstaat, Directie Zeeland WL | Delft Hydraulics gevraagd een offerte in te dienen voor uitvoering van een aantal taken in het kader van dit onderzoeksprogramma. Op 10 Oktober 2003 kreeg WL | Delft Hydraulics opdracht (contract ZL-5755) de volgende vijf deelonderzoeken uit te voeren:

- A. Golfaanval met grote golfperiode;
- B. Stabiliteit van basalt;
- C. Golfklappen;
- D. Invloed van scheve golfaanval;
- E. Verificatie van ZSTEEN.

Dit rapport beschrijft de resultaten van onderdeel A van het onderzoek: Golfaanval met grote golfperiode. Dit onderzoek bestaat uit 2 fasen :

- 1) Modelproeven;
- 2) Dataverwerking.

Dit rapport beschrijft Fase 1 en Fase 2 van het onderzoek. Hoofdstuk 2 behandelt de technische achtergrond en relevantie van het onderzoek. Hoofdstuk 3 beschrijft het onderzoeksdoel. Hoofdstuk 4 behandelt de modelopzet in de Scheldegoot, de instrumentatie en het testprogramma. In Hoofdstuk 5 worden de resultaten beschreven en een korte beschrijving gegeven van de dataverwerking. Bij dit rapport behoort een CD-rom waarop de databestanden zijn bijgeleverd.

## 2 Achtergrond van het onderzoek

Het steenzettingenonderzoek is tot nu toe vooral gericht geweest op de stabiliteit tijdens een golfaanval met relatief steile golven, namelijk  $0.02 < H_s/L_{op} < 0.05$ . Een dergelijke golfaanval op de meest gebruikelijke taludhellingen in Nederland levert een brekerparameter op van  $1 < \xi_{op} < 2.5$ , met:

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_s / L_{op}}} = \text{brekerparameter (-)}$$

$\tan \alpha$  : taludhelling, in Nederland doorgaans 1:3 à 1:4 (-)

$H_s$  : significante golfhoogte bij de teen van het talud (m)

$L_{op}$  :  $gT_p^2/(2\pi) =$  golflengte, omgerekend naar diep water (m)

$T_p$  : golfperiode bij de piek van het spectrum (s)

Er zijn echter vele locaties langs de Nederlandse kust waar onder maatgevende condities de golven veel minder steil zijn (van Hijum, 2001). De brekerparameter van de golven kan waarden aannemen tot ongeveer 5 met uitschieters tot 7. Dit speelt vooral langs de Waddenzeekust van Friesland en Groningen.

De huidige toetsingsgereedschappen voor stabiliteit van steenzettingen zijn ANAMOS en ZSTEEN. ANAMOS is gebaseerd op empirische formules die zijn opgesteld aan de hand van profresultaten met regelmatige golven. Het is vooral gericht op de steenzettingen met een relatief lage toplaag-doorlatendheid. Het toepassingsgebied van de formules is niet begrensd, waardoor ANAMOS ook bruikbaar is voor condities met een grote brekerparameter. Het valt dan echter op dat de stabiliteit bij toenemende brekerparameter steeds verder afneemt. Zeker voor de meer open toplagen, zoals basalt of Doornikse bloksteen, is het zeer te betwijfelen of dit juist is.

ZSTEEN is een programma dat beter toepasbaar is op steenzettingen met een meer open toplaag. Het programma maakt gebruik van gemeten drukken op het talud. Dergelijke drukbestanden zijn echter vooral beschikbaar in de range van  $1 < \xi_{op} < 2.5$ , nauwelijks in de range van  $2.5 < \xi_{op} < 3.5$ , en niet beschikbaar voor  $\xi_{op} > 3.5$  (Kuiper, 2000).

Daarnaast is voor een aantal typen steenzettingen de stabiliteit bepaald met behulp van modelonderzoek (golfhoogte bij bezwijken). Al deze proeven, waarbij er met onregelmatige golven is gewerkt, zijn echter uitgevoerd in de range van  $1 < \xi_{op} < 2.3$  (Klein Breteler en Kuiper, 2000).

Hieruit kan geconcludeerd worden dat er erg weinig bekend is over de stabiliteit van steenzettingen bij een golfaanval met  $\xi_{op} > 2.5$  à 3.5.

Vanuit theoretisch oogpunt is het te verwachten dat de aard van de belasting bij het groter worden van de brekerparameter gaat veranderen: bij kleine waarden van  $\xi_{op}$  zijn er zware golfklappen te verwachten, die in de range van  $2 < \xi_{op} < 3$  sterk gaan afnemen, en zelfs vrijwel afwezig zijn bij zeer grote waarden van  $\xi_{op}$ . Het is daarom te verwachten dat er een

minimale stabiliteit is bij  $1.5 < \xi_{op} < 2.5$ , en een grotere stabiliteit bij zeer kleine waarden van  $\xi_{op}$ , maar ook bij grote waarden van  $\xi_{op}$ .



### 3 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is databestanden te genereren die gebruikt kunnen worden in het computerprogramma ZSTEEN voor toetsing van de stabiliteit van steenzettingen bij een golfaanval met  $\xi_{op} > 2.5$  à 3.5. De data is verkregen door middel van kleinschalig modelonderzoek in de Scheldegoot van WL | Delft Hydraulics, waarin series testen zijn uitgevoerd met taludhellingen van 1:3 en 1:4.

## 4 Fysisch-model proeven

### 4.1 De Scheldegoot en golfopwekking

De fysisch-model proeven zijn uitgevoerd in de Scheldegoot van WL | Delft Hydraulics. Deze golfgoot heeft een lengte van 55 m, een breedte van 1 m, en een hoogte van 1.2 m. De faciliteit is voorzien van een golfschot voor het opwekken van regelmatige (monochromatische) en onregelmatige (random) golven. De proeven zijn uitgevoerd met gebruikmaking van een tweede-orde methode voor golfopwekking. Dat wil zeggen dat in de sturing van het golfschot de tweede-orde effecten van de eerste hogere en eerste lagere harmonische componenten van het golfveld zijn verdisconteerd. Toepassing van tweede-orde sturing is vooral van belang voor relatief steile golven tot een golfsteilheid van  $s_{op} = 9.3 \cdot 10^{-3}$ , bij golfhoogten van  $H_s = 0.2$  m. Desalniettemin is bij alle proeven tweede-orde sturing gebruikt. De basis van dit golfopwekkingssysteem is beschreven in Klopman en Van Leeuwen (1990), Van Leeuwen en Klopman (1996), en Van Dongeren e.a. (2001). Daarnaast is de golfgenerator voorzien van een actief golfabsorptiesysteem om reflectie van golven op het golfschot te minimaliseren: het reflecteren van golven op het golfschot wordt voorkomen door naar het golfschot toelopende golven te meten en de beweging van het golfschot zodanig aan te passen dat aankomende golven geabsorbeerd worden.

### 4.2 Modelopzet

In de bovenbeschreven Scheldegoot is voor de proevenserie met het 1:3 talud een houten dijkmodel zonder bekleding gebouwd. De Figuren 1 en 2 tonen respectievelijk een langsdoorsnede en een dwarsdoorsnede van de proefopstelling. De houten constructie is inwendig verzwaaard met betonblokken (Figuur 3) en loopt vanaf de gootbodem tot een hoogte van 1.5 m boven de gootbodem. Om hinderlijke trillingen te voorkomen is de constructie zo stijf mogelijk gemaakt. Het taludoppervlak bestaat uit een 25 mm multiplex plaat met daarin geïntegreerd een 8.3 mm aluminium plaat met gaten voor de drukopnemers. Plaatselijk zijn de gootwanden verhoogd met behulp van zijschotten. De kruin van de dijk was zodanig hoog dat er weinig of geen overslag was.

In de aluminiumplaat op het talud zijn 42 drukopnemers gemonteerd (zie Figuur 4). De meeste drukopnemers zijn dicht bijeengeplaatst in het gebied waar de golven breken, en wel zodanig dat de voet van het brekerfront én de golfklap voldoende nauwkeurig gemeten kunnen worden.

Voor de plaatsing van de drukopnemers op het talud is eerst als uitgangspunt de beschikbaarheid van totaal 42 drukopnemers genomen. Vervolgens is rekening gehouden met het feit dat ZSTEEN, dat rekt op basis van deze gemeten drukken, alleen goed werkt als ook in de oplooptone drukregistraties beschikbaar zijn. Daarom zijn 2 drukopnemers boven de waterlijn geplaatst, waardoor er nog 40 beschikbaar zijn voor de zone waarin de golven breken (onder de waterlijn). Deze drukopnemers 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 dicht bij elkaar gezet. De locatie van de golfklap is gebaseerd op de volgende formule voor regelmatige golven (Coeveld 2003):

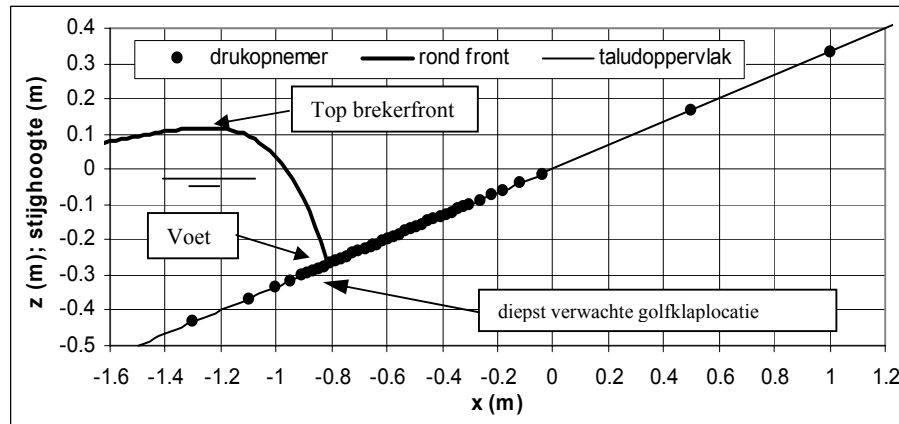
$$d_k/H_s = 0.3\xi_{op}^{1.25} \quad \text{mits } \xi_{op} < 3$$

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

Deze formule is gebruikt voor de extreme golven in het golfveld:  $H = 1.4H_s$ .

Uit berekeningen is gebleken dat voor  $H_s = 0.22$  m en  $T_p = 3.6$  s op een talud van 1:3 het brekerfront het diepste komt. Bij elke proef die wordt uitgevoerd met andere golfcondities wordt echter weer een andere locatie van de top van het brekerfront, de voet van het brekerfront en de locatie van de golfklap gevonden. Wel zal de afstand tussen de top van het brekerfront en de locatie van de golfklap in al deze proeven kleiner zijn. Daarom is op grond van bovenstaande condities de instrumentatie zo uitgelegd, dat bij alle uitgevoerde proeven het hele brekerproces met de drukopnemers geregistreerd kon worden. 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.



Locatie brekerfront en golfklap ten opzichte van drukopnemers op 1:3 talud

Een additioneel probleem in de voorbereidingen was dat de beschikbare formules niet geldig zijn voor grote waarden van de brekerparameter  $\xi_{op}$ . Om toch een schatting te krijgen van wat er te verwachten was, zijn de formules toch ook gebruikt voor  $\xi_{op} > 3$ . Steeds is bij de proeven visueel gecontroleerd of de golfklappen in het gebied van de instrumentatie plaatsvonden. Als dit niet het geval was, is de proef met een andere waterstand over gedaan.

Doorgaans bleek bij grote waarden van  $\xi_{op}$  het brekerproces verder onder water plaats te vinden, dan verwacht was op basis van de formules.

De gebruikte drukopnemers zijn niet allemaal van hetzelfde type vanwege beperkte beschikbaarheid, zie Tabel A1. In de opstelling zaten drie typen: Kulite, type HKM-134-374-1-BAR-VG (10 stuks), Druck type PDCR42 (21) en Druck PDCR10 (11), met een effectief meetoppervlak met een diameter van respectievelijk 4 mm, 4 mm en 6.5 mm. De meters hebben een bereik van -10V tot +10V, wat met de ingestelde 20 mbar/V overeenkomt met een bereik van -200mbar tot +200mbar t.o.v. de gemiddelde waterstand. De invloed van het gebruik van verschillende drukopnemers op het resultaat van de proeven wordt verwaarloosbaar klein ingeschat.

De constructie is gecontroleerd op stijfheid door middel van een Fourier analyse van meetdata, die verkregen zijn door bij vlakke waterstand (zonder golven) een klap te geven op de houten dekplaat van de constructie op een plaats boven een holte (niet direct ondersteunde plaats). Hiermee konden de eigentrillingen van de constructie gemeten worden. Dit leidde tot de conclusie dat de eigenfrequentie ongeveer 300 Hz was. Tijdens een testproef leek de constructie toch een ongewenste trilling van ca 30 Hz te maken. Deze ontstond bij ongeveer de helft van de golfklappen en duurde dan ongeveer 0.1 a 0.2 s. Daarom is het talud vervolgens extra verstijfd door het aanbrengen van dwarsbalken en dwarsplaten, die op hun beurt weer ondersteund werden door de betonblokken, zie Figuur 2 en 3. De verstijving had als resultaat dat de oscillaties met ca 30 Hz minder vaak en met een kleinere amplitude optraden. Het is opmerkelijk dat niet elke golfklap dergelijke oscillaties laat zien. Tevens zijn er oscillaties bij een veel hogere frequentie van ongeveer 200 à 400 Hz, maar die vallen buiten het interessegebied en kunnen eenvoudig weggefilterd worden. Het is denkbaar dat de oscillaties met ca 30 Hz een onderdeel vormen van het brekerproces. Ook in de Deltagoet zijn er aanwijzingen gevonden dat er oscillaties voorkomen, maar dan zelfs met een lagere frequentie van 10 à 30 Hz. Het schaalverschil tussen deze faciliteiten kan dit verschil in frequentie verklaren. Deze oscillaties zouden een gevolg kunnen zijn van drukgolven die ontstaan door het comprimeren en expanderen van de opgesloten lucht onder de brekertong. Het is niet waarschijnlijk dat het verband houdt met trillingen van de faciliteit, want de Deltagoet is vele malen stijver dan de Scheldegoet en zou dan dus juist een veel hogere frequentie moeten laten zien.

Voor het talud van 1:4 is daarop gekozen voor een betontalud, omdat dit zeer stijf is en eenvoudiger te maken dan een extra verstijfde houten constructie. Het 1:4 talud is met grind opgezet en met 3 à 4 centimeter cementmortel afgesmeerd (Figuur 2 en Figuur 5). De drukopnemers zijn geïntegreerd in dezelfde aluminiumplaat als gebruikt bij de proeven op het 1:3 talud. De aluminiumplaat is bevestigd op een houten skelet dat verankerd is in het grind en beton van het talud.

Ook de proefresultaten op dit betontalud laten soms oscillaties zien na een golfklap.

Naast de drukken zijn de golven gemeten, zowel ver van de constructie als vlak voor de constructie. Hiervoor is gebruik gemaakt van 2 sets van 3 golfhoogtemeters, waarbij de eerste set geplaatst is op ongeveer 12 m van het golfschot en de tweede set golfhoogtemeters geplaatst is op de teen van de constructie. De gemeten spectra van de inkomende en gereflecteerde golven is gescheiden, gebruikmakend van de theorie van Mansard en Funke (1980). Alle spectrale gemeten golfcondities zijn gebaseerd op de inkomende golven.

### 4.3 Bemonsteringsfrequentie

De bemonsteringsfrequentie tijdens de proeven is bepalend voor de mate van detail waarmee tijdelijke drukvariaties kunnen worden gemeten. Vooral golfklappen duren bijzonder kort. Hoewel de golfklappen op deze kleine schaal beïnvloed worden door ongewenste schaaleffecten, is de bemonsteringsfrequentie toch zo gekozen dat ook golfklappen tot in detail gemeten worden. Op kleine schaal is de piekdruk tijdens de golfklap te groot en is de golfklapduur te kort, maar er wordt aangenomen dat de totale impuls van een golfklap wel goed op schaal wordt weergegeven. Het is denkbaar dat die impuls belangrijk is voor de stabiliteit van steenzettingen.

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 400 Hz voor deze proeven ruim voldoende is.

Teneinde ‘aliasing’ te voorkomen is het noodzakelijk om te filteren met een laagdoorlaatfilter op een frequentie gelijk aan de helft van de bemonsteringsfrequentie. Dit is in dit geval 200 Hz. In het verleden werd hiervoor een analoog filter gebruikt dat tussen de drukopnemers en de computer was geschakeld. Een van de problemen daarbij is dat een dergelijk analoog filter niet alleen de hoge frequenties onderdrukt, maar ook een faseverschuiving geeft bij de lage frequenties. Naarmate er een hogere orde filter wordt gebruikt (met een steilere karakteristiek, waardoor het signaal boven de 200 Hz beter wordt gefilterd), wordt ook de ongewenste faseverschuiving groter.

Dit probleem is voor de huidige proeven aangepakt door een hoge bemonsteringsfrequentie te kiezen. De proeven zijn ongefilterd op 2 kHz bemonsterd. Deze ongefilterde signalen zijn opgeslagen voor toekomstig gebruik. Tevens zijn deze signalen digitaal bewerkt. Ten behoeve van het gebruik voor ZSTEEN zijn de signalen digitaal gefilterd met een lage orde filter, dat echter geen faseverschuiving geeft, op 50 Hz, en vervolgens is het signaal uitgedund tot 100 Hz. Met de huidige snelheid van PC's kan met een zo opgebouwd bestand een ZSTEEN berekening gemaakt worden zonder dat dit vervelend lang gaat duren. Mochten de computers in de nabije toekomst sneller worden, dan kan er eenvoudig vanuit het originele bestand een file worden aangemaakt met meetfrequentie van bijvoorbeeld 400 Hz.

### 4.4 Testprogramma

Met beide opstellingen (talud 1:3 en 1:4) is een serie van 15 testen uitgevoerd waarin de  $\xi_{op}$ -waarde (bepaald op basis van  $\tan \alpha \sqrt{(H_s / (g / (2\pi) T_p^2))}$ ) toeneemt van  $\xi_{op} = 2.5$  tot  $\xi_{op} = 7$ . De proeven zijn uitgevoerd met verschillende waterdiepten, om de zware golfklappen zo goed mogelijk te kunnen registreren in het gebied met de hoge dichtheid aan drukopnemers. Om schaaleffecten te minimaliseren is daarbij een zo groot mogelijke golfhoogte gebruikt. Per proef zijn in totaal minstens 1000 golven gegenereerd met een PIERSON MOSKOWITZ spectrum. De onderstaande tabellen tonen de gerealiseerde inkomende golfcondities nabij het golfschot, ver van de teen van de constructie van beide testseries.

	$h$ (m)	$H_{m0}$ (m)	$H_{1/3}$ (m)	$T_m$ (s)	$T_{pD}$ (s)	$T_{m-1,0}$ (s)	$N$ (-)	$\xi_{op}$ (-)
T301	0.75	0.216	0.211	2.016	2.815	2.579	1189	2.52
T302	0.75	0.220	0.212	2.138	3.080	2.832	1226	2.74
T303	0.75	0.221	0.216	2.317	3.416	3.029	1207	3.03
T304	0.80	0.220	0.215	2.396	3.542	3.202	1281	3.15
T305	0.80	0.197	0.193	2.467	3.565	3.240	1275	3.35
T306	0.75	0.171	0.168	2.445	3.573	3.224	1286	3.60
T307	0.80	0.173	0.168	2.600	3.805	3.395	1274	3.81
T308	0.80	0.173	0.169	2.727	3.999	3.569	1282	4.00
T309	0.75	0.147	0.144	2.699	3.995	3.500	1295	4.34
T310	0.75	0.148	0.144	2.642	4.052	3.615	1395	4.39
T311	0.75	0.120	0.117	2.740	4.004	3.525	1276	4.81
T312	0.75	0.121	0.122	2.957	4.297	3.767	1313	5.15
T313	0.75	0.095	0.093	2.979	4.080	3.741	1258	5.51
T314	0.75	0.096	0.095	3.106	4.601	3.921	1318	6.19
T315	0.75	0.098	0.098	3.276	5.293	4.139	1349	7.04

Tabel 1: Testprogramma met Pierson Moskowitz spectra op talud 1:3.

	$h$ (m)	$H_{m0}$ (m)	$H_{1/3}$ (m)	$T_m$ (s)	$T_{pD}$ (s)	$T_{m-1,0}$ (s)	$N$ (-)	$\xi_{op}$ (-)
T401	0.83	0.197	0.192	2.413	3.433	3.105	1242	2.42
T402	0.83	0.197	0.194	2.537	3.784	3.373	1291	2.66
T403	0.83	0.172	0.167	2.590	3.811	3.395	1280	2.87
T404	0.83	0.146	0.142	2.644	3.805	3.374	1253	3.11
T405	0.83	0.146	0.144	2.751	4.037	3.587	1307	3.30
T406	0.83	0.120	0.116	2.755	4.037	3.549	1269	3.64
T407	0.83	0.120	0.118	2.924	4.102	3.720	1281	3.70
T408	0.83	0.122	0.119	3.024	4.516	3.908	1321	4.04
T409	0.83	0.094	0.093	3.037	4.096	3.773	1234	4.17
T410	0.83	0.095	0.093	3.178	4.514	3.932	1257	4.57
T411	0.83	0.095	0.094	3.322	4.529	4.096	1263	4.59
T412	0.80	0.097	0.099	3.536	5.779	4.338	1302	5.80
T413	0.80	0.081	0.078	3.199	5.572	4.415	1458	6.12
T414	0.80	0.076	0.076	3.753	5.789	4.533	1362	6.56
T415	0.75	0.074	0.075	3.986	6.343	4.750	1283	7.28

Tabel 2: Testprogramma met Pierson Moskowitz spectra op talud 1:4.

In deze tabellen zijn de volgende symbolen gebruikt:

- $h$  : waterstand t.o.v. de gootbodem (m)
- $H_{m0}$  : significante golfhoogte op basis van golfenergie (m)
- $H_{1/3}$  : significante golfhoogte, gedefinieerd als het gemiddelde van hoogste 1/3-deel (m)
- $T_m$  : gemiddelde golfperiode (s)
- $T_{pD}$  : golfperiode bij de piek van het spectrum (s)
- $T_{m-1,0}$  : spectrale golfperiode (s)
- $N$  : aantal golven in de proef (-)
- $\xi_{op}$  : brekerparameter gebaseerd op  $L_{op}$  en  $H_{m0}$  (-)

Met een korte derde serie proeven zijn de drukvariaties op het 1:4 talud veroorzaakt door golven met een dubbeltoppig spectrum gemeten met instellingen als gegeven in Tabel 3.

	$h$ (m)	$H_{m0}$ (m)	$H_{1/3}$ (m)	$T_m$ (s)	$T_{pD}$ (s)	$T_{m-1,0}$ (s)	$N$ (-)	$\xi_{op}$ (-)
T501	0.74	0.142	0.133	1.369	3.028	1.856	1869	2.51
T502	0.74	0.147	0.137	1.645	4.193	2.333	2187	3.42
T503	0.77	0.157	0.145	1.857	3.048	2.790	2481	2.40

Tabel 3: Testprogramma met dubbeltoppige spectra op talud 1:4.

De  $\xi_{op}$ -waarden corresponderend met de proeven met dubbeltoppige spectra zijn minder representatief dan bij de proeven met de Pierson Moskowitz spectra. In de Figuren 6 t/m 8 zijn daarom de energiedichtheidsspectra en golfoverschrijdingskrommen gegeven zowel voor de locatie ver van de constructie als op de teen.

## 5 Resultaten

### 5.1 Meetsignalen

In de drukbestanden zijn de gemeten drukken van 42 drukopnemers opgenomen. De coördinaten van de drukopnemers zijn weergegeven in Tabel A1 in Bijlage A 'Tabellen'. Er zijn 30 proeven uitgevoerd met een PM-spectrum. Een drietal proeven zijn uitgevoerd met een dubbeltoppig TMA-spectrum. De gemeten golfcondities zijn weergegeven in Tabel 1, Tabel 2 en Tabel 3 voor respectievelijk de proeven met een 1:3 talud, een 1:4 talud en een 1:4 talud met een dubbeltoppig spectrum. De vermelde ksi-waarden zijn gebaseerd op diepwater condities ( $H_{m0}$  en  $T_{pd}$ ). De ksi-waarde van de dubbeltoppige proeven is bepaald op basis van de piekperiode waarbij de meeste energie zat ( $T_{pd}$  in de tabellen).

Bij de controle van de resultaten is aan het licht gekomen dat er na sommige golfklappen drukfluctuaties geregistreerd worden met een frequentie van ongeveer 30 Hz. Deze drukfluctuaties bleven aanwezig ondanks dat het talud na enkele testproeven aanzienlijk was verstijfd, en bovendien werden ze ook gemeten bij het 1:4 talud dat van zeer stijf beton was gemaakt. Daarom is het zeer onwaarschijnlijk dat deze verband houden met de stijfheid van het talud. Dergelijke drukfluctuaties zijn ook waargenomen in de Deltagoet met een steenzetting op prototypeschaal. Daarom wordt voorlopig aangenomen dat deze drukfluctuaties een onvermijdelijk onderdeel vormen van het brekerproces in een goet.

Tijdens alle proeven is de werking van de drukopnemers en golfhoogtemeters nauwkeurig gecontroleerd en er kan geconcludeerd worden dat alle proeven correct zijn uitgevoerd. Tijdens sommige proeven is gedurende enkele milliseconde de druk in een golfklap zo groot geweest dat het niet meer geregistreerd kon worden door de drukopnemer. Het maximale bereik van de drukopnemers was namelijk beperkt tot 2 m waterkolom (ca 20 à 40 m waterkolom op prototypeschaal!). Dit duurde echter zo kort, dat wanneer het signaal is gefilterd en uitgedund naar een voor ZSTEEN bruikbaar signaal, deze beperking geen invloed meer heeft.

### 5.2 Zerolevel

Voor elke meting zijn de instrumenten zo goed mogelijk op nul gezet. Om kleine variaties van de instrumenten uit te sluiten is net voor begin van elke meting een 0-meting gedaan. Gedurende 10 seconden is het signaal opgenomen zonder golven. Vervolgens is gelijk aansluitend de meting opgestart. Voor elk kanaal is het gemiddelde bepaald van de 0-meting en deze is als 'zerolevel' in de SEQ-file toegevoegd. Na de filtering die in de vorige paragraaf beschreven is, zijn alle drukopnemers omgezet naar ASCII (waarden in  $\text{kN/m}^2$ ) en is bij elk kanaal het 'zerolevel' bij de meetsignalen opgeteld.



## 5.3 Beschrijving databestanden

De gemeten drukregistraties zijn omgezet naar het GEF-formaat zodat deze ingelesen kunnen worden in het programma ZSTEEN. In dit hoofdstuk is in het kort de omzetting van de meetbestanden naar een GEF-formaat beschreven. De methode die in dit project gehanteerd is, is identiek aan de methode die in eerdere projecten is toegepast, waar drukbestanden voor ZSTEEN zijn aangemaakt. Er worden voor ZSTEEN databestanden in 3 formaten gedefinieerd (WL | Delft Hydraulics (2000a)):

- Databestand 1; volledig meetbestand met zowel de gemeten drukken op de bekleding als de gemeten drukken in het filter (wanneer aanwezig), eventueel aangevuld met een kunstmatig gegenereerde golfoploop, voorzien van een GEF-header.
- Databestand 2; volledig meetbestand met alleen de drukken op de bekleding, eventueel aangevuld met een kunstmatig gegenereerde golfoploop, voorzien van een GEF-header.
- Databestand 3; ingekorte meetfile met zowel de gemeten drukken op de bekleding als de gemeten drukken in het filter (wanneer aanwezig), eventueel aangevuld met een kunstmatig gegenereerde golfoploop, voorzien van een GEF-header.

Aangezien geen drukken in het filter zijn gemeten voor dit project zijn databestand 1 en databestand 2 gelijk aan elkaar. Daarom zijn voor dit project alleen databestand 1 en databestand 3 gegenereerd.

## 5.4 Aanmaken databestanden

### 5.4.1 GEF-header

Elk databestand is voorzien van een GEF-header. Deze standaard is beschreven in GeoDelft (2000). De coördinaten van de drukopnemers die is gebruikt voor de GEF-header is weergegeven in Tabel A1 in Appendix A 'Tabellen'.

### 5.4.2 Kunstmatige golfoploop

Aangezien voor alle geteste configuraties drukopnemers hoog op het talud aanwezig waren was het niet nodig om een kunstmatige golfoploop te genereren.

### 5.4.3 Databestand I

Databestand 1 bevat het volledige meetbestand van alle drukopnemers. Voordat het databestand wordt aangemaakt zijn alle tijdsignalen gecontroleerd met behulp van Delft AUKE-programma ANIMA. Hiermee is het mogelijk visueel te controleren of drukopnemers een gedeelte of de gehele proef zijn uitgevallen. Bij deze controle bleek dat alle drukopnemers tijdens alle proeven goed gewerkt hadden. Voor het aanmaken van Databestand 1 zijn de gemeten drukken in  $\text{kN/m}^2$  omgezet naar een drukhoogte op het talud in meter waterkolom (mWk). Vervolgens is de GEF-header toegevoegd aan de meetdata.

### 5.4.4 Databestand 3

Omdat in veel gevallen de meetbestanden en dus ook databestand 1 vele megabites besloegen is in WL | Delft Hydraulics (2000) een methode ontwikkeld, die ‘interessante golven’ selecteert. De basis voor dit bestand vormt Databestand 1. De selectie is gebaseerd op het feit dat het meest kritische punt van de stabiliteit van een steenzetting plaatsvindt net voor en tijdens een golfklap. De methodiek die gebruikt is voor het aanmaken van databestand 3 is dat juist deze momenten (‘interessante momenten’) geselecteerd worden. Hier volgt in het kort een beschrijving hoe deze interessante momenten geselecteerd zijn. De gebruikte parameters zijn grafisch weergegeven in Figuur 5.1.

De eerste selectie vindt plaats op basis van de minimale stijghoogte. Op elk tijdstip wordt het minimum bepaald van alle locaties. Dit minimum moet kleiner zijn dan de helft van de empirisch bepaalde theoretische stijghoogte wil het een ‘interessante golf’ zijn (Vergelijking 5.1). De theoretische stijghoogte die door 2% van de golven overschreden wordt, wordt berekend met Formule 5.2 (De Waal e.a. 1995).

De eerste selectie is gedaan op basis van:

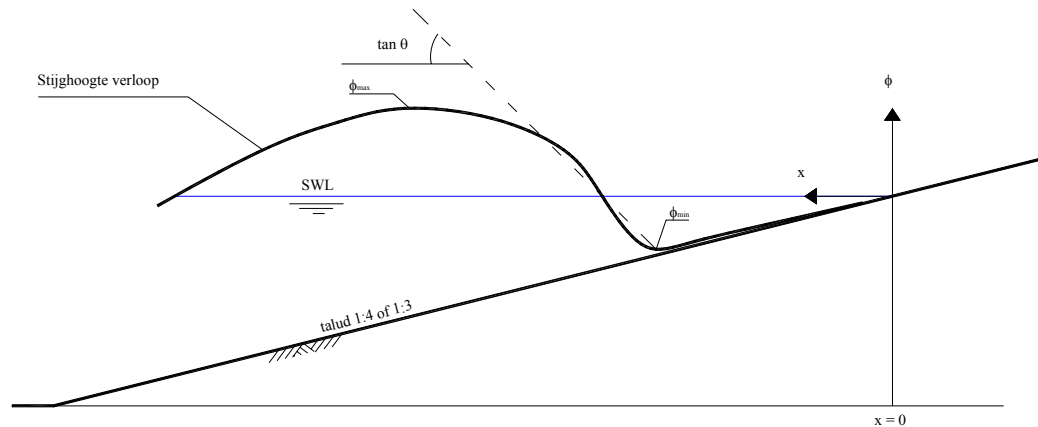
$$\phi_{\min} < 0.5\phi_{\text{theoretisch}} \quad (5.1)$$

waarin:

$$\frac{\phi_{\text{theoretisch}}}{H_s} = \max \left\{ -0.16 \gamma_{\phi_{\min}} \left( \frac{\xi_{op}}{\sqrt{\tan \alpha}} \right)^{1.25}; \frac{-2.5 \gamma_{\phi_{\min}}}{1 + 0.9 / \sqrt{\xi_{op}}} \right\} \quad (5.2)$$

- $\phi_{\min}$  : minimale stijghoogte op het talud [m]
- $\gamma_{\phi_{\min}}$  : invloedsfactor in verband met berm en voorland [-]
- $H_s$  : significante golfhoogte [m]
- $\alpha$  : taludhelling [°]
- $\xi_{op}$  : brekerparameter (-)  
=  $\tan \alpha / \sqrt{(H_s / L_{op})}$

Aan het eind van een ‘interessante golf’, dus wanneer  $\phi_{\min} \geq 0.5\phi_{\text{theoretisch}}$ , is een tijdsinterval van een  $T_p/2$  genomen, waarin verwacht wordt dat geen interessante momenten kunnen optreden. In die halve golfperiode is er sprake van golfoploop, in werkelijkheid eventueel voorafgegaan door een golfklap.



Figuur 5.1 Weergave van de parameters

Bij de geselecteerde ‘interessante golven’ is gecontroleerd of landwaarts van het minimum de stijghoogte niet te snel oploopt. Als grens wordt gesteld dat de gradiënt van de stijghoogte landwaarts van het minimum kleiner moet zijn dan 0.5 (Vergelijking 5.3). Wanneer de gradiënt groter wordt dan 0.5 wordt verondersteld dat op dat tijdstip een golfklap optreedt. Het kritieke moment voor de stabiliteit van een steenzetting is het moment juist voor en tijdens de golfklap. Daarom is gekozen om alleen die tijdstippen van een interessant stukje golf te kiezen juist voor en tijdens de golfklap en de momenten na de golfklap te laten vervallen.

De tweede selectie is derhalve:

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta x} < 0.5 \quad (5.3)$$

In het geval er op meerdere locaties dezelfde minimale stijghoogte optreedt is steeds gekozen voor het meest zeewaarts gelegen minimum.

In het tijdsinterval  $-T_p/10 < t_{min} < +T_p/10$  rond de minimale stijghoogte in de  $i^{de}$  golf wordt het maximum zeewaarts van het minimum geselecteerd. Op deze wijze wordt voor elke ‘interessante golf’ de fronthoogte bepaald ( $\phi_{max} - \phi_{min}$ ). Tenslotte wordt voor elke interessante golf de grootste fronthelling,  $\partial\phi / \partial x$  direct zeewaarts van het minimum bepaald. De fronthelling is gedefinieerd als de helling van de lijn vanaf het minimum ( $\phi_{min}$ ) tot het punt waar het stijghoogteverloop de stilwaterlijn snijdt. De bepaling van de grootste gradiënt wordt wederom gedaan in het tijdsinterval  $-T_p/10 < t_{min} < +T_p/10$  rond  $\phi_{min}$ . Ten tijde van de maximale fronthelling wordt tevens de fronthoogte bepaald door het bepalen van het verschil tussen  $\phi_{min}$  en  $\phi_{max}$ .

Een maatgevend moment in de resultaten is het moment waarop in de  $i^{de}$  golf  $\phi_{min}$ ,  $\phi_b$  of  $\tan \theta$  optreedt. Wanneer over interessante momenten wordt gesproken, is dit wanneer de stijghoogte in de  $i^{de}$  golf kleiner is dan  $1/2\phi_{theoretisch}$  en de toename van het stijghoogte verloop landwaarts van het minimum kleiner is dan 0.5. Een interessant moment is dus een moment waarop aan de eerste twee selectie criteria wordt voldaan.

Vervolgens zijn alle interessante momenten aan elkaar geknoopt. ZSTEEN vraagt om een continu tijdsignaal. Daarom zijn de oorspronkelijke tijdstippen weggehaald en is na het aan elkaar knopen van de interessante momenten een continu tijdsignaal toegevoegd met een stapgrootte die overeenkomt met de oorspronkelijke frequentie uit de ASCII-file (100 Hz in dit geval).

## Referenties

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

GeoDelft, (2000); 'Projectstandaard GEF-ZSTEEN-Report', GeoDelft, verslag CO-388501 versie 5, 5 juni 2000

Hijum, E. van (2001), *Voorstudie lange T*, Infram, verslag i454, november 2001.

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

Klein Breteler, M., en C. Kuiper (2000), *Blackbox model voor stabiliteit van steenzettingen*, WL / Delft Hydraulics, conceptverslag H3272, juli 2000.

Klopman, G. and P.J. van Leeuwen (1990), *An efficient method for the reproduction of nonlinear random waves*, ASCE, Proc. ICCE'90, Vol.1, pp.478-488, Delft.

Kuiper, C. (2000), *Databestand ZSTEEN*, WL / Delft Hydraulics, verslag H3753, november 2000.

Mansard, E. and E. Funke (1980), *The measurement of incident and reflected spectra using a least-square method*, ASCE proc pp.154-172, ICCE'80, Sydney.

Van Dongeren, A., G. Klopman, A. Reniers and H. Petit (2001), High-quality laboratory wave generation for flumes and basins, ASCE, Waves 2001 Conference, San Francisco.

Van Leeuwen, P.J. and G. Klopman (1996), *A new method for the generation of second-order random waves*, Ocean Engineering, Elsevier, Vol. 23, No.2, pp.167-192.

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

WL | Delft Hydraulics (2000), 'Bruikbaarheid Odiflocs voor het aanmaken van drukkbestanden voor ZSTEEN'  
WL| Delft Hydraulics rapport H3654, Maart 2000

WL | Delft Hydraulics (2000a), 'Plan voor databestand ZSTEEN', projectcode H3725, 17 mei 2000

## **A Tabellen**

## A.1 Drukopnemers proeven talud 1:3

TALUD 1:3						
NR	Type	+X (m)	Y (m)	Z (m)	langs talud (m)	X=0 (m)
DR01	Kulite	38.390	0.50	0.317	1.001	0.950
DR02	Kulite	38.590	0.50	0.383	1.212	1.150
DR03	Kulite	38.690	0.50	0.417	1.318	1.250
DR04	Kulite	38.740	0.50	0.433	1.370	1.300
DR05	PDCR42	38.780	0.49	0.447	1.412	1.340
DR06	PDCR42	38.801	0.51	0.454	1.435	1.361
DR07	PDCR42	38.822	0.49	0.461	1.457	1.382
DR08	PDCR42	38.843	0.51	0.468	1.479	1.403
DR09	PDCR42	38.864	0.49	0.475	1.501	1.424
DR10	PDCR42	38.885	0.51	0.482	1.523	1.445
DR11	PDCR42	38.906	0.49	0.489	1.545	1.466
DR12	PDCR42	38.927	0.51	0.496	1.567	1.487
DR13	PDCR42	38.948	0.49	0.503	1.590	1.508
DR14	PDCR42	38.969	0.51	0.510	1.612	1.529
DR15	PDCR42	38.990	0.49	0.517	1.634	1.550
DR16	PDCR42	39.011	0.51	0.524	1.656	1.571
DR17	PDCR42	39.032	0.48	0.531	1.678	1.592
DR18	PDCR42	39.042	0.50	0.534	1.689	1.602
DR19	PDCR42	39.052	0.52	0.537	1.699	1.612
DR20	PDCR42	39.073	0.49	0.544	1.721	1.633
DR21	PDCR42	39.094	0.51	0.551	1.743	1.654
DR22	PDCR42	39.115	0.49	0.558	1.766	1.675
DR23	PDCR10	39.136	0.51	0.565	1.788	1.696
DR24	PDCR42	39.157	0.49	0.572	1.810	1.717
DR25	PDCR10	39.178	0.51	0.579	1.832	1.738
DR26	PDCR42	39.199	0.49	0.586	1.854	1.759
DR27	PDCR10	39.220	0.51	0.593	1.876	1.780
DR28	PDCR42	39.241	0.49	0.600	1.898	1.801
DR29	PDCR10	39.262	0.51	0.607	1.921	1.822
DR30	Kulite	39.283	0.49	0.614	1.943	1.843
DR31	Kulite	39.304	0.51	0.621	1.965	1.864
DR32	Kulite	39.325	0.49	0.628	1.987	1.885
DR33	Kulite	39.346	0.51	0.635	2.009	1.906
DR34	Kulite	39.367	0.49	0.642	2.031	1.927
DR35	Kulite	39.388	0.51	0.649	2.053	1.948
DR36	PDCR10	39.428	0.50	0.663	2.096	1.988
DR37	PDCR10	39.468	0.50	0.676	2.138	2.028
DR38	PDCR10	39.508	0.50	0.689	2.180	2.068
DR39	PDCR10	39.570	0.50	0.710	2.245	2.130
DR40	PDCR10	39.650	0.50	0.737	2.330	2.210
DR41	PDCR10	40.190	0.50	0.917	2.899	2.750
DR42	PDCR10	40.690	0.50	1.083	3.426	3.250

**Tabel A1** : Talud 1:4 : Typen en coördinaten t.o.v. golfschot (x-coördinaat langs goot, y dwars, z in hoogterichting) van drukopnemers genummerd als in Fig.4. Coördinaten in laatste twee kolommen zijn gemeten vanaf de teen v/d constructie .

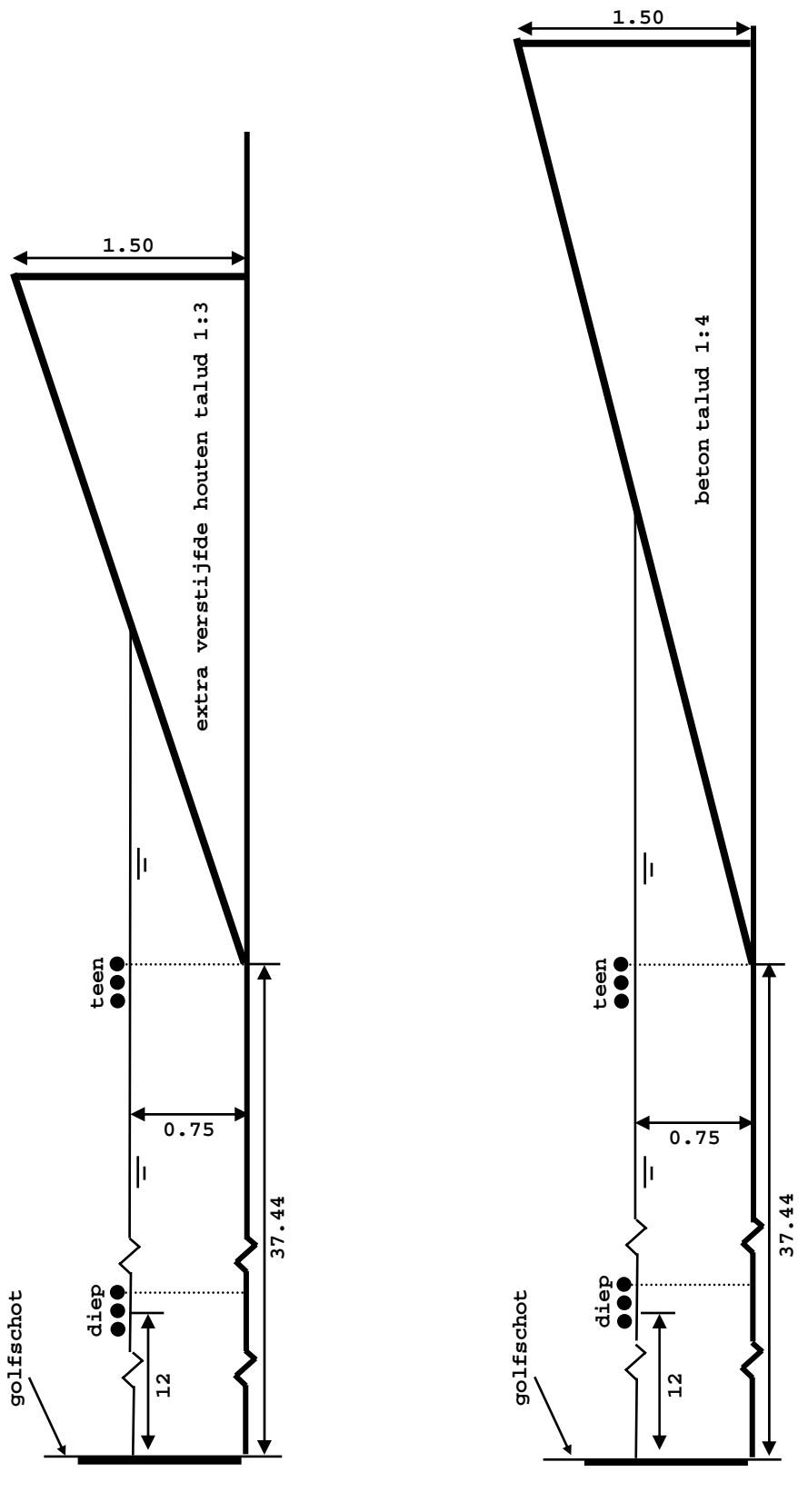
## A.2 Drukopnemers proeven talud 1:4

TALUD 1:4						
NR	Type	+X (m)	Y (m)	Z (m)	langs talud (m)	X=0 (m)
DR01	Kulite	39.111	0.50	0.418	1.722	1.671
DR02	Kulite	39.315	0.50	0.469	1.933	1.875
DR03	Kulite	39.417	0.50	0.494	2.038	1.977
DR04	Kulite	39.469	0.50	0.507	2.091	2.029
DR05	PDCR42	39.509	0.49	0.517	2.133	2.069
DR06	PDCR42	39.531	0.51	0.523	2.155	2.091
DR07	PDCR42	39.552	0.49	0.528	2.177	2.112
DR08	PDCR42	39.574	0.51	0.533	2.200	2.134
DR09	PDCR42	39.595	0.49	0.539	2.222	2.155
DR10	PDCR42	39.617	0.51	0.544	2.244	2.177
DR11	PDCR42	39.638	0.49	0.550	2.266	2.198
DR12	PDCR42	39.660	0.51	0.555	2.288	2.220
DR13	PDCR42	39.681	0.49	0.560	2.310	2.241
DR14	PDCR42	39.703	0.51	0.566	2.332	2.263
DR15	PDCR42	39.724	0.49	0.571	2.354	2.284
DR16	PDCR42	39.746	0.51	0.576	2.377	2.306
DR17	PDCR42	39.767	0.48	0.582	2.399	2.327
DR18	PDCR42	39.777	0.50	0.584	2.409	2.337
DR19	PDCR42	39.788	0.52	0.587	2.420	2.348
DR20	PDCR42	39.809	0.49	0.592	2.442	2.369
DR21	PDCR42	39.831	0.51	0.598	2.464	2.391
DR22	PDCR42	39.852	0.49	0.603	2.486	2.412
DR23	PDCR10	39.873	0.51	0.608	2.508	2.433
DR24	PDCR42	39.895	0.49	0.614	2.530	2.455
DR25	PDCR10	39.916	0.51	0.619	2.553	2.476
DR26	PDCR42	39.938	0.49	0.624	2.575	2.498
DR27	PDCR10	39.959	0.51	0.630	2.597	2.519
DR28	PDCR42	39.981	0.49	0.635	2.619	2.541
DR29	PDCR10	40.002	0.51	0.641	2.641	2.562
DR30	Kulite	40.024	0.49	0.646	2.663	2.584
DR31	Kulite	40.045	0.51	0.651	2.685	2.605
DR32	Kulite	40.067	0.49	0.657	2.708	2.627
DR33	Kulite	40.088	0.51	0.662	2.730	2.648
DR34	Kulite	40.110	0.49	0.667	2.752	2.670
DR35	Kulite	40.131	0.51	0.673	2.774	2.691
DR36	PDCR10	40.172	0.50	0.683	2.816	2.732
DR37	PDCR10	40.213	0.50	0.693	2.858	2.773
DR38	PDCR10	40.254	0.50	0.703	2.900	2.814
DR39	PDCR10	40.317	0.50	0.719	2.966	2.877
DR40	PDCR10	40.399	0.50	0.740	3.050	2.959
DR41	PDCR10	40.951	0.50	0.878	3.619	3.511
DR42	PDCR10	41.463	0.50	1.006	4.146	4.023

**Tabel A2** : Talud 1:4 : Typen en coördinaten t.o.v. golfshot (x-coördinaat langs goot, y dwars, z in hoogterichting) van drukopnemers genummerd als in Fig.4. Coördinaten in laatste twee kolommen zijn gemeten vanaf de teen v/d constructie.



## **B Figuren**



Langsdoorsnede Scheldegootproeven met talud 1:3 en 1:4  
maten in meters

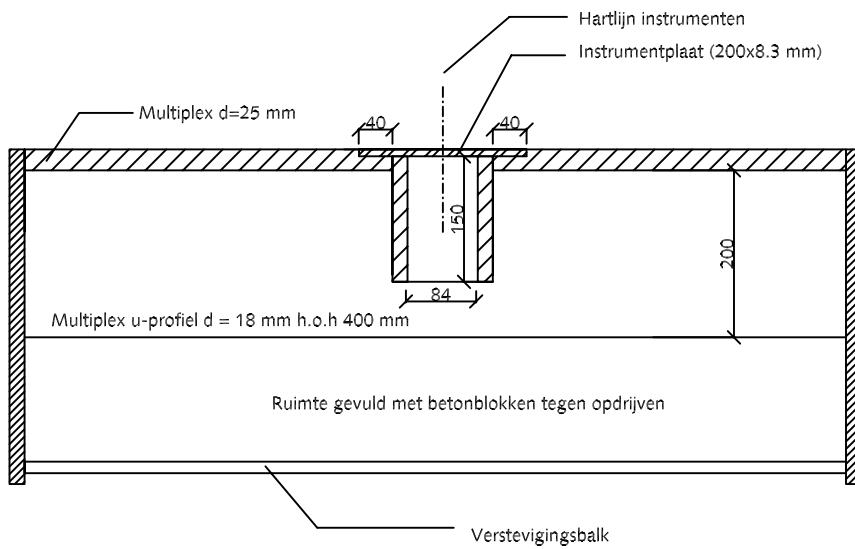
H4329

29-10-2003

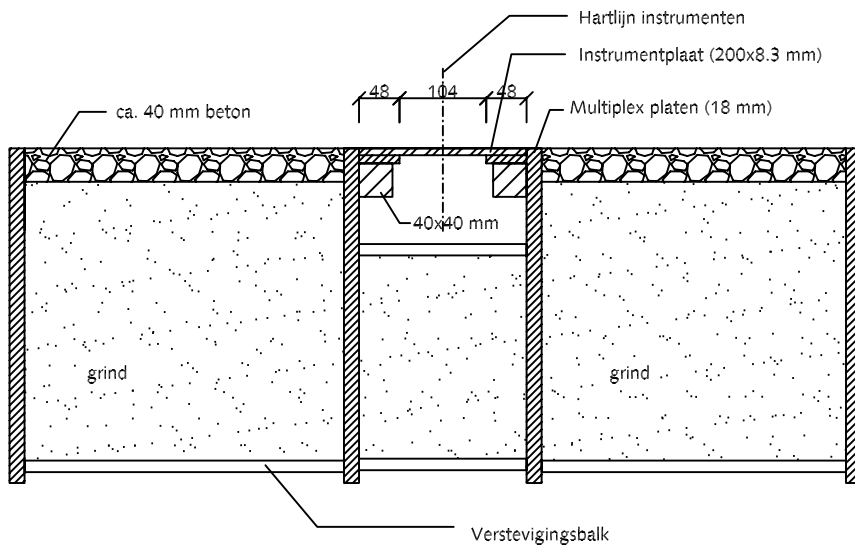
Steenzetting onderzoek  
deel A : lange golfperiodes

WL | DELFT HYDRAULICS

FIG. I



Dwarsdoorsnede talud 1:3



Dwarsdoorsnede talud 1:4

Dwarsdoorsnede constructie  
talud 1:3 en 1:4

BY: ck  
Date: 24-11-03

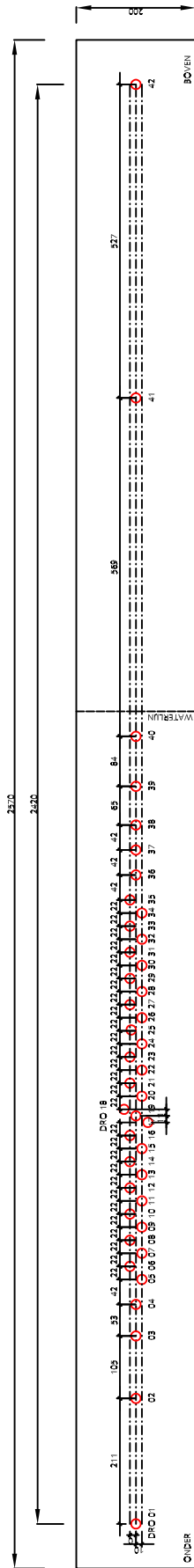


**Verzwaren van het 1:3 talud met verstijvingsribben  
( boven / vooraanzicht open talud )**

**H4329**

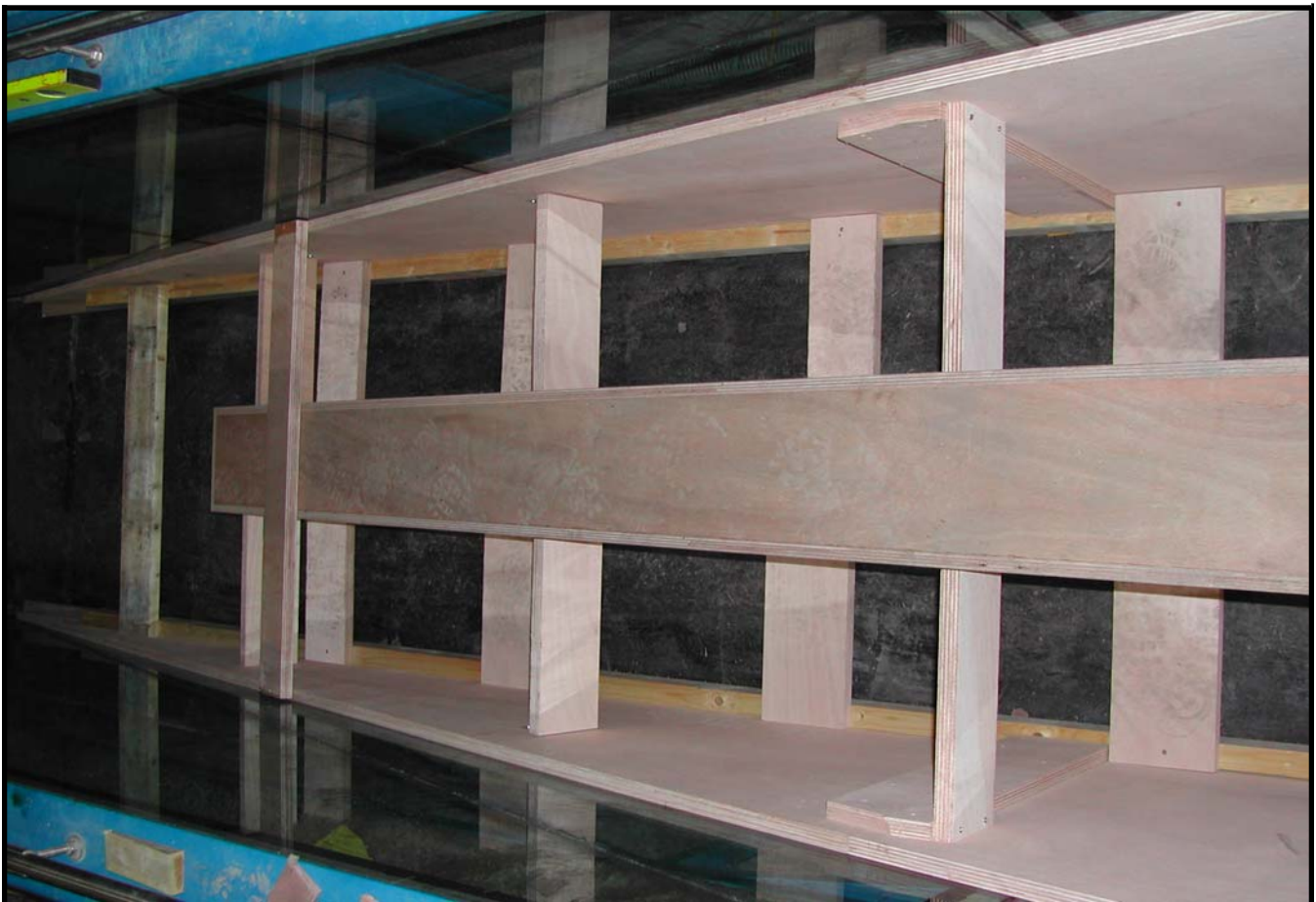
**29-10-2003**

Steenzetting onderzoek  
deel A : lange golfperiodes



Locatie van de drukopnemers als in Tabel 1 en 2  
in de Scheldegoot (talud 1:3 en 1:4)

BY: ck  
Date: 06-10-03



boven (rechts) inwendige houten constructie met tijdelijke afdekplaat voor het betonsmeren.  
 Onder (links) Constructie van het 1:4 talud met de betonnen deklaag

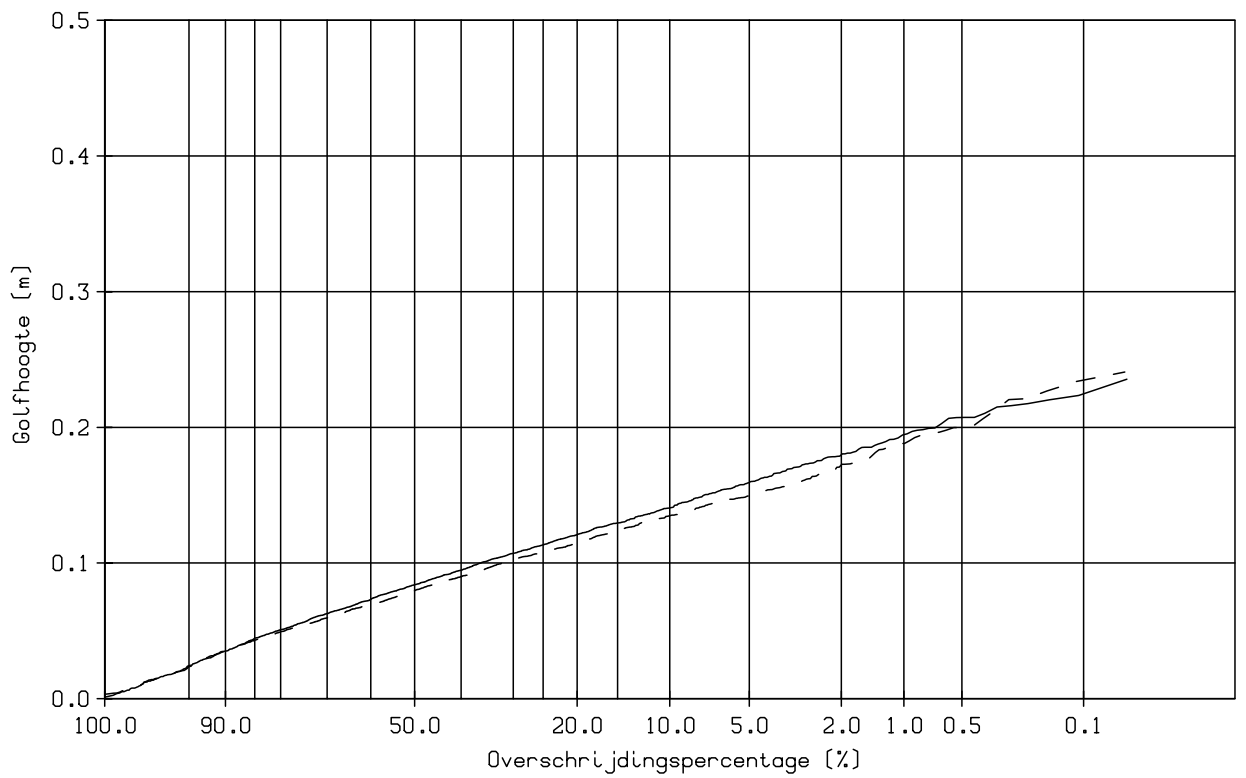
**H4329**

**07-11-2003**

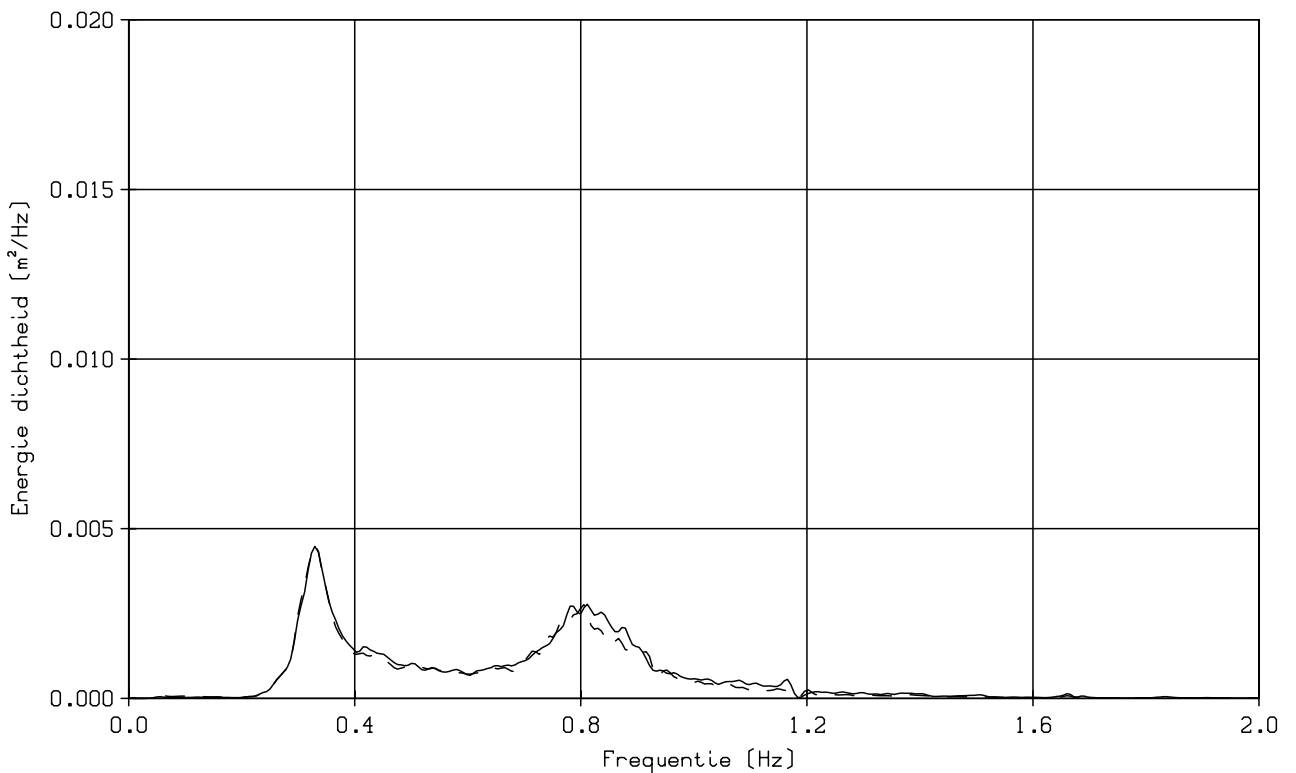
Steenzetting onderzoek  
 deel A : lange golfperioden

**WL | DELFT HYDRAULICS**

**FIG. 5**



———— Inkomend(golfschot)  
 - - - - - Inkomend(teen)



Golfoverschrijdingskrommen en  
 gemeten dubbeltoppige spectra

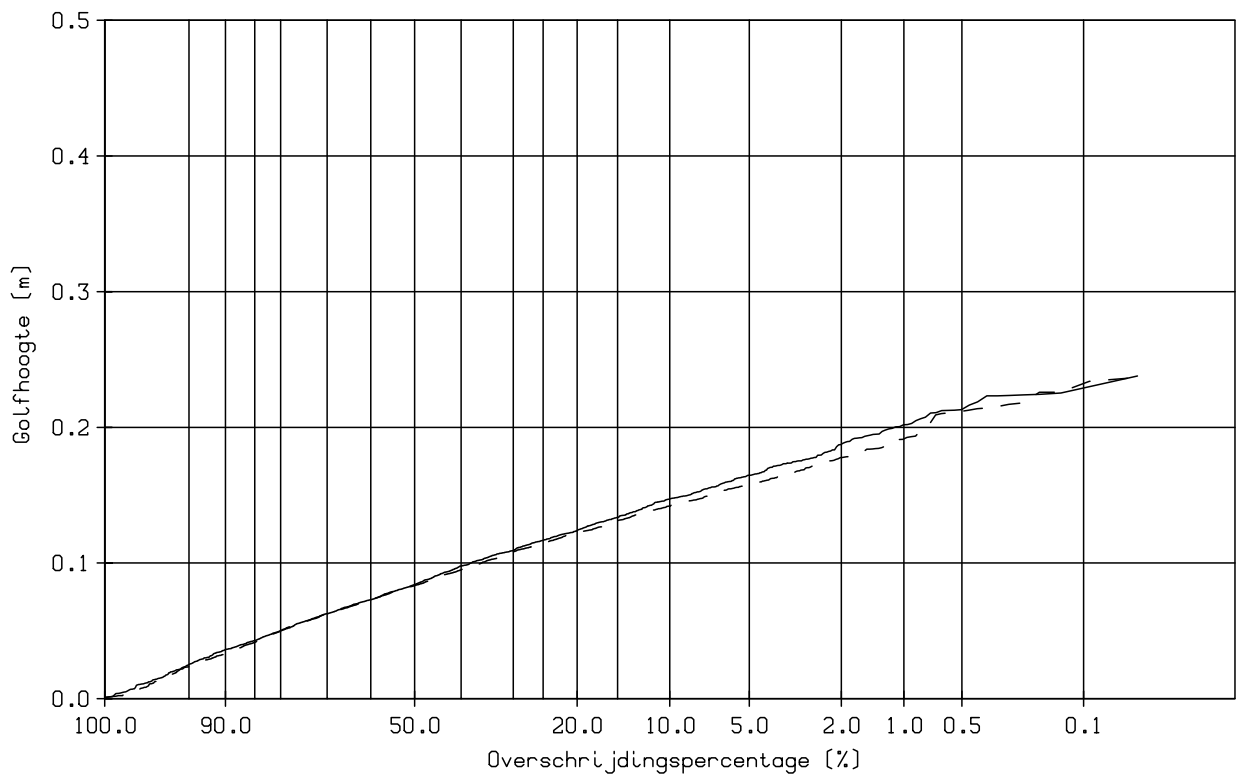
t501

Inkomend signaal

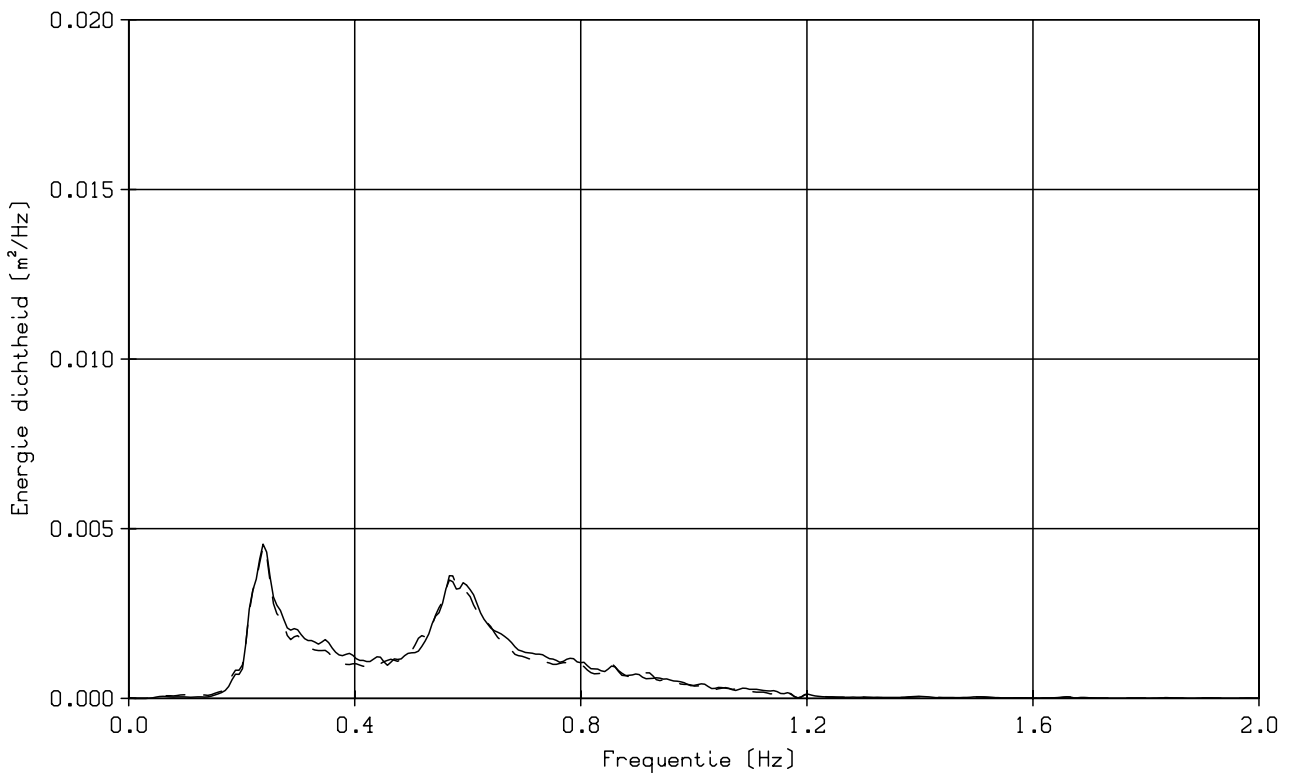
WL | delft hydraulics

H4329

FIG. 06



———— Inkomend(golfschot)  
 - - - - - Inkomend(teen)



Golfoverschrijdingskrommen en  
 gemeten dubbeltoppige spectra

t502

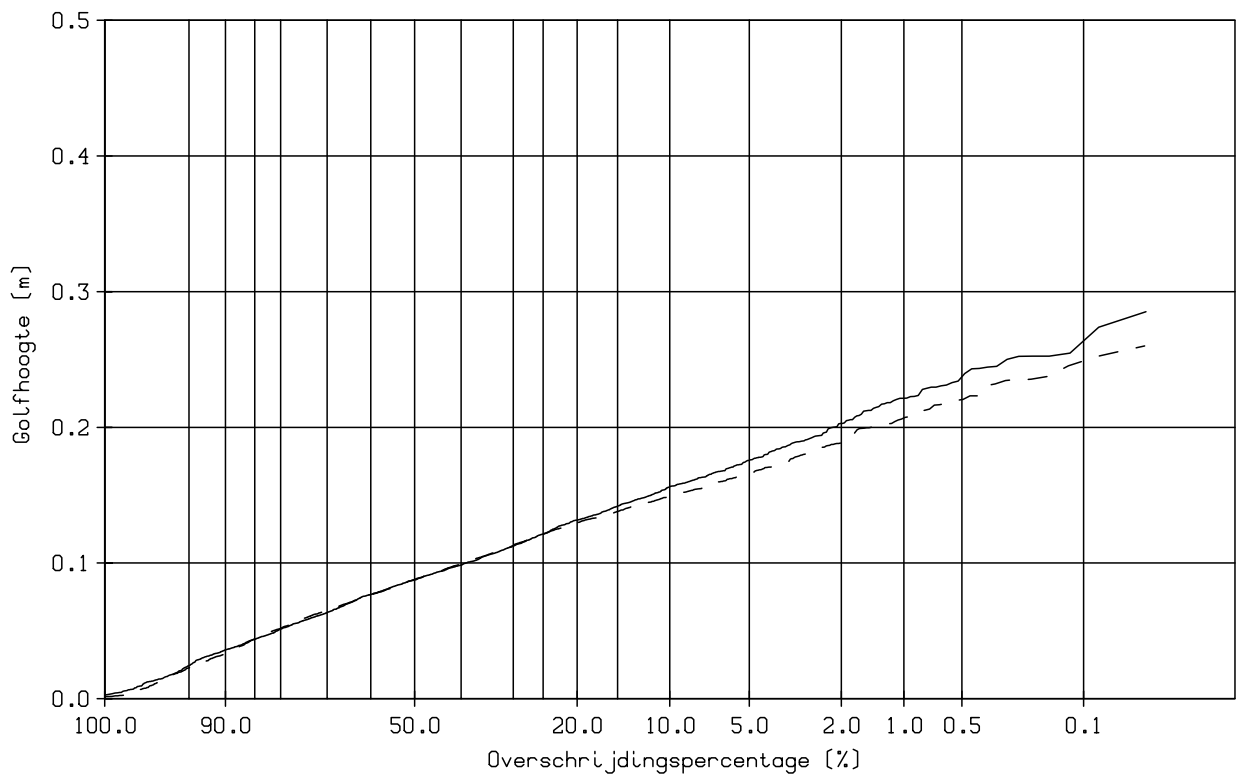
Inkomend signaal

WL | delft hydraulics

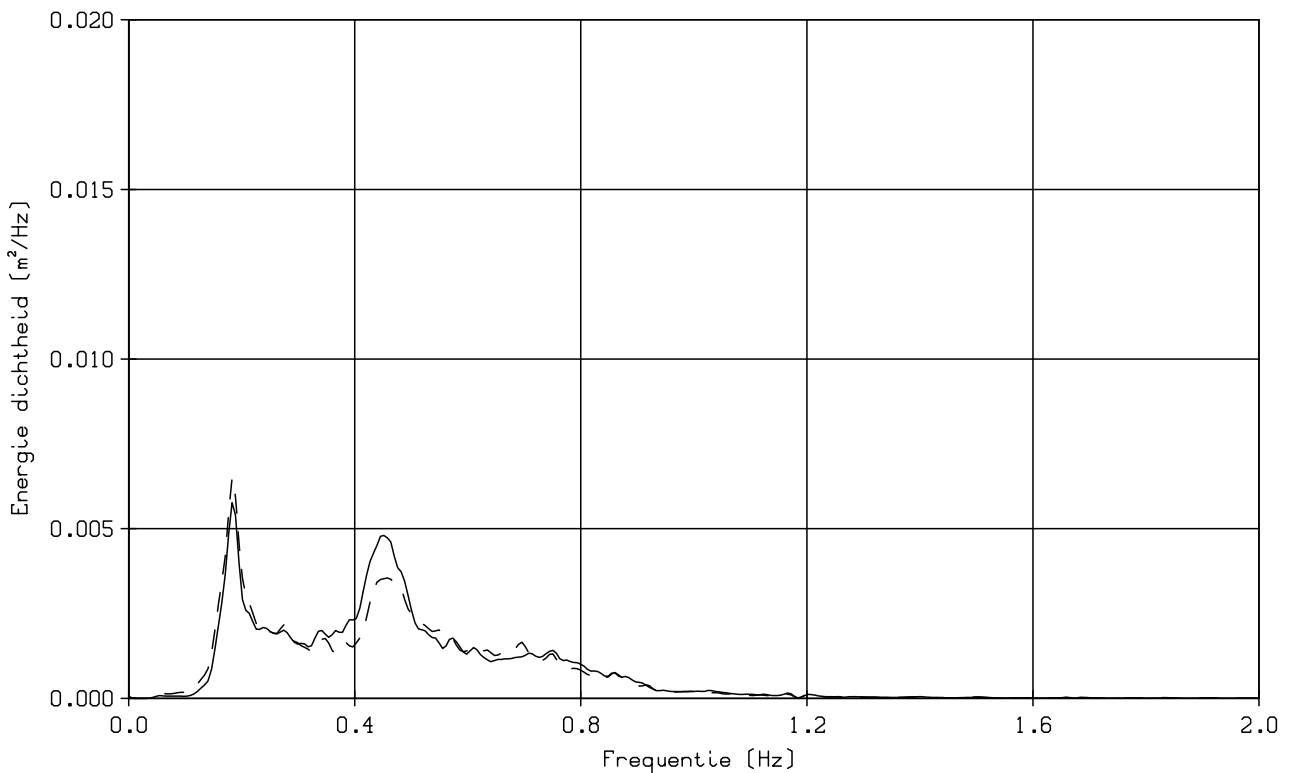
H4329

FIG. 07





———— Inkomend(golfschot)  
 - - - - - Inkomend(teen)



Golfoverschrijdingskrommen en  
 gemeten dubbeltoppige spectra

t503

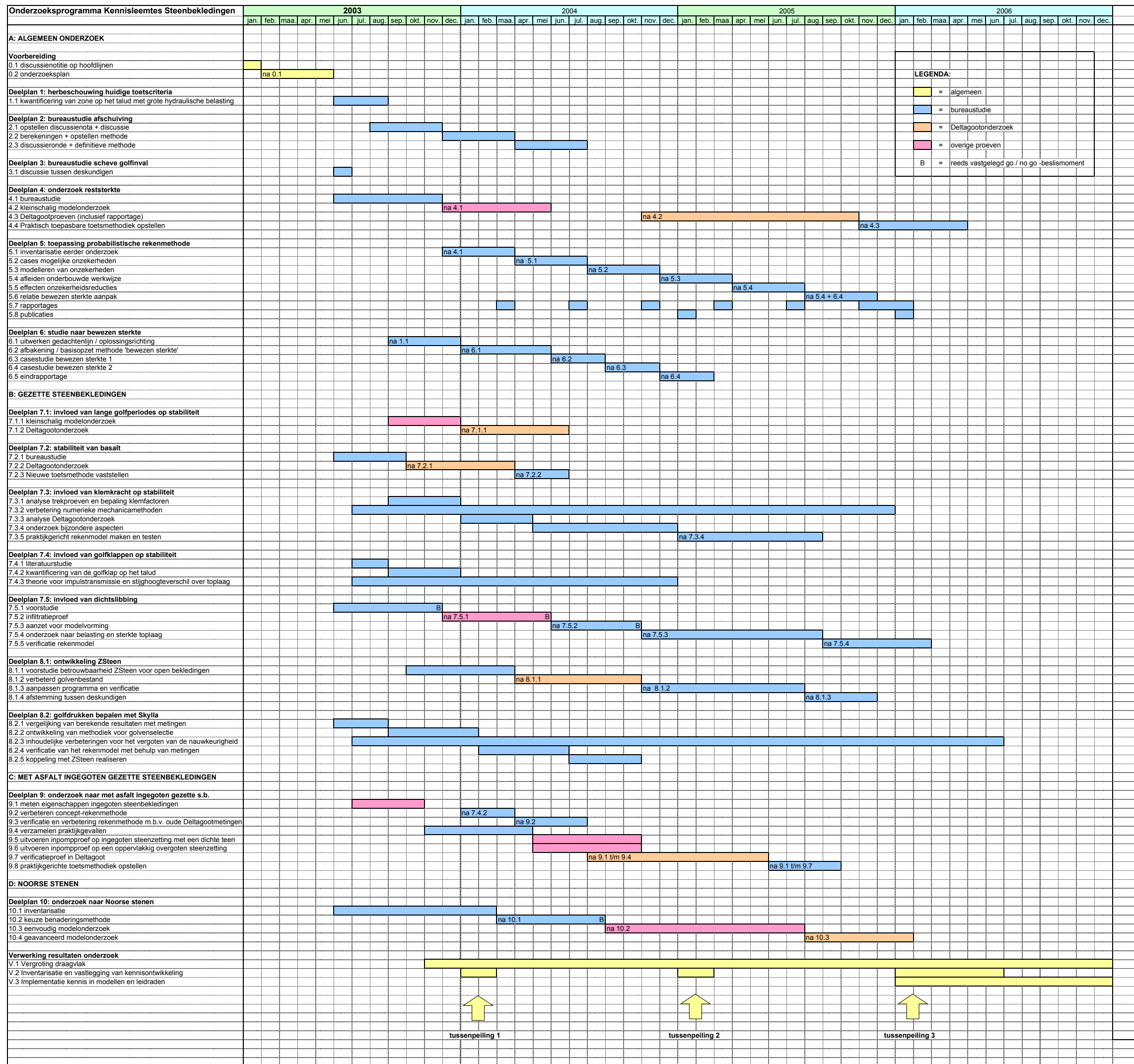
Inkomend signaal

WL | delft hydraulics

H4329

FIG. 08

**C    Overzicht van het onderzoeksprogramma  
“kennisleemtes steenbekledingen”**



**LEGENDA:**

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