

De kwelder als golfbreker?

Alternatieve kustverdediging in de Dollard

Definitief februari '12



Steffan Doornbos
Auke de Vlas

Leeuwarden, 06-02-2012

 **Hanzehogeschool Groningen**
University of Applied Sciences
Kenniscentrum
Gebiedsontwikkeling NoorderRuimte


WATERSCHAP
Hunze en Aa's

 **Hogeschool**
VAN HALL
LARENSTEIN
ONDERDEEL VAN WAGENINGEN UR

De kwelder als golfbreker?

Alternatieve kustverdediging in de Dollard

Auteurs:	Steffan Doornbos 841006001 Auke de Vlas 890306001
Studierichting:	Kust en Zee management Van Hall Larenstein
Onderdeel:	Afstudeerrapport
Versie:	Definitief februari '12
Opdrachtgever:	Kenniscentrum: Gebiedsontwikkeling Noorderruimte Waterschap Hunze en Aa's
Contactpersoon:	Eric Boer
Afstudeerdocenten:	Peter Smit Leo Bentvelzen



Van Hall Larenstein

Leeuwarden, 06-02-2012



Voorwoord

Voor u ligt een onderzoek die de effecten beschrijft van het toepassen van een versterkte kwelder op de golfreductie van bestaande kwelders in de Dollard. Het onderzoek is het eindproduct van het afstudeertraject dat is uitgevoerd voor de hbo-opleiding Kust- en Zeemanagement, aan de hogeschool van Hall Larenstein te Leeuwarden.

Het onderzoek kwam voort uit contacten opgedaan door Auke de Vlas tijdens zijn laatste stageperiode. Het onderwerp in kwestie, namelijk het bedenken van een oplossing voor de problematiek die speelt in de Dollard en het berekenen van de effecten van deze bedachte oplossing passen uitstekend binnen de het Kust- en Zeewerkveld.

Dit eindrapport is het resultaat van circa 8 maanden werk waarin met veel plezier is gewerkt aan het onderzoek.

Bij de totstandkoming van dit rapport zijn we dank verschuldigd aan:

Het kenniscentrum: Noorderruimte voor het beschikbaar stellen van de opdracht en het mede mogelijk maken van ons afstudeeronderzoek naar een mogelijk alternatieve oplossing voor kustverdediging in de Dollard.

De heer Eric Boer die als contactpersoon en als begeleider fungeerde vanuit de opdrachtgevende organisatie.

Onze begeleiders vanuit Van Hall Larenstein, Leo Bentvelzen en Peter Smit voor commentaar en goede begeleiding.

Steffan Doornbos en Auke de Vlas,
Leeuwarden, februari 2012

Samenvatting

Uit onderzoek wat gedaan is in het kader van de Derde Toetsingsronde Primaire Waterkeringen is gebleken dat de dijken in de Dollard niet voldoen aan de huidige eisen. Het probleem is specifiek dat de bekleding van de dijk die niet meer voldoet. Bij extreme omstandigheden is de huidige grasbekleding niet opgewassen tegen de golfslag en kan erosie van de bekleding plaats vinden.

De wens van betrokken stakeholders zoals de beheerder van de dijk, het waterschap Hunze en Aa's, gaat uit naar een duurzame oplossing voor het probleem. Hierbij wordt bijvoorbeeld gedacht om gebruik te maken van de kwelders die aanwezig zijn in de Dollard. Hieruit ontstond het idee van een versterkte kwelder, dat als doel heeft de golfreducerende eigenschappen van de bestaande kwelders in de Dollard te versterken. Een versterkte kwelder houdt in, de integratie van een golfbreker in een bestaande kwelder met de visuele eigenschappen van de omliggende kwelder.

In dit onderzoek is onderzocht of het toepassen van een versterkte kwelder golfreducerende eigenschappen van een bestaande kwelder kan versterken. Om zo eventueel een bijdrage te kunnen leveren aan de veiligheid van de dijk. Dit is aangevuld met een stakeholderanalyse voor de onderbouwing van het ontwerp en een inventarisatie van wetten en regels die van toepassing zijn op het ontwerp.

Uit het literatuuronderzoek gedaan naar de het functioneren van kwelders en kwelderwerken is gebleken dat kwelders over een aantal unieke waarden en eigenschappen beschikken. De belangrijke eigenschappen van de kwelder zijn het meegroei- en herstelvermogen. Bij voldoende aanvoer van sediment zijn kwelders in staat de huidige zeespiegelstijging voor te krijgen en kunnen kwelders zichzelf herstellen van eventuele schade. Deze eigenschappen zijn als duurzaam aangemerkt omdat er gebruikt wordt gemaakt van natuurlijke processen en het behouden van de kwelders inspeelt op de instandhoudingdoelstelling van 700ha voor de Dollard.

Voor het bepalen van de effecten die een versterkte kwelder heeft op de golfreductie zijn verschillende ontwerpen opgesteld waarbij gevarieerd is met de hoogte, de oploop en de breedte van golfbreker. Aan de hand van het golfmodel SwanOne is bepaald wat de maximale reductie is van de opgestelde ontwerpen. Het resultaat van de modelberekeningen is dat binnen de uitgangspunten van het ontwerp, maximaal 6,4% golfreductie het beste resultaat is.

De conclusie van het onderzoek is dat het mogelijk is de golfreductie van een bestaande kwelder te versterken doormiddel van het toepassen van een versterkte kwelder.

Summary

The research of the third review of the dikes in the Netherlands indicate that the Dollard dikes no longer suffice. The problem being the grass layer that is supposed to sustain wave pressure no longer does so. The grass layer is no longer able to resist wave pressure from extreme situations, this inability to resist will cause erosion of the dike, what in time will cause dangerous situation with the possibility of flooding.

Sustainability is one of the wishes of the involved stakeholders, these stakeholders being the water regularity authorities of the region “waterschap Hunze en Aa’s” and NGOs.

Sustainability is defined by the water regularity authorities as being using the natural barriers like coastal salt marshes in the Dollard. These wishes have been used for the idea of the project, “the reinforced salt marsh”. The reinforced salt marsh is a salt marsh with an integrated breakwater with the visual aspects of a salt marsh.

This research gives a overview of the wave reducing effects when adapting the reinforced salt marsh in the Dollard area compared to the current situation. The goal of the research is to make a contribution to the safety of the dikes. The research also describes involved stakeholders and gives a overview of the involved laws and legislation for the design.

Literature studies indicates different functions of salt marshes, these functions include adaptive growth and healing for the surface area. The adaptive growth and healing only applies if the availability of sediment is sufficient, and can counter the effects of rising sea surface on salt marshes. This is seen by the water regularity authorities “hunze en Aa’s” as sustainable, thanks to the natural maintenance, this only applies however when the surface area of the Dollard is sufficient (at least 700ha in the Dollard.)

To get a indication of the effects of wave reduction on the reinforced salt marsh several designs have been made with variety in height, size and rising slope. These varieties have been calculated in the wave simulator Swan One to get a indication of maximum wave reduction within the current design varieties, the result is 6,4% wave reduction.

The outcome of this research indicates that additional wave reduction is possible for the salt marshes in the Dollard.

Inhoudsopgave

1	Inleiding en achtergrond.....	3
1.1	Inleiding	3
1.2	Gebiedsomschrijving	4
1.3	Versterkte kwelder als mogelijke oplossing.....	5
1.4	Probleemstelling	6
1.5	Doelstelling.....	6
1.6	Vraagstelling onderzoek.....	6
1.7	Leeswijzer	7
2	Materialen en methode.....	8
2.1	Data verzamelmethoden.....	8
2.2	Data-analyse.....	9
2.3	Beperkingen van het onderzoek	9
2.4	Consequenties voor het onderzoek	11
3	Kwelders	12
3.1	Morfologie van de kwelder	12
3.2	Zonering van de kwelder	14
3.3	Herstel- en meegroeivermogen	15
3.4	Geschiedenis kwelders	15
3.5	Kwelders en Kwelderwerken.....	16
3.6	Huidige situatie in de Dollard	18
4	Bijdrage kwelders aan kustverdediging.....	19
4.1	Bestaand onderzoek en resultaten	19
4.2	Conclusie huidige resultaten	20
5	Effecten van de versterkte kwelder	21
5.1	Inleiding	21
5.2	Het ontwerp	21
5.3	Uitgangspunten van het ontwerp	23
5.4	Opstellen van ontwerp.....	24
5.5	Programmatuur	25
5.6	Profielen	25

5.7	Uitgangspunten berekening.....	26
5.8	Invoer parameters.....	28
5.9	Resultaten	29
5.10	Analyse uitkomsten	30
5.11	Conclusie	34
6	Belangen en belanghebbenden.....	35
6.1	Belangen.....	35
6.2	Belanghebbenden	37
6.3	Conclusie	40
7	Wet en regelgeving	41
7.1	Inventarisatie van wet en regelgeving	41
7.2	Conflicten tussen wetten.	45
7.3	Conclusie	45
8	Conclusies	46
9	Discussie en aanbevelingen	47
9.1	Discussie	47
9.2	Leemte in Kennis	48
9.3	Aanbevelingen.....	48
10	Begrippen en Literatuurlijst	50
10.1	Begrippen	50
10.2	Literatuurlijst	51
Bijlage 1.	Ontwerpen.....	A
Bijlage 2.	Resultaten.....	B
Bijlage 3.	Aanvullende Ontwerpen.....	C
Bijlage 4.	Usermanual SwanOne	D

1 Inleiding en achtergrond

1.1 Inleiding

Inleiding

In 2003 is gebleken dat veel van de bestaande kustverdediging langs de Nederlandse kust niet langer voldoet aan de huidige wettelijke eisen. Deze zwakke plekken staan ook wel bekend als de zogenaamde zwakke schakels (*Verkeer en Waterstaat, 2003*). Door verwachte veranderingen in het klimaat zal de zeespiegel in de komende eeuw verder gaan stijgen. De extreme situaties in het weer lijken extremer te worden en vaker voor te komen. Een deel van onze kustverdediging is momenteel dan ook niet klaar voor de toekomst. Om onze veiligheid te garanderen dient er actie te worden ondernomen.

Veiligheidsnorm

Deze veiligheidsnormen worden vertaald in een bepaalde kans op falen per tijdsperiode. Bijvoorbeeld, 1 maal per 10.000 jaar voor bijvoorbeeld het westen van Nederland (N/Z-Holland). Aan de hand van de veiligheidsnorm is Nederland opgedeeld in verschillende

Dijkring

dijkring gebieden (*Verkeer en Waterstaat, 2007*). Deze dijkkringgebieden hebben vervolgens een veiligheidsnorm die is bepaald aan de hand van economisch belang en aantal inwoners van het gebied.

Gebieden met een hoog economisch belang, hoog aantal inwoners en grote economische schade bij eventueel falen, hebben de strengste veiligheidsnormen. De dijken rond de Dollard vallen onder het dijkkring gebied 6 Friesland en Groningen. Dit dijkkring gebied heeft een veiligheidsnorm van 1:4000 (*Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007*). Dit houdt in, een kans op falen 1 maal per 4000 jaar.

Waterschap Hunze en Aa's

In het kader van de derde landelijke toetsronde voor primaire waterkeringen heeft Royal Haskoning onderzoek gedaan naar de stand van zaken betreffende de primaire waterkeringen in het beheersgebied van Waterschap Hunze en Aa's. Uit dit onderzoek is gebleken dat ook in de Dollard de dijken niet langer voldoen aan de wettelijke norm (*Hordijk et al., 2010*). Het probleem van de dijken in de Dollard is dat de grasbekleding van de dijk niet langer voldoet. Onder extreme omstandigheden blijkt de bekleding bij de teen van de dijk (overgang van kwelder naar dijk) niet erosie bestendig te zijn. Over het algemeen hebben de dijken in de Dollard een grasbekleding.

Kenniscentrum Noorderruimte

Namens Waterschap Hunze en Aa's, doet Kenniscentrum: Noorderruimte onderzoek naar mogelijke oplossingen voor het probleem. Hierbij wordt in eerste instantie gezocht naar een niet traditionele oplossing, bijvoorbeeld een *building with nature*

oplossing in de vorm van kwelders.

Onder traditionele oplossingen wordt verstaan, grasbekleding, het asfalteren van de dijk of het plaatsen van basalt blokken of betonnen kunstwerken.

1.2 Gebiedsomschrijving

Locatie beschrijving

Het onderzoek richt zich op de boven genoemde problematiek die momenteel speelt in de Dollard.

Estuarium

De Dollard is een zeearm die is gelegen op de grens van Nederland en Duitsland in het oosten van de provincie Groningen enkele kilometers ten oosten van Delfzijl en ten noorden van Winschoten (*zie Figuur 1*). De Dollard maakt deel uit van het Eems Dollard estuarium.



Figuur 1 De Dollard (*bron: Bodeminformatiekaart, 2012*)

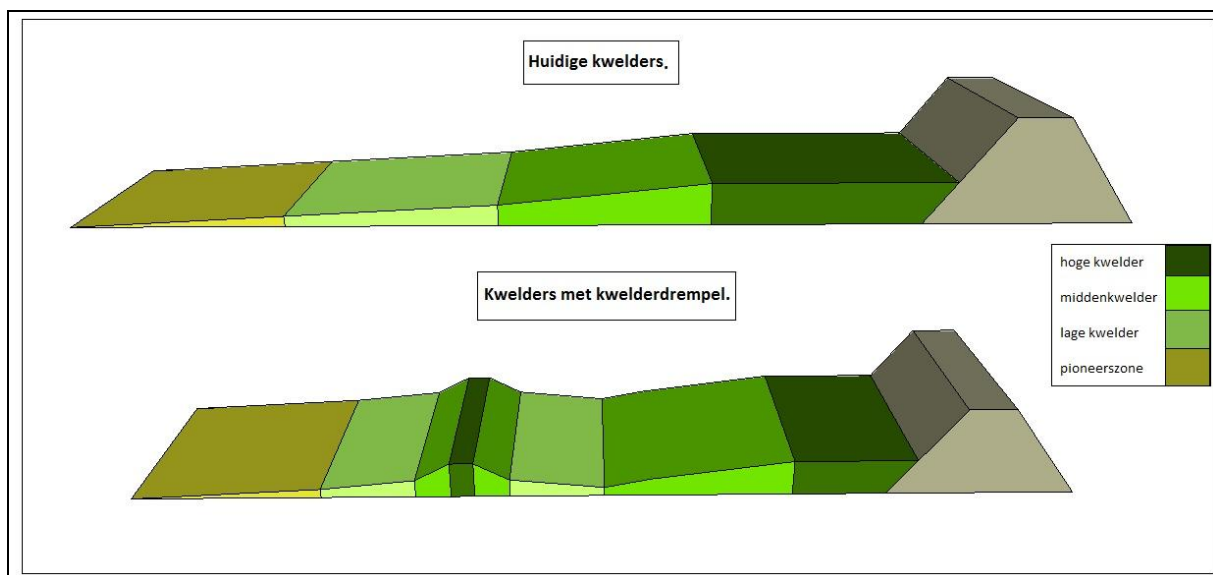
De Dollard is ontstaan tijdens een stormvloed in 1277 (*Stratingh en Venema, 1979*). Door middel van het aanleggen van kwelderwerken die als doel hadden het aanwinnen van land, is de Dollard in de loop der eeuwen langzaam qua omvang terug gelopen. Deze landaanwinning had als doel het verkrijgen van meer land voor agrarische doeleinden. Dit leidde uiteindelijk tot het ontstaan van de Dollard in zijn huidige vorm in de eerste helft van de 20^e eeuw (*Dijkema, 1987*). De huidige kwelders zijn in het verleden niet meer bedijkt en vormen zo de huidige buitendijkse gronden in de Dollard.

1.3 Versterkte kwelder als mogelijke oplossing

In het kader van het verkennende onderzoek van kenniscentrum Noordruimte naar mogelijke oplossingen voor het veiligstellen van de dijk, is het idee van een *versterkte kwelder* ontstaan.

Over het algemeen wordt aangenomen dat kwelders golven remmen (lees: verlies van kracht) en uit het onderzoek van Drijfhout uit 2010 is gebleken dat kwelders inderdaad een golfremmende werking hebben (*Drijfhout, 2010*). De reductie in het onderzoek van Drijfhout was circa 9 a 17% afhankelijk van de profiellijn. In dit onderzoek werd gekeken naar de invloed van de huidige kwelders. Er werd een vergelijking gemaakt tussen de huidige situatie en een fictieve situatie zonder kwelders.

Naar aanleiding van dit onderzoek ontstond het idee om een bestaande kwelder aan te passen om zo de golfremmende werking van bestaande kwelders te versterken. Deze aanpassing van de kwelder houdt in dat er een golfbreker wordt geïntegreerd in de kwelder. Hierdoor verandert het hoogte verloop van de kwelder met als achterliggende gedachte golven twee maal een oploop te laten ondergaan alvorens ze de kust bereiken. Het idee is dat de golven hierdoor extra aan kracht verliezen ten opzichte van de huidige kwelder (zie *Figuur 2*).



Figuur 2 Schetsontwerp versterkte kwelder (niet op schaal)

Het onderzoek richt zich op wat het effect zal zijn van het toepassen van een versterkte (integreren van een golfbreker) op de golfhoogte van bestaande kwelders in de Dollard. In andere woorden, wat de golfreductie zal zijn bij de teen van de dijk. Afname van de golfhoogte betekent een reductie van de golfslag op de kust en daarmee een reductie van de erosie.

1.4 Probleemstelling

Zoals gezegd is uit onderzoek voor het Waterschap Hunze en Aa's gebleken dat de bekleding van de zeedijken in de Dollard momenteel niet langer voldoet aan de eisen. Er is kans op erosie bij de teen van dijk, dit houdt in dat de bekleding kan wegspoelen bij bepaalde extreme omstandigheden.

Probleem

Als mogelijke oplossing is de versterkte kwelder bedacht om de golfreducerende eigenschappen van een bestaande kwelder te vergroten/versterken. Momenteel is er geen inzicht in wat voor effect het toepassen van een versterkte kwelder heeft. Het onderzoek richt zich op wat de effecten op de golfreductie zullen zijn, bij het toepassen van een versterkte kwelder.

1.5 Doelstelling

Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen in de werking van de versterkte kwelder, wat zijn de effecten van het toepassen van een geïntegreerde golfbreker in de kwelder, op de golfremmende werking van bestaande kwelders in de Dollard? Met welke belangen en belanghebbenden dient rekening te worden gehouden in het ontwerp en met welke wet en regelgeving krijgt men te maken bij een eventuele uitvoering van het ontwerp?

Vooropgesteld moet worden dat het onderzoek zich niet richt op de veiligheid van de dijk zelf. Het onderzoek richt zich alleen op de werking van de versterkte kwelder, die een mogelijke oplossing kan zijn voor het niet voldoen aan de veiligheidseisen van de zeedijken in de Dollard.

1.6 Vraagstelling onderzoek

Aan de hand van de geformuleerde doelstellingen zijn de volgende hoofdvragen opgesteld:

Hoofdvragen:

Hoofdvraag 1

- *Wat is de golfremmende werking bij het toepassen van een versterkte kwelder op bestaande kwelders in de Dollard?*

Hoofdvraag 2

- *Met welke belangen en belanghebbenden dient rekening gehouden te worden bij het ontwerp?*

Hoofdvraag 3

- *Welke wetten en regels zijn van toepassing op dit ontwerp in de Dollard?*

Ter verdieping van Hoofdvraag 1 zijn de volgende deelvragen opgesteld:

Deelvragen:

Deelvraag 1

- *Wat is de huidige kennis over het functioneren van kwelders binnen de Nederlandse kustverdediging?*

Deelvraag 2

- *Bij welke dimensionering van het model worden de golven maximaal geremd rekening houdend met de uitgangspunten van het ontwerp?*

1.7 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de in dit onderzoek gehanteerde methoden.

In *hoofdstuk 3* geeft een beschrijving van wat kwelders zijn en hun ontstaansproces. De informatie beschreven in dit hoofdstuk legt de basis voor uitgangspunten van het ontwerp.

In *hoofdstuk 4* wordt beschreven wat de huidige kennis is over kwelders als onderdeel van de Nederlandse kustverdediging.

Hoofdstuk 5 beschrijft de kern van het onderzoek. Hier wordt het ontwerp beschreven en wat de achterliggende gedachten van het ontwerp is. Welk rekenmodel en welke parameters gebruikt worden in de berekening en waar komen deze waarden vandaan. Als laatste komen de resultaten aan bod.

Hoofdstuk 6 beschrijft de uitgevoerde stakeholder-analyse, welke belangen spelen er in de Dollard en welke belanghebbenden zijn hier bij betrokken.

In *hoofdstuk 7* beschrijft de wetten en regels die van toepassing zijn op het ontwerp. Zijn er kansen om tot een werkelijke uitvoering te komen?

In *hoofdstuk 8* geeft algemene conclusie van het onderzoek en in *hoofdstuk 9* wordt het onderzoek bediscussieerd en worden aanbevelingen gedaan.

2 Materialen en methode

2.1 Data verzamelmethoden

In deze paragraaf wordt in gegaan op de verschillende methoden die gebruikt zijn voor het verzamelen van data en informatie om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden. Het onderzoek bestaat uit twee delen, namelijk een literatuuronderzoek en een gevoeligheidsanalyse op basis van modelberekeningen door middel van het golfmodel SwanOne. Hierbij wordt invloed van de variabelen oploop en de breedte van de rug van de golfbreker onderzocht. Om de deel- en hoofdvragen te beantwoorden is gebruik gemaakt van relevante en zo recent mogelijke literatuur.

Hoofdvraag 1:

Wat zijn de effecten van het toepassen van een zogenaamde versterkte kwelder in een bestaande situatie, op de golfremmende werking van bestaande kwelders?

Om hoofdvraag 1 en de bijhorende deelvragen te kunnen beantwoorden is de volgende data verzamelmethode gebruikt:

- *Literatuuronderzoek*

Het doel van het literatuuronderzoek is te beschrijven wat een kwelder is en wat voor eigenschappen een kwelder heeft. Belangrijk hierbij zijn de eigenschappen herstel- en meegroei vermogen waarover kwelders beschikken. Het herstel en meegroei vermogen zijn belangrijke uitgangspunten van het ontwerp.

- *Model berekening SwanOne*

Door middel van het golfmodel SwanOne wordt inzichtelijk gemaakt wat de effecten zijn van het aanpassen van het kwelderprofiel en hiermee wat voor effect de versterkte kwelder heeft op het de golfremming. Het gebruik van Swan is algemeen geaccepteerd en wordt ook genoemd als model in literatuur van Rijkswaterstaat. SwanOne is een afgeleide en versimpelde grafische versie van van Swan specifiek ontwikkeld voor de simulatie van golven in ondiepe kustwateren.

Hoofdvraag 2

Welke belangen en belanghebbenden zijn aanwezig in de Dollard?

Om hoofdvraag 2 te kunnen beantwoorden is de volgende informatie verzamelmethode gebruikt:

- *Literatuuronderzoek*

In het literatuuronderzoek naar stakeholders is gekeken naar hun functies in de Dollard en naar hun houding of standpunten ten aanzien van ontwikkelingen zoals duurzame kustverdediging.

Hoofdvraag 3

Welke wetten en regels zijn van toepassing op dit ontwerp in de Dollard?

Om hoofdvraag 3 te kunnen beantwoorden zijn de volgende data verzamelmethoden gebruikt:

- *Literatuuronderzoek*

Het literatuuronderzoek richt zich op nationale en internationale (Europese) wetgeving en verdragen (RAMSAR).

2.2 Data-analyse

Hoofdvraag 1

Om tot een antwoord te komen op Hoofdvraag 1 is een gevoeligheidsanalyse gedaan op basis van modelberekeningen met het computer golfmodel SwanOne. Hierbij wordt gekeken naar de invloed van de variabelen van het ontwerp. Namelijk de hoogte van de versterkte kwelder, de horizontale lengte van de oploop en de breedte van de rug van de golfbreker. Hierbij is geprobeerd, met het in gedachten houden van de uitgangspunten van het ontwerp, te achterhalen wanneer dit ontwerp het optimaal functioneert. In hoofdstuk 5.10 is de analyse in detail uitgeschreven.

Hoofdvraag 2

Aan de hand van de stakeholderanalyse is bepaald welke belangen er spelen in de Dollard waarmee in het ontwerp rekening dient te worden gehouden.

2.3 Beperkingen van het onderzoek

Vooraf dient te worden vermeld dat het onderzoek een aantal beperkingen heeft. Er stonden slecht 5 maanden voor het uitvoeren van het onderzoek wat heeft geleid tot enkele beperkingen binnen het onderzoek.

- **Gebruik van SwanOne**

SwanOne is een één dimensionaal golfmodel op basis van Swan. Het model rekent dus slechts in de lengterichting van één as. Dit houdt in dat lokale schommelingen in windrichting en kracht niet worden meegenomen in de berekening.

Tevens gaat de berekening in principe uit van een oneindig lange

kuststrook met het zelfde bodemprofiel waarin alle invloeden te allen tijde het zelfde zijn. In werkelijkheid is het bodemprofiel maar ook de kwelder zeer divers in afmetingen. Bij een twee dimensionale berekening hadden deze variaties meegenomen kunnen worden. Hierdoor was de invloed van deze variaties inzichtelijk geworden.

- **Realistisch kwelderprofiel**

In de berekening wordt uitgegaan van een perfecte kwelder oploop vanaf de waterlijn naar het hoogste punt van de kwelder bij de teen van de dijk. In de realiteit zal dit profiel nooit perfect oplopen door natuurlijke variaties in de hoogte. Hierdoor zal in de werkelijkheid de invloed van de versterkte kwelder lokaal afwijken. Bij het toepassen van een realistischer kwelderprofiel neemt het realiteitsgehalte van de resultaten toe ten opzichte van de abstracte resultaten in dit onderzoek.

- **(Getijde)Stroming**

Het uitgangspunt van dit onderzoek is geweest dat er geen getijde stroming is op het moment waar de berekening van uit gaat. De berekening gaat uit van de hoogste waterstand die wordt bereikt op het moment dat het tij zijn hoogste punt bereikt. Rond het hoogtepunt van het tij is de verwachting dat er amper of geen getijdenstroming meer is. Naast getijdenstroming is het uitgangspunt van de berekening dat door de geografische ligging van de Dollard er amper tot geen overige stroming in het gebied is die invloed kan zijn op de berekening.

- **Kweldervegetatie**

De invloed van kweldervegetatie op golfremming is niet meegenomen in dit onderzoek. De informatie over het effect van kweldervegetatie op golfremming is zeer beperkt. Voor het bepalen van dit effect is er geen bestaand rekenmodel.

- **Beperkt aantal varianten en voorwaarden ontwerp**

In verband met de tijd die stond voor dit onderzoek is gekeken naar slechts een aantal varianten. Voor een betere en nauwkeurigere gevoeligheidsanalyse had er meer gevarieerd moeten worden met de variabelen, hoogte, oploep en breedte.

2.4 Consequenties voor het onderzoek

De beperkingen van het onderzoek hebben als resultaat dat de uitkomst van de modelberekeningen vrij abstract is. De uitkomsten laten duidelijk zien wat de invloed is van het integreren van een golfbreker in een bestaande kwelder. De uitkomsten zijn echter theoretisch.

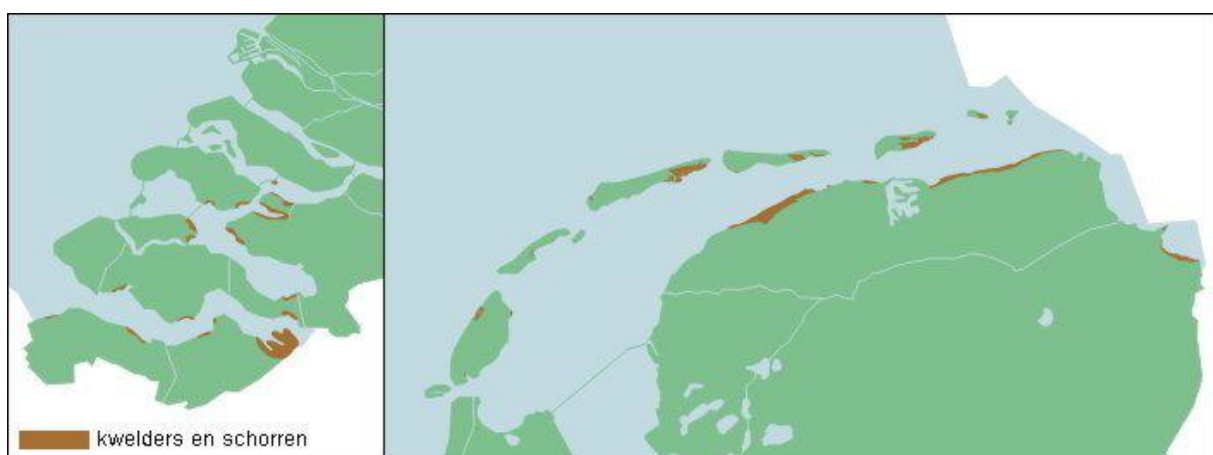
Als de beperkingen van het onderzoek wel waren meegenomen in de berekeningen was de uitkomst realistischer geweest, in de zin van dat het meer overeenkomt met de werkelijkheid. De uitkomsten geven echter een duidelijk genoeg beeld wat de effecten zullen zijn van het toepassen van het ontwerp om de hoofdvraag van het onderzoek te kunnen beantwoorden, namelijk wat de effecten zullen zijn van het toepassen van een versterkte kwelder.

3 Kwelders

3.1 Morfologie van de kwelder

Een kwelder is een vorm van natuurlijke (buitendijkse) landaanwas die plaats vindt in getijde gebieden (*Dijkema et al., 2001*). Kwelders ontstaan in Nederland in het noorden en het zuidwesten van het land (*Figuur 3*), in de beschutte delen van de Zeeuwse Delta en langs de Friese en Groningse Waddenkust en op de Wadden eilanden. Elders in Europa en de wereld zijn ook kwelders te vinden, zij het vaak van geringere omvang. Een kwelder ontstaat binnen het getijden bereik en groeit daarboven slechts nog tijdens uitzonderlijk hoge waterstanden.

Op *Figuur 3* zien we het vóórkomen van kwelders binnen Nederland. Hierbij moet opgemerkt worden dat de weergegeven kwelders aan de Friese en Groningse kust onnatuurlijke kwelders zijn, zogenaamde kwelderwerken. Hier wordt verder op in gegaan in hoofdstuk 3.5.



Figuur 3 Voorkomen van kwelders in Nederland (*Natuurinformatie, 2011*)

Groeiproces

Een kwelder ontstaat door middel van de eb en vloed cyclus. Tijdens de vloed wordt er sediment aangevoerd dat in suspensie is in het water. Op hoogtepunt van de vloed is het water voldoende rustig voor kleiachtig deeltjes om te kunnen bezinken. Op deze manier bouwt een kwelder zich laag voor laag op. Dit proces van sedimentatie op de kwelder heet opslibben.

Opslibbing

De opslibbing bedraagt enkele millimeters per jaar. Gemiddelde slibben kwelders aan de vaste wal zijde met 10 a 20 millimeter per jaar op (*van Duin et al., 2008*), voor de kwelders op de Waddeneilanden gelden andere waarden. Het opslibbingproces is een belangrijk uitgangspunt van het ontwerp in verband met onderhoud en zelfherstellend vermogen van kwelders.

Invloeden sedimentatie

De opslibbing wisselt overigens sterk per seizoen. Dit is bijvoorbeeld afhankelijk van weersinvloeden en het voorkomen van stormen. Stormen kunnen een grote bron van sediment aanvoer zijn en kunnen het groei vermogen versnellen (*van Duin et al., 1997*). Dit kan in een stormtij meer dan 100 keer de gemiddelde opslibbing van een tij zijn. Over 2007 is vastgesteld dat drie stormtijen voor een boven gemiddelde opslibbing van 35 tot 45 mm hebben gezorgd in de Peazemerlannen, Friesland (*van Duin et al., 2008*). Dit afgezet tegen een gemiddelde over de afgelopen 11 jaar van circa 15mm is dit een aanzienlijk verschil waaruit opgemaakt kan worden dat stormen voor een grote aanvoer van sedimenten kunnen zorgen.

Erosie

Het beheer van de kwelderwerken speelt hier ook een rol bij. Erosie van de kwelder werken heeft meestal te maken met of verkeerd beheer of geen of verkeerd onderhoud. Het is overigens niet gezegd dat, ondanks dat er voldoende opslibbing plaats vindt kwelders blijven groeien. In de Waddenzee vindt op bepaalde plekken wel degelijk erosie van kwelders plaats in de pionierszone terwijl er voldoende sediment voorhanden is (*Dijkema et al., 2009*). In dit geval groeit de kwelder dus slechts in hoogte maar niet in de lengte, bij erosie loopt het kwelder areaal zelf terug. Uit onderzoek van Arcadis voor de provincie Groningen is gebleken dat in de periode van 2000 tot 2006 erosie van de kwelders heeft plaats gevonden in de Dollard (*Arcadis, 2006*).

Vegetatie

Tijdens het groeiproces van de kwelder zullen de omstandigheden op een bepaald moment gunstig genoeg zijn voor vegetatie om zich te vestigen op de kwelder. Dit gebeurt als de hoogte ligging van de pioniers zone hoog genoeg is (afhankelijk van soort plant) en de overstromingsfrequentie gunstig genoeg zijn. Deze vegetatie die op de kwelder ontstaat, bevordert op zijn beurt de verdere groei van de kwelder. De vegetatie zorgt voor afremming van de stroming en zorgt er voor dat het water minder in beroering is en bezinkt sediment sneller. Daarnaast vangt vegetatie zelf ook sediment en houdt dit beter vast (*Dijkema et al., 2001*). Op deze manier versnelt vegetatie het groeiproces van de kwelder.

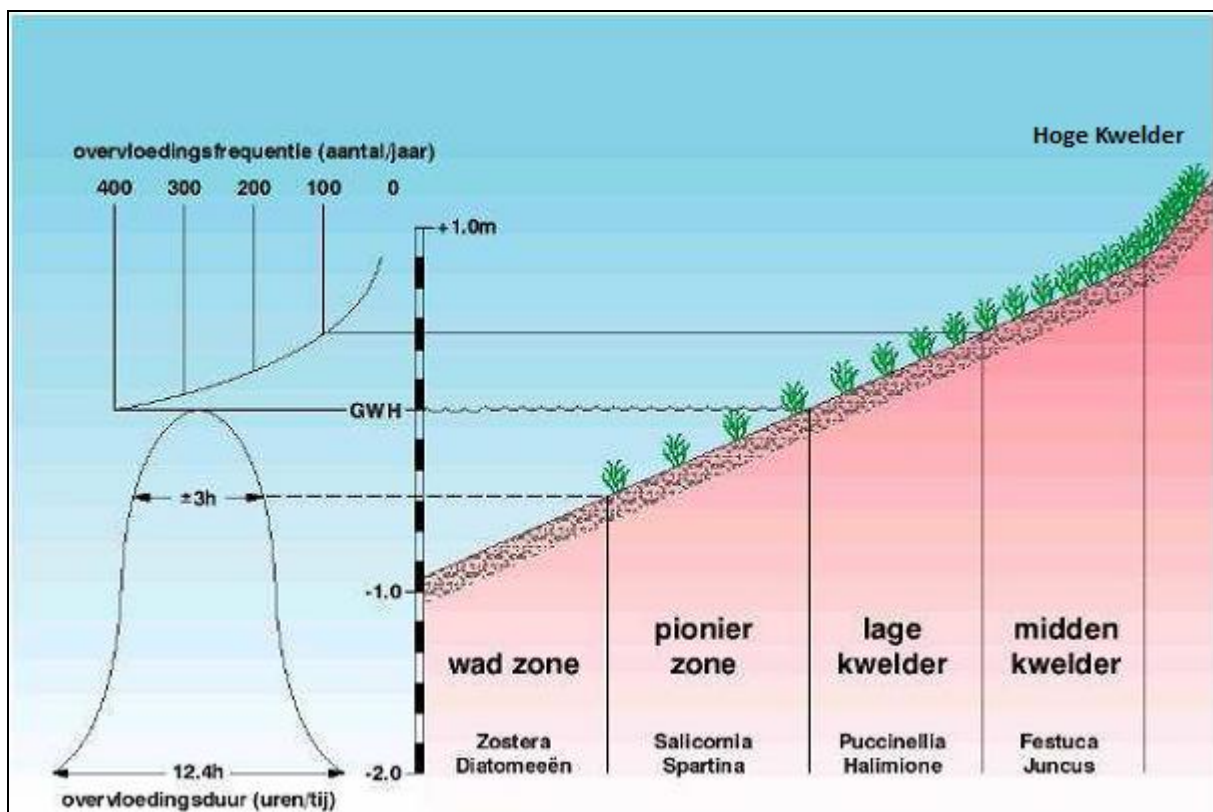
Naar mate dit proces vordert zal de kwelder groeien, zowel in de hoogte als in de lengte, onder voorbehoud dat het geen obstructies tegen komt, zoals ongunstige stromingen of onvoldoende aanvoer van sediment.

3.2 Zonering van de kwelder

Naar mate het groeiproces vordert zal er een zonering in de kwelder ontstaan zoals te zien is op Figuur 4. Deze zonering hangt samen met de overstromingsfrequentie. Vegetatiegroei is weer afhankelijk van deze overstromingsfrequentie en de daarbij behorende hoeveelheid zoute invloed. Vegetatie laag op de kwelder verdraagt zout beter dan planten op de hoge kwelder. Hierdoor ontstaat een duidelijke zonering op de kwelder die te herkennen is aan de vegetatie.

GHW

Een kwelder loopt van laag, midden naar hoog, beginnende bij de pionierszone waar. De pionierszone gaat over in de lage kwelder, de lage kwelder begint rond de gemiddelde hoogwaterstand in het gebied, GHW (GWH genoemd in de afbeelding). Daarna volgen de midden en de hoge kwelder. De pionierszone is waar het groeiproces van de kwelder primair plaats vindt, hier groeit de kwelder in lengte als de omstandigheden gunstige genoeg zijn voor groei (bijv. voldoende sediment). De pionierszone is ook deze zone waar erosie van kwelder plaatsvindt als de omstandigheden niet gunstig zijn voor groei. De andere zones van de kwelder groeien slechts nog in hoogte.



Figuur 4 Kwelderzonering (Dijkema et al., 2001)

3.3 Herstel- en meegroeivermogen

Door het groeiproces van kwelders beschikken kwelders over twee, voor kustverdediging, interessante eigenschappen. Namelijk het vermogen om mee te groeien met de zeespiegelstijging en vermogen om zichzelf te herstellen van bijvoorbeeld storm schade (afslag/erosie).

Storm is los van dat het een grote bron van sediment aanvoer is ook de oorzaak van de afname van het kwelder areaal. De erosie van storm vindt plaats in de pionierszone onder aan de kwelder terwijl het aangevoerde sediment hoger op de kwelder wordt afgezet. Hierdoor kan de kwelder wel groeien in hoogte maar kan er ook afslag plaats vinden en loopt het totale areaal terug.

Meegroeivermogen

Het meegroeivermogen van een kwelder houdt in dat, mits er voldoende opslibbing plaats vindt, het de stijging van de zeespiegel kan bijhouden. Zolang de kwelder de zeespiegelstijging kan bijhouden of ruim kan voorblijven, dus meer (jaarlijkse) opslibbing dan zeespiegelstijging blijft een kwelder binnen het kustverdedigingssysteem zijn waarde behouden.

Doordat de kwelder dit door middel van zijn groeiproces zelf doet vereist het weinig tot geen menselijk ingrijpen wat inhoudt dat onderhoudskosten mogelijk beperkt zijn. Op lange termijn zou dit financieel mogelijk interessant kunnen zijn.

Herstelvermogen

Het groeiproces heeft naast meegroeivermogen ook het vermogen de kwelder te herstellen. Door stormen kan er schade ontstaan aan de kwelder in de vorm van afslag. Door het groeiproces van de kwelder wordt er bij elke vloed nieuw sediment aangevoerd. Deze aanvoer van sediment zorgt er voor dat eventuele schade die is ontstaan op termijn door het groei proces weer hersteld.

3.4 Geschiedenis kwelders

Kwelders hebben in het verleden een grote rol gespeeld in het ontstaan van Noord Nederland. In de provincies Friesland, Groningen en Noord Holland is veelvuldig gebruik gemaakt van groeiproces van kwelders voor landaanwinning, zogenaamde kwelderwerken (*Dijkema, 1987*). Hier wordt verder op ingegaan in hoofdstuk 3.5.

Grote delen van Groningse en Friese kusten, een deel van de kop van Noord Holland en het eiland Texel, zijn op deze manier langzaam bedijkt om te gebruiken als landbouwgrond. Op luchtfoto's en topografische kaarten is het patroon van aanwinning en bedijking dan ook nog vaak terug te vinden. De kwelders hebben ondertussen deze

belangrijke rol in principe verloren. Momenteel vind er in Nederland al enkele decennia geen landaanwinning meer plaats.

Met vernieuwde interesse in de werking van kwelders op golfremming in de kustzone is het mogelijk dat kwelders in de toekomst weer een belangrijke rol gaan spelen op het gebied van veiligheid.

3.5 Kwelders en Kwelderwerken

In deze paragraaf wordt ingegaan op wat het verschil is tussen kwelders en kwelderwerken.

In Figuur 5 is het verschil weergegeven tussen kwelders en kwelderwerken. Op de linker afbeelding is een deel van de kwelders op de oostelijke punt van Terschelling weergegeven. Op de rechter afbeelding zijn de kwelderwerken van Friesland buitendijks weergegeven. Het verschil tussen de natuurlijke en onnatuurlijke kwelders is overduidelijk te zien.

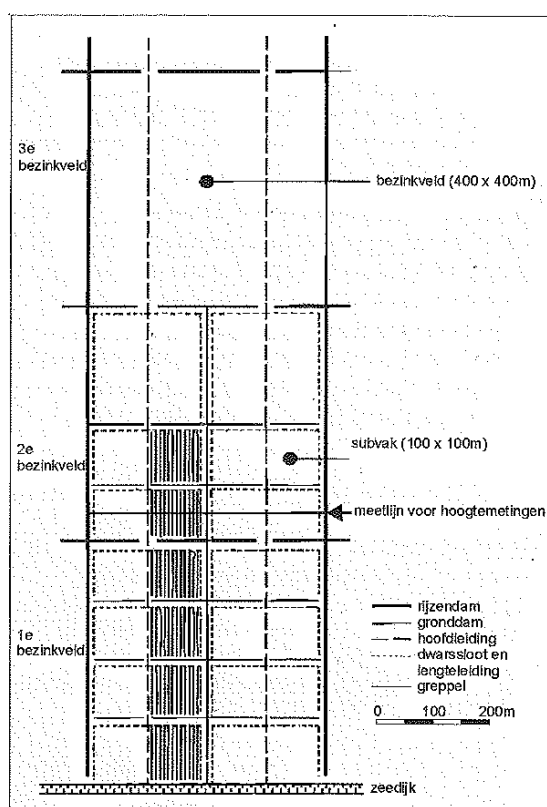


Figuur 5 Kwelders op Terschelling (l) en kwelderwerken Friesland buitendijks (r) (bron: Googlemaps, 2011)

Kwelderwerken

Bij kwelderwerken wordt, voor het versneld aanwinnen van land, ingespeeld op het ontstaansproces van kwelders. Bij kwelderwerken wordt gebruik gemaakt van het natuurlijke proces van sedimentatie maar men laat dit bijvoorbeeld op locaties gebeuren waar natuurlijke kwelders wellicht niet waren ontstaan. Dit gebeurt door middel van rijshouten dammen die er voor zorgen dat het water voldoende in rust komt voor sediment om te kunnen bezinken. Vandaar de kenmerkende structuur van kwelderwerken ten opzichte van het natuurlijke verloop van een kwelder (zie Figuur 5).

Deze taak werd overgenomen door de oevereigenaren. Voor de oevereigenaren was dit winstgevend aangezien ze hierdoor extra land kregen. Dit gebeurde in het begin alleen met kwelders daarna ook met slibvelden. Het eigendomsrecht van de oevereigenaren over deze kwelders werd later ingeperkt door Delimitatiecontracten. Deze contracten gelden vandaag de dag nog en geven de boeren een recht op een begrazingstrook van 300 meter zeewaarts. De overheid beheert de onbegrasbare gedeeltes voor de kustveiligheid. Mocht door dit beheer de beweidbare grond toenemen, dan heeft de oevereigenaar het recht voor de eerste koop.



Figuur 6 Indeling kwelderwerken (Bron: Dijkema et al., 2001)

De term kwelderwerken is in 1939 geïntroduceerd, de naam is aangepast van landaanwinning naar kwelderwerken met de volgende reden: de zone werd niet alleen maar gebruikt als land aanwinning maar ook voor kustverdediging. Later is deze kustverdediging vastgelegd in het status quo van het voorland voor de zeedijk (1969). Later is daar nog de taak van bescherming en herstel van de natuurlijke waarden bijgekomen (1980) (Dijkema et al., 2001).

Vandaag de dag worden de kwelderwerken nog steeds onderhouden om de natuurwaarden van de kwelders te waarborgen. Kwelderwerken verschillen in het opzicht met kwelders omdat er gewerkt (onderhoud) moet worden. (Kwelder – WERKEN) “zonder het huidige werken zouden deze kwelders er niet zijn en zonder het huidige werken zullen ze niet blijven”.

Kwelders kunnen over het algemeen gemakkelijk worden beheerd door middel van bijvoorbeeld begrazing. Deze begrazing is nodig om het huidige systeem te behouden. Als er geen begrazing plaats vindt zal de kwelder blijven groeien omdat de planten steeds hoger worden en daarom meer sediment vasthouden.

Bij kwelderwerken is meer beheer nodig omdat kwelderwerken vaak gelegen zijn op locaties waar van nature geen kwelders zouden ontstaan. Dit beheer houdt in, beheer van bezinkingsvelden, open houden van greppels en begrazing. De bezinkingsvelden moeten worden beheerd voor ter bevordering van het sedimentatie proces, als dit niet gebeurt zal er na enige tijd afslag plaats vinden.

Bij het onderhoud van greppels is ontwatering nodig, anders ontstaan er verschillende nattere plekken op de kwelderwerken. Bij langdurige overstroming van vegetatie sterft dit af waardoor de kwelder op deze plekken niet meer beschermd is tegen invloed van de zee.

Om de successie van het groei proces tegen te gaan is begrazing nodig. Er is wettelijk vastgesteld hoeveel areaal er van elke kwelder zone dient te zijn. Dit kan alleen worden behouden door middel van begrazing of het maaien van de kwelder.

3.6 Huidige situatie in de Dollard

Uit onderzoek van Arcadis in 2006 is gebleken dat kwelderwerken in de Dollard last hebben erosie aan de kwelder rand (*Arcadis, 2006*). Ondanks voldoende sediment en opslibbing vindt er toch erosie plaats. Dit vindt vooral plaats in de pionierszone.

In de laatste decennia is in de Dollard het kwelderareaal langzaam teruggelopen. In 1981 was er nog circa 748 ha kwelder aanwezig in de Dollard, in 1999 was dit terug gelopen naar circa 694 ha (*Dijkema et al, 2005*). Ook in de periode daarna blijkt dat er tot 2006 erosie heeft plaats gevonden in de Dollard. Het kwelder areaal blijft langzaam teruglopen, blijkt uit onderzoek van Arcadis uit 2006 (*Arcadis, 2006*). De verdere erosie van kwelders is niet gewenst, ook uit een wettelijk oogpunt in verband met instandhoudingdoelstellingen.

4 Bijdrage kwelders aan kustverdediging

4.1 Bestaand onderzoek en resultaten

Over de bijdrage van kwelders aan de veiligheid bestaat veel onduidelijkheid. Voor afgekeurde dijken, in bijvoorbeeld het Waddengebied, wordt het aanleggen van een kwelder als snel aangehaald als een mogelijke oplossing om de zeedijk weer te laten voldoen aan de eisen (*Waddenvereniging, 2010*). Het toepassen van kwelders zou als voordeel hebben dat zeedijken lager en minder breed uitgevoerd kunnen worden, bij de afname van de golfslag op de dijk neemt ook de druk op de dijkbekleding af. Dit is bijvoorbeeld financieel aantrekkelijk. Het aanleggen of verbreden van kwelders zou daarnaast natuurwaarden in het gebied versterken. Dit is waarschijnlijk gebaseerd op aannames en inzichten van betrokken personen maar zoals in het literatuuronderzoek naar voren is gekomen niet gebaseerd op berekeningen.

Vuistregel

Concrete cijfers over de daadwerkelijke bijdrage van kwelders aan de kustverdediging ontbreken. Er is echter wel veel belangstelling voor het onderwerp. Hierdoor zijn er wel aannames gedaan die in basis wel waar kunnen zijn, ofschoon harde cijfers en berekeningen ontbreken. Er is wel een vuistregel waarmee ongeveer bepaald kan worden wanneer een kwelder de golven wel of niet zou dempen. De vuistregel zegt dat kwelders golven dempen als de waterdiepte minder is dan 2 maal de golfhoogte (*Waddenvereniging, 2010*). Uit het literatuuronderzoek is echter niet gebleken waar deze aannames op gebaseerd zijn.

In landen zoals Denemarken en Duitsland worden kwelders wel als onderdeel van de zeewering gezien vanwege hun golfremmende werking (*Hofstede, 2003*). Precieze cijfers over hoeveel golfremming deze kwelders bewerkstelligen zijn in het literatuuronderzoek niet naar voren gekomen. Hierbij moet worden opgemerkt dat i.v.m. de tijd voor het onderzoek en de taalbarrière, er mogelijk data over het hoofd zijn gezien over hoe er in deze landen met kwelders als onderdeel van de kustverdediging wordt omgegaan.

In het kader van het Deltaprogramma in het Waddengebied is er een quickscan (*Ministerie I&M, 2011*) uitgevoerd voor een onderzoek naar de mogelijkheden voor het toepassen van onder andere kwelders voor de reductie van golfslag. Ook uit deze quickscan is onder andere gebleken dat concrete feiten en cijfers over de werking van kwelders momenteel ontbreken.

In het kader van het probleem in de Dollard is in 2010 onderzoek

gedaan naar de golfdempende werking van de huidige kwelders in de Dollard (*Drijfhout, 2010*). Uit dit onderzoek bleek dat de huidige kwelders enige golfdempende werking hebben ten aanzien van de fictieve situatie zonder kwelder. Procentueel lag de reductie tussen 10 a 20% afhankelijk van locatie. Hierin is ook gekeken naar het Duitse deel van de Dollard. Hierbij moet opgemerkt worden dat het onderzoek in principe dezelfde beperkingen heeft als het voorliggende onderzoek en dus slechts inzicht geeft in de werking van de kwelder. De uitkomst is geen realistische weergave van de werkelijkheid.

4.2 Conclusie huidige resultaten

Uit de voorgaande alinea kan geconcludeerd worden, dat ondanks de interesse in kwelders en de mogelijke meerwaarde van kwelders als onderdeel van onze kustverdediging, er momenteel meer vragen dan antwoorden zijn.

De theorie dat kwelders de golfslag kunnen reduceren wordt ondersteund door de schaarse data die momenteel voorhanden zijn. Er ontbreken echter duidelijke onderzoeksresultaten waarbij in het onderzoek alle parameters en factoren zijn meegenomen die invloed hebben op de golfreductie. Hierdoor kan er geen goede conclusie worden gegeven over wat de werkelijke waarde is van kwelders binnen onze kustverdediging. Op voorhand kan dus niet worden gezegd of het toepassen of het aanpassen van kwelders een oplossing is om afgekeurde dijken in het Waddengebied weer te laten voldoen aan de wettelijke eisen.

Met dit onderzoek is geprobeerd inzicht te krijgen in de werking van een versterkte kwelder. De versterkte kwelder is een aangepaste bestaande kwelder waarin een golfbreker wordt geïntegreerd. Het onderzoek richt zich op wat voor effect deze geïntegreerde golfbreker gaat hebben op de golfremmende werking van ten aanzien van de huidige situatie. Hiermee wordt geprobeerd of het mogelijk is bij bestaande kwelders de golfremmende eigenschappen zo aan te passen dat deze extra golfremming bewerkstelligen.

5 Effecten van de versterkte kwelder

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op hoofdvraag 1 van het onderzoek. Het doel is om te onderzoeken wat de effecten zijn van het toepassen van een versterkte kwelder in Dollard op de golfremmende werking van bestaande kwelders.

5.2 Het ontwerp

In de inleiding werd al aangegeven hoe het idee van een zogenaamde versterkte kwelder tot stand is gekomen. Het idee van de versterkte kwelder is om het golfremmende effect van bestaande kwelders in de Dollard te versterken. In dit ontwerp wordt geprobeerd het golfremmende effect te versterken door middel van geïntegreerde golfbreker met de visuele eigenschappen van een kwelder om de visuele impact te beperken. Het doel van de golfbreker spreekt waarschijnlijk voor zich, namelijk het versterken van de golfremmende eigenschappen van de bestaande kwelder.

Er is momenteel weinig inzicht in wat nu de werkelijke bijdrage is van kwelders aan de veiligheid van een zeedijk. Doordat kwelders een aantal unieke eigenschappen hebben zoals beschreven in hoofdstuk 4 is er een groeiende interesse in het mogelijke toepassen van kwelders om de veiligheid van dijken te verbeteren.

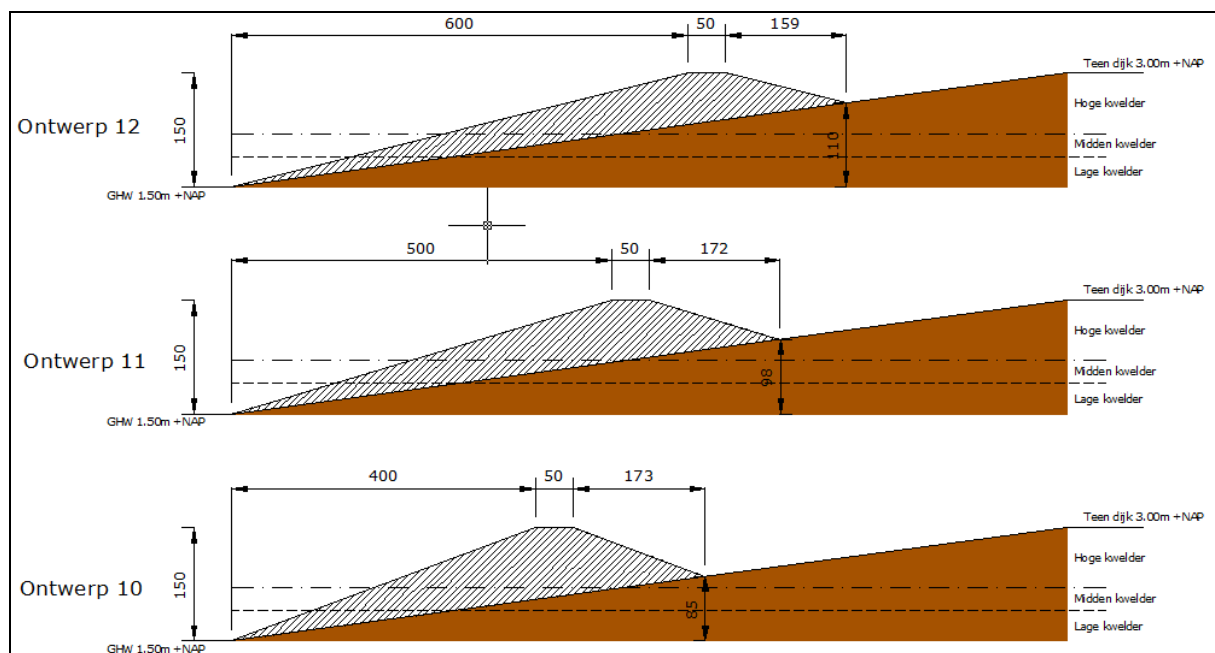
Als kwelders een positieve en significante bijdrage kunnen leveren aan de veiligheid van een zeedijk, is het in de toekomst wellicht mogelijk financiële ondersteuning te vinden voor het behoud en onderhoud van de bestaande kwelders. Hiermee worden de natuurwaarden van kwelders veilig gesteld. Omdat het behoud van kwelders en zo nodig de uitbreiding ervan een beleidsdoelstelling van onder andere de Europese Unie is kan dit belang veilig gesteld worden door dit koppelen aan de veiligheid van de zeedijk. Het veilig stellen van de natuurwaarden in combinatie met kustverdediging was een van de eerste punten die naar voren kwam bij het uitwerken van het idee en is wellicht het belangrijkste uitgangspunt van het ontwerp.

Vormgeving versterkte kwelder

De versterkte kwelder is een bestaande kwelder met daarin een geïntegreerde golfbreker. Het idee achter het integreren van een golfbreker is, dat een golf twee maal de oploop ondergaat en hierdoor meer golfenergie verliest dan bij eenmaal een oploop. Deze golfbreker heeft de visuele eigenschappen van een kwelder en kan

worden gezien als een stuk hoge kwelder die vooraan op de kwelder is gesitueerd.

In Figuur 7 zijn drie voorbeelden van het ontwerp weergegeven. Het gaat hier om de ontwerpen voor een kwelderlengte van 1100 meter. Uit onderzoek van Drijfhout is gebleken dat de kwelders in de Dollard een breedte hebben tussen de 300 meter (minimale breedte) en 1100 meter (maximum breedte) (2010). Het 1100 meter brede deel bevindt zich in het Nederlandse deel van de Dollard en de 300 meter in het Duitse deel van de Dollard. Er is in het onderzoek geen onderscheid gemaakt in het Duitse of Nederlandse deel.



Figuur 7 Voorbeeld versterkte kwelder (Ontwerpen 10, 11 en 12, zie ook bijlage 1)

Het ontwerp is gebaseerd op kwelders met een breedte van 1100 meter. Deze afmeting is niet representatief voor de hele Dollard, een deel van de Dollard heeft een kleinere breedte dan 1100 meter. Bij een kleinere breedte is het lastig om een golfbreker te integreren in de kwelder. Aangezien het kwelder areaal in de Dollard over de laatste 50 a 60 jaar sterk is terug gelopen, is het mogelijk door middel van het toepassen van een bredere kwelder een deel van dit historische areaal te herstellen.

Voor alle ontwerpen geldt dat er wordt gevarieerd met de afmetingen en positionering van de golfbreker op de kwelder. Er is dus één ontwerp waarvan verschillende varianten bestaan. Vanwege het ruimtebeslag gaan we uit van één golfbreker.

5.3 Uitgangspunten van het ontwerp

Bij het opstellen van het ontwerp zijn een aantal elementen sturend geweest.

Visuele invloed

Het belangrijkste aspect van de ontwerpen is, dat de golfbreker **visueel inpasbaar** is, in zowel de kwelder zelf als de omgeving, de Dollard zelf. Het aspect visuele inpasbaarheid is gebaseerd op een vergelijking tussen de bestaande situatie (grasbekleding) en de visuele veranderingen die een oplossing als gevolg hebben. Hierbij zetten we traditionele oplossingen met harde bekleding af tegen de versterkte kwelder. Omdat de versterkte kwelder de visuele eigenschappen heeft van een kwelder is de verwachting dat de visuele impact aanzienlijk minder zal zijn dan bij de traditionele oplossingen.

Als het niet nodig is de huidige grasbekleding van de dijk te vervangen zal de visuele impact veel minder groot zijn bij de versterkte kwelder dan bij andere oplossingen met een harde bekleding. Een lage visuele impact zal ook mogelijk ook op minder weerstand stuiten bij stakeholders omdat het meer natuurlijke uitstraling in de huidige situatie blijft bestaan. Klimaatbestendige oplossingen hebben bijvoorbeeld de voorkeur van de Waddenvereniging en het niet hoeven te asfalteren van de dijk sluit hier op aan (*waddenvereniging.nl*, 2012).

Belangen versterking

Het tweede uitgangspunt van het de versterkte kwelder is dat het veiligheidsbelang niet ten koste mag gaan van andere belangen en waar mogelijk andere belangen in het gebied moet versterken.

Het gebruik voor veehouderij maar ook recreatief gebruik wordt hierdoor niet benadeeld. Dit kan gewoon blijven plaats vinden in de nieuwe situatie. Omdat de gedachte achter het ontwerp is de kwelders deel uit te laten maken van de kustverdediging is het wellicht mogelijk bescherming en onderhoud van de kwelders hierdoor in de toekomst te waarborgen. Het is noodzakelijk de kwelder goed te onderhouden om de veiligheid te garanderen.

Daarnaast biedt het ontwerp de mogelijkheid het gebied toegankelijk te maken voor recreatief gebruik zoals vogelkijken, wandelen, etc.. In het ontwerp zouden bij uitwerking de juiste voorzieningen kunnen worden opgenomen om dit mogelijk te maken.

Doordat het noodzakelijk is de kwelder iets te verbreden worden ook natuurwaarden in het gebied versterkt en uitgebreid. Financiële middelen voor het onderhoud en beheer het gebieden zou voort kunnen komen uit de koppeling tussen kwelder en zeedijk die het

nodig maakt de kwelder in de juiste vorm en oppervlak te behouden.

Kwelder herstel

Uit onderzoek is gebleken dat het aantal hectares kwelders sinds enkele decennia langzaam terug loopt. Was er in 1981 in de Dollard nog 740 hectare kwelder, in 1994 was dit terug gelopen naar 710 hectare (*Esselink, 2000*). Sinds dat moment is het aantal hectare nog verder terug gelopen en momenteel vindt er structureel circa 2 hectare kwelder erosie plaats op jaarbasis (*Arcadis, 2006*). Er is een duidelijk overzicht van het historische areaal over de afgelopen 2 eeuwen. Bij een kwelderbreedte van 1100 meter is het mogelijk een deel van het historische kwelder areaal hersteld kan worden.

Daarnaast is kwelder herstel in de Dollard van belang omdat er nog steeds structureel lichte erosie van kwelders plaats vindt. De afname tussen het jaar 2000 en het 2006 lag gemiddeld 2,4% tot 4% over deze periode (*Arcadis, 2006*).

Hoewel uit onderzoek is gebleken dat niet elke stakeholder in het gebied dit als een groot probleem ervaart is de verdere afname van kwelderareaal niet gewenst (*Arcadis, 2006*). Uit het beheersplan van de provincie Groningen (*Arcadis, 2006*) blijkt dat de afname van het kwelder areaal in strijd is met de Kaderrichtlijn Water en het RAMSAR verdrag. Betere bescherming en herstel van de kwelder is dus van groot belang.

Meegroei en zelf herstellend vermogen

Kwelders beschikken over meegroei- en zelf herstellend vermogen. Zoals eerder gezegd is uit onderzoek gebleken dat er voldoende slib voorhanden is om de geschetste zeespiegelstijging op te vangen (*KNMI, 2011*). Hier bij moet wel opgemerkt worden dat het wel afhankelijk is van welk klimaatsveranderingsscenario men hanteert.

Uit onderzoek is gebleken dat de opslibbing voor de Friese kwelders bruto circa 1,2 cm per jaar is. Voor de Groningse kwelder is dit circa 1,1 cm per jaar (*Oost et al, 1998*) (*van Duin et al, 2008*). Hier uitvalt op te maken dat de kwelders bij een voorspelde stijging van circa 9 a 10 mm per jaar kwelders blijven doorgroeien ten opzichte van de zeespiegelstijging.

5.4 Opstellen van ontwerp

Bij het opstellen van het ontwerp gaan we uit van een kwelderbreedte van 1100 meter. Vooraf is geschat dat bij een kleinere kwelderbreedte het integreren van een kwelder lastig wordt en niet meer haalbaar is. Bij de ontwerpen is stapsgewijs gevarieerd in de **oploop** van de golfbreker (voet kwelder tot top golfbreker), de **hoogte** van de golfbreker en de **breedte van de rug** van de golfbreker om te onderzoeken bij welke specifieke afmetingen het gunstigste effect wordt behaald. De hoogte van de golfbreker is maximaal 0,5m

hoger dan de hoge kwelder. Hiervoor is gekozen omdat er bij een grotere hoogte nog amper sprake is van een kwelder en de verhoging wijkt dan sterk af van het bestaande beeld van de Dollard. Dit komt voor uit het aspect visuele inpasbaarheid.

Deze stappen zijn in eerste instantie vrij grof om bij een gunstig resultaat een nauwkeurigere gevoeligheidsanalyse te doen.

5.5 Programmatuur

SwanOne

Om te bepalen of de golfhoogte wordt beïnvloed door de versterkte kwelder wordt gebruik gemaakt van het programma SwanOne.

SwanOne is een versimpelde, grafische versie van golfmodel Swan dat ontwikkeld is door de TU Delft. Het model berekent aan de hand van specifieke parameters en een bodemprofiel het golfhoogteverloop over dit profiel. Op deze manier kan bepaald worden wat de golfhoogte zal zijn bij de teen van de dijk. Hierbij opgemerkt worden dat SwanOne een één dimensionaal golfmodel is. Dit is tevens een van de beperkingen dit model.

Het programma gaat uit van windgolven en stromingsinvloeden. Van dat laatste wordt in dit geval op aanraden van de handleiding van het programma geen gebruik gemaakt vanwege de verwachte geringe invloed op het resultaat. Daarnaast is de verwachting dat stroming weinig tot geen invloed zal hebben gezien de geografische ligging van de Dollard die stroming beperkt. Getijde stroming wordt ook niet meegenomen aangezien de verwachting is dat deze amper aanwezig is omdat de berekening uit gaat van het hoogtepunt van een springvloed tijdens storm.

Werking SwanOne

Voor de precieze werking van SwanOne en de wiskundige achtergrond van het programma wordt verwezen naar de handleiding in Bijlage 4, pagina 10 van de bijlage.

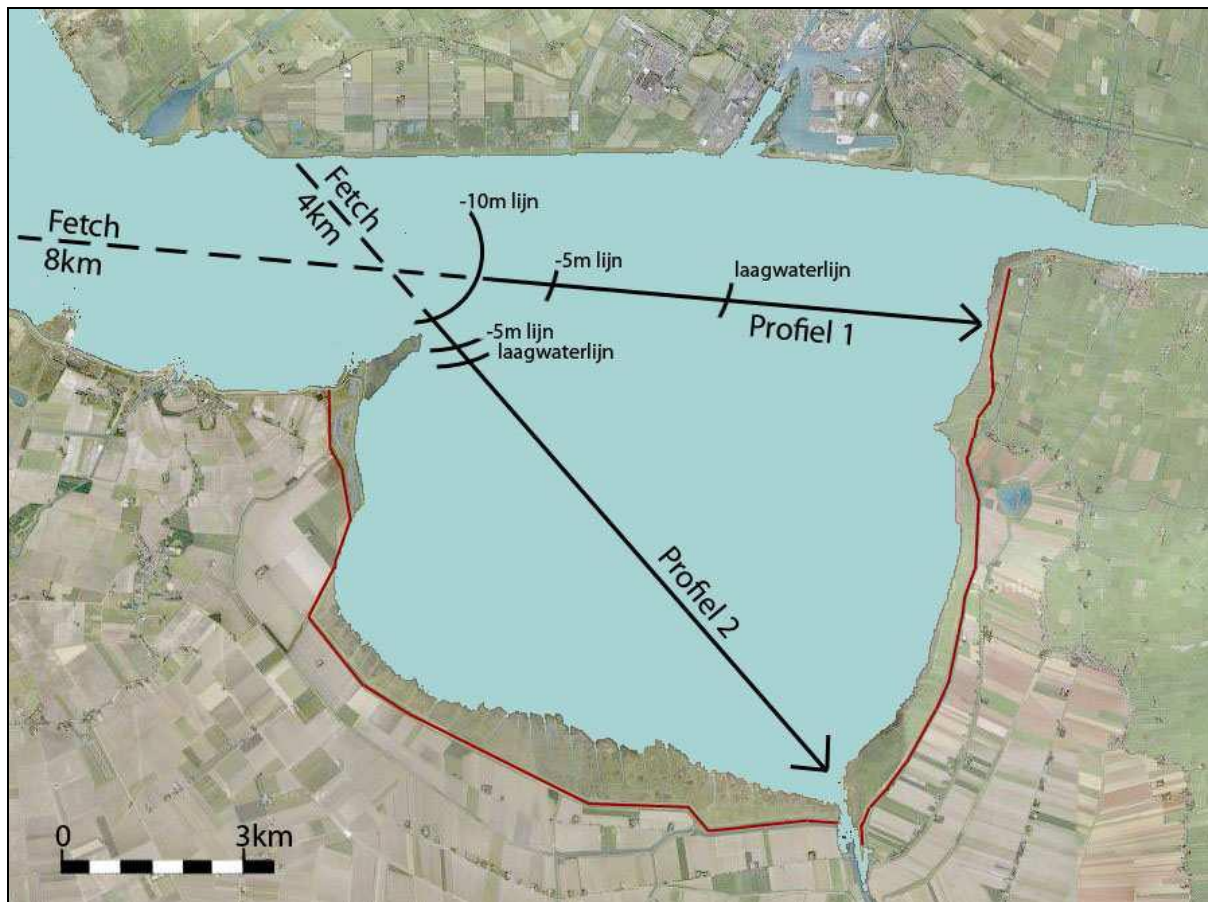
Er is gebruik gemaakt van SwanOne versie 9.04.

5.6 Profielen

Voor dit onderzoek wordt uitgegaan van 2 profielen die eerder bepaald zijn in het onderzoek van Drijfhout (*Drijfhout, 2010*). Profiel 1 is gesitueerd op het punt van de minimum kwelderbreedte in de Dollard, namelijk 300m. Dit deel van de kwelders betreft het Duitse deel van de Dollard Profiel 2 is gesitueerd op het punt waar de kwelder op zijn breedst is, namelijk 1100 meter.

Het uitgangspunt van dit onderzoek is om het ontwerp te berekenen met de omstandigheden geldend voor beide profiellijnen. Voor dit

onderzoek wordt uitgegaan dat in beide situaties een ontwerp van 1100 meter wordt toegepast en dus de kwelder uitgebreid dient te worden.



Figuur 8: Situering profiellijnen (bron: Drijfhout, 2010)

5.7 Uitgangspunten berekening

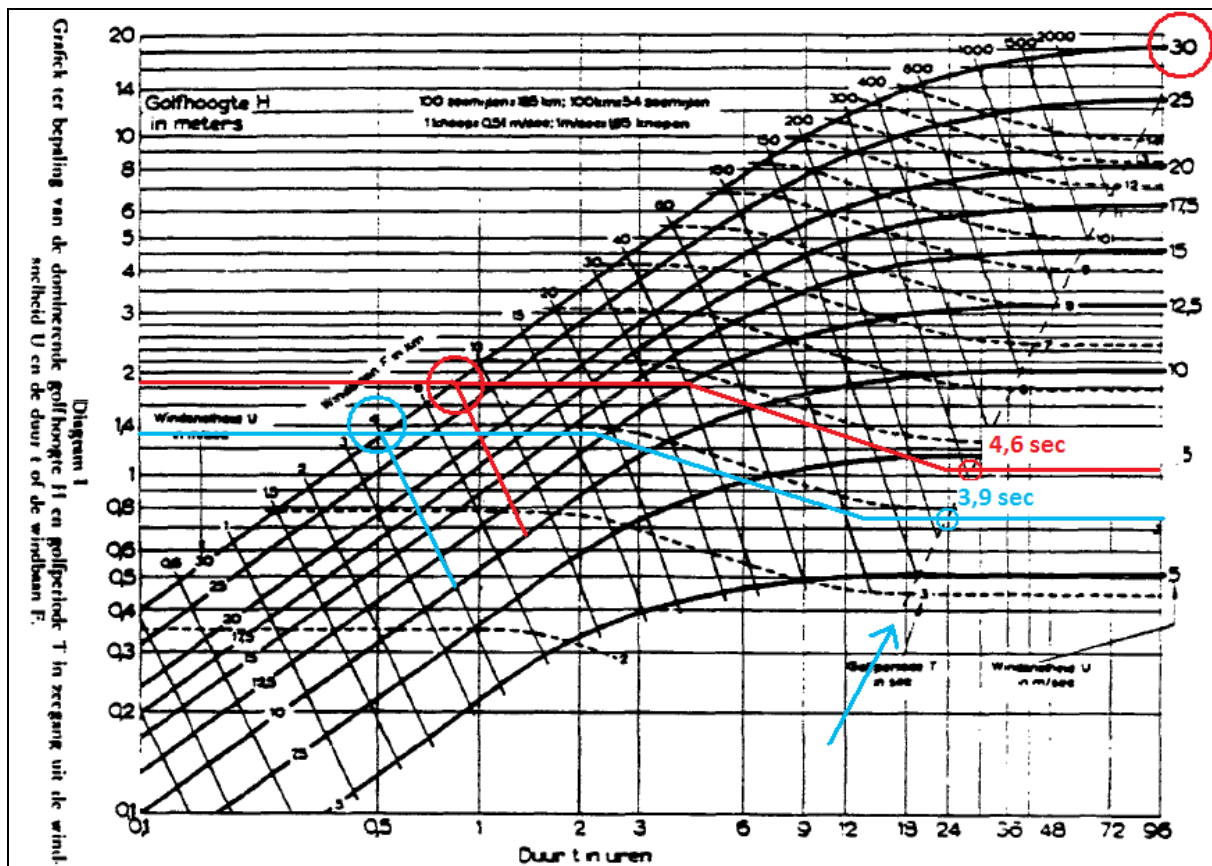
De benodigde parameters voor betreffende dijksectie van profiel 2 zijn ontleend aan het document, *Hydraulische Randvoorwaarden* van Rijkswaterstaat (*Verkeer en Waterstaat, 2007*). In dit document staat alle toetsingspeilen, golfhoogtes en golfperiodes voor alle primaire waterkeringen in Nederland.

Voor **profiel 1**, het Duitse deel van de Dollard zijn deze parameters bepaald aan de hand van de windgrafiek uit het document *Rekenregels voor waterbouwkundig ontwerpen* van Rijkswaterstaat (*Rijkswaterstaat, 1990*). Deze rekenregels vormen de basis van de Hydraulische Randvoorwaarden. Op deze manier is gewaarborgd dat de achterliggende berekening voor parameters voor het Duitse deel overeen komen met de parameters die worden geven in de Hydraulische Randvoorwaarden voor het Nederlandse deel.

Windkracht

In de berekeningen wordt uitgegaan van een extreme situatie met een windsnelheid van 30 m/s, wat ongeveer overeenkomt met windkracht

11. Aan de hand van de profiellijnen kan de lengte van de windbaan worden bepaald. Voor profiel 1 is dan 8 kilometer en profiel 2 4 kilometer.



Figuur 9 Golfgroei (Bron: RWS, 1990)

De bovenstaande afbeelding geeft weer hoe de parameters voor de berekening van de kwelders aan de Duitse zijde van de Dollard zijn bepaald. Voor het gemak zijn ook de parameters voor de Nederlandse zijde weergegeven. Met deze grafiek kan men bepalen wat de golfeigenschappen worden in een bepaalde situatie. De grafiek is opgesteld aan de hand van het achterliggende rekenmodel wat beschreven staat in *Rekenregels voor waterbouwkundig ontwerpen*.

De windgrafiek dient als volgt te worden gelezen. Aan de rechterzijde van de grafiek wordt de windsnelheid afgelezen, namelijk 30 m/s. Vervolgens wordt op de diagonale as de juiste strijklengte van de windopbouw bepaald. In dit geval 4 kilometer (blauwe cirkel) en 8 kilometer (rode cirkel). Nadat dit is gedaan kan vervolgens op de gestippelde diagonale as (blauwe pijl) worden bepaald wat de golfperiode is. Op de linker as van de tabel kan de golfhoogte worden bepaald (rode en blauwe lijn).

De resultaten hiervan zijn kort samengevat in hoofdstuk 5.8.

5.8 Invoer parameters

De benodigde parameters zijn hier samengevat.

Parameters

- Windsnelheid is 30m/s (circa windkracht 11)
-
- Voor een strijklengte van 8km geldt:
 - $H_s = 1,8\text{m}$
 - $T = 4,6\text{s}$
- Voor een strijklengte van 4 km geldt:
 - $H_s = 1,3\text{m}$
 - $T = 3,9\text{s}$
- Waterstand (SWL) = 6,8m + NAP

Deze parameters beschrijven een storm die volgens de eisen slechts een maal per vier duizend jaar voor komt.

5.9 Resultaten

Uit de berekeningen die gemaakt zijn met SwanOne zijn de volgende resultaten gekomen:

De invoer golfhoogte is weergegeven in kolom 2. In kolom 3 is de golfhoogte weergegeven bij de teen van de dijk. De golfreductie is weergegeven in kolom 4. Het percentage is het verschil tussen de golfhoogte in de huidige situatie (regel 1) en de nieuwe situatie.

Uitkomsten berekeningen:			
	Hs INVOER	Hs DIJK	REDUCTIE
Profiel 2 huidige sit.	1,3m	1,53 m	
Ontwerp 1:	1,3m	1,51 m	1,1%
Ontwerp 2:	1,3m	1,50 m	1,7%
Ontwerp 3:	1,3m	1,49 m	2,3%
Ontwerp 4:	1,3m	1,52 m	0,6%
Ontwerp 5:	1,3m	1,51 m	1,4%
Ontwerp 6:	1,3m	1,50 m	1,9%
Ontwerp 7:	1,3m	1,53 m	0,1%
Ontwerp 8:	1,3m	1,51 m	0,8%
Ontwerp 9:	1,3m	1,50 m	1,4%
Ontwerp 10:	1,3m	1,51 m	1,1%
Ontwerp 11:	1,3m	1,49 m	2,5%
Ontwerp 12:	1,3m	1,48 m	2,7%
Ontwerp 13:	1,3m	1,47 m	3,9%
Ontwerp 14:	1,3m	1,45 m	5,1%
Ontwerp 15:	1,3m	1,43 m	6,4%
Ontwerp 16:	1,3m	1,48 m	3,3%
Ontwerp 17:	1,3m	1,46 m	4,2%
Ontwerp 18:	1,3m	1,46 m	4,3%
Ontwerp 19:	1,3m	1,49 m	2,5%
Ontwerp 20:	1,3m	1,47 m	3,5%
Ontwerp 21:	1,3m	1,48 m	3,3%
Ontwerp 22:	1,3m	1,46 m	4,1%
Ontwerp 23:	1,3m	1,45 m	4,9%
Ontwerp 24:	1,3m	1,44 m	6,0%

Tabel 1: Uitkomst berekeningen

In de Bijlage 1 zijn de ontwerptekeningen te vinden. In bijlage 2 geeft het golfverloop over het profiel weer in een grafiek. Hierbij is altijd de huidige situatie weergegeven zodat het verschil ten opzichte van de huidige situatie inzichtelijk wordt.

Bij het maken van de modelberekeningen met SwanOne is als eerste uit gegaan van profiel 2. De specifieke omstandigheden bij profiel 1 zijn ongunstiger voor de golfremmende werking van de versterkte kwelder vergeleken met profiel 2. Het resultaat van profiel 1 zal dus lager uitpakken dan profiel 2 waardoor het berekenen van het effect

bij profiel 1 geen nieuwe inzichten zal geven in de werking van het ontwerp.

5.10 Analyse uitkomsten

In deze paragraaf worden de uitkomsten van de modelberekening geanalyseerd. Hierbij worden aan de hand van de volgende variabelen vergelijkingen gemaakt tussen de verschillende ontwerpen:

- Breedte: is de breedte van de rug van golfbreker.
- Oploop: is de zee zijde van de golfbreker van de GHW naar de top.
- Hoogte: is de hoogte van de top van de golfbreker.

Invloed oploop

De ontwerpen zijn voor de analyse gegroepeerd in tabel 2 in ontwerpen met gelijke hoogtes, namelijk 1,5 en 2 meter en op gelijke breedte van de rug van de golfbreker (100, 200 en 300 meter). Het resultaat is hieronder in tabel 2 weergegeven.

Ontwerp	Oploop	Breedte	Hoogte	Afloop	Reductie	Verschil
Breedte gelijk = 100m, hoogte gelijk = 1,5m						
7	100	100	1,5	75	0,1	
4	200	100	1,5	123	0,6	+ 0,5
1	300	100	1,5	150	1,1	+ 0,5
Breedte gelijk = 200m, hoogte gelijk = 1,5m						
8	100	200	1,5	67	0,8	
5	200	200	1,5	108	1,4	+ 0,6
2	300	200	1,5	129	1,7	+ 0,3
Breedte gelijk = 300m, hoogte gelijk = 1,5m						
9	100	300	1,5	58	1,4	
6	200	300	1,5	92	1,9	+ 0,5
3	300	300	1,5	107	2,3	+ 0,4
Breedte gelijk = 100m, hoogte gelijk = 2m						
19	100	100	2	81	2,5	
16	200	100	2	140	3,3	+ 0,8
13	300	100	2	181	3,9	+ 0,6
Breedte gelijk = 200m, hoogte gelijk = 2m						
20	100	200	2	74	3,5	
17	200	200	2	128	4,2	+ 0,7
14	300	200	2	164	5,1	+ 0,9
Breedte gelijk = 300m, hoogte gelijk = 2m						
21	100	300	2	58	3,3	
18	200	300	2	116	4,3	+ 1,0
15	300	300	2	147	6,4	+ 2,1

Tabel 2 Vergelijking gelijke breedte, gelijke hoogte

Hoogte van 1,5m Uit tabel 2 valt op te maken dat bij gelijke hoogte en breedte het vergroten van de oploop een grotere golfreductie teweeg brengt. Wat opvalt, is dat bij de ontwerpen met een hoogte van 1,5 meter en

gelijke breedte (100 meter), bij een toenemende oploop van 200 naar 300 meter de toename van de golfreductie gelijk blijft (ontwerpen 7 en 4). Bij ontwerpen 5 en 2 en ontwerpen 6 en 3 is neemt de toename in golfreductie af (richting 0,0).

Hoogte van 2,0m

De boven genoemde trend is deels terug te vinden bij de ontwerpen met een hoogte van 2 meter. Ook hier lijkt het effect van het vergroten van de oploop af te vlakken. Uitzondering hierop zijn ontwerpen 21, 18 en 15. Hier is duidelijk een sterke toename te zien in golfreductie van 2,1% bij ontwerp 15 ten opzichte van ontwerp 18. Bij dit ontwerp zijn de optimale afmetingen nog niet bereikt en valt er meer winst te behalen bij het verder vergroten van de oploop.

Ontwerp	Oploop	Breedte	Hoogte	Afloop	Reductie	Verschil
Breedte gelijk = 100m, hoogte gelijk = 1,5m						
10	400	50	1,5	173	1,1	
11	500	50	1,5	172	2,5	+ 1,4
12	600	50	1,5	155	2,7	+ 0,2
Breedte gelijk = 200m, hoogte gelijk = 2m						
22	400	50	2	218	4,1	
23	500	50	2	233	4,9	+ 0,8
24	600	50	2	237	6,0	+ 1,1

Tabel 3 Vergelijking gelijke breedte, gelijke hoogte

De ontwerpen in tabel 3 wijken dus danig af van de overige ontwerpen dat deze niet met de overige ontwerpen kunnen worden vergeleken.

Hoogte van 1,5m

Wat opvalt aan de resultaten in tabel 3 is dat deze een vergelijkbare trend vertonen met tabel 2. Bij een hoogte van 1,5 meter lijkt het vergroten van de oploop vrij weinig effect te hebben als we kijken naar ontwerp 11 en ontwerp 12. Het vergroten van de oploop van ontwerp 12 is zeer beperkt en gezien de implicaties voor de uitvoering van het ontwerp (veel grotere golfbreker) lijkt dan ook niet veel toegevoegde waarde te hebben.

Hoogte van 2,0m

Bij een hoogte van 2 meter is een toename in reductie te zien bij ontwerp 24 ten opzichte van ontwerp 23. Vooralsnog lijkt er nog meer winst behaald te kunnen worden door het verder vergroten van de oploop.

Conclusie vergroten oploop

De conclusie van het vergroten op de oploop is dat de ontwerpen in tabel 2 voor een toename in de golfreductie. Uit de resultaten valt echter ook op te maken dat na een bepaalde afmeting de reductie nog wel toeneemt maar afvlakt richting 0, het vergroten van de oploop heeft geen oneindige invloed op de golfreductie.

Een ontwerp met als uitkomst 0,0 ten opzichte van voorgaande ontwerp houdt in dat het ontwerp zijn meest optimale oploop heeft

en bij verder vergroten wordt geen winst meer behaald. Geen ontwerp heeft zijn optimale afmetingen maar er valt vrijwel geen winst meer te behalen als men de oploop zou vergroten van 300 naar 400 meter. Alleen bij een hoogte van 2 meter zou bij de ontwerpen 15 en 21 zou nog meer reductie behaald kunnen worden die mogelijk interessant is.

Verder valt uit de resultaten op te maken dat er een optimale hellingshoek is. Het vergroten van de oploop (toename horizontale lengte) heeft als resultaat dat de hellingshoek afneemt (wordt kleiner). Het verkleinen van deze hellingshoek heeft als effect dat de reductie afvlakt wat duidelijk te zien is bij het merendeel van de resultaten. Zodra de toename in de reductie terugloopt ten opzichte van het vorige ontwerp is de ideale hellingshoek overschreden.

Ook hier geldt dan ontwerpen 15 en 21 nog baat lijken te hebben bij het verder vergroten van de oploop.

Invloed breedte

Naast de invloed van het vergroten van de oploop wordt hieronder naar de invloed van de breedte van de rug van golfbreker gekeken.

Ontwerp	Oploop	Breedte	Hoogte	Afloop	Reductie	Verschil
Oploop gelijk = 100m, hoogte gelijk = 1,5m						
7	100	100	1,5	75	0,1	
8	100	200	1,5	67	0,8	+ 0,7
9	100	300	1,5	58	1,4	+ 0,6
Oploop gelijk = 200m, hoogte gelijk = 1,5m						
4	200	100	1,5	123	0,6	
5	200	200	1,5	108	1,4	+ 0,8
6	200	300	1,5	92	1,9	+ 0,5
Oploop gelijk = 300m, hoogte gelijk = 1,5m						
1	300	100	1,5	150	1,1	
2	300	200	1,5	129	1,7	+ 0,6
3	300	300	1,5	107	2,3	+ 0,6
Oploop gelijk = 100m, hoogte gelijk = 2m						
19	100	100	2	81	2,5	
20	100	200	2	74	3,5	+ 1,0
21	100	300	2	58	3,3	- 0,2
Oploop gelijk = 200m, hoogte gelijk = 2m						
16	200	100	2	140	3,3	
17	200	200	2	128	4,2	+ 0,9
18	200	300	2	116	4,3	+ 0,1
Oploop gelijk = 300m, hoogte gelijk = 2m						
13	300	100	2	181	3,9	
14	300	200	2	164	5,1	+ 1,2
15	300	300	2	147	6,4	+ 1,3

Tabel 4 Vergelijking gelijke oploop, gelijke hoogte

Conclusie vergroten oploop

Gekeken naar het resultaat van het vergroten van de breedte zijn een aantal opvallende zaken te zien (Tabel 4). Het vergroten van de breedte heeft over het algemeen als resultaat dat de reductie toeneemt. Echter als we kijken naar de ontwerpen ten opzichte van elkaar, is te zien dat de reductie over het algemeen minder toeneemt bij het vergroten van de breedte (toename van 100 meter). Bij ontwerp 20 en 21 is er zelfs een negatieve invloed te zien. Hier is geen duidelijke oorzaak voor maar de meeste optimale afmetingen lijken te zijn overschreden. Bij ontwerp 14 en 15 is nog een toename in reductie waar te nemen ten opzichte van elkaar maar ontloopt elkaar slechts 0,1 punt. De efficiëntie van het vergroten van de breedte lijkt hier af te nemen bij een verdere vergroting en dus neemt de invloed van het vergroten af. Als we kijken naar de totaal resultaten en de toename in de reductie bij het vergroten van de breedte lijkt het niet interessant om meer varianten op te stellen gezien de geringe invloed van de breedte.

Invloed hoogte

Als laatste is gekeken naar de invloed van de hoogte van de golfbreker.

Ontwerp	Oploop	Breedte	Hoogte	Afloop	Reductie	Verschil
Oploop gelijk = 100m, breedte gelijk = 100m						
7	100	100	1,5	75	0,1	
19	100	100	2	81	2,5	+ 2,4
Oploop gelijk = 100m, breedte gelijk = 200m						
8	100	200	1,5	67	0,8	
20	100	200	2	74	3,5	+ 2,7
Oploop gelijk = 100m, breedte gelijk = 300m						
9	100	300	1,5	58	1,4	
21	100	300	2	58	3,3	+ 1,9
Oploop gelijk = 200m, breedte gelijk = 100m						
4	200	100	1,5	123	0,6	
16	200	100	2	140	3,3	+ 2,7
Oploop gelijk = 200m, breedte gelijk = 200m						
5	200	200	1,5	108	1,4	
17	200	200	2	128	4,2	+ 2,8
Oploop gelijk = 200m, breedte gelijk = 300m						
6	200	300	1,5	92	1,9	
18	200	300	2	116	4,3	+ 2,4
Oploop gelijk = 300m, breedte gelijk = 100m						
1	300	100	1,5	150	1,1	
13	300	100	2	181	3,9	+ 2,8
Oploop gelijk = 300m, breedte gelijk = 200m						
2	300	200	1,5	129	1,7	
14	300	200	2	164	5,1	+ 3,4
Oploop gelijk = 300m, breedte gelijk = 300m						
3	300	300	1,5	107	2,3	
15	300	300	2	147	6,4	+ 4,1

Tabel 5 Vergelijking hoogte

In tabel 5 komt duidelijk naar voren dat het verhogen van de golfbreker een sterker reducerend effect heeft dan variëren met de oploop en de breedte.

Ontwerp	Oploop	Breedte	Hoogte	Afloop	Reductie	Verschil
Oploop gelijk = 400m, breedte gelijk = 50m						
10	400	50	1,5	173	1,1	
22	400	50	2	218	4,1	+ 4,0
Oploop gelijk = 500m, breedte gelijk = 50m						
11	500	50	1,5	172	2,5	
23	500	50	2	233	4,9	+ 2,4
Oploop gelijk = 600m, breedte gelijk = 50m						
12	600	50	1,5	159	2,7	
24	600	50	2	237	6,0	+ 3,3

Tabel 6 Vergelijking hoogte

Conclusie invloed hoogte

Ook in tabel 6 is een sterke toename in de golfreductie te zien bij het verhogen van de golfbreker met 0,5 meter. Omdat het uitgangspunt was om niet sterk af te wijken van de natuurlijke hoogte van de kwelder is slechts een verhoging onderzocht van 0,5 meter hoger dan hoogste kwelder. Omdat bij het verder verhogen van de golfbreker de top van golfbreker hoger in de invloedssfeer van de golf komt te liggen en is de verwachting dat er een nog sterkere toename in reductie te realiseren is. Echter paste dit niet binnen de uitgangspunten van het ontwerp. Vandaar dat dit niet berekend is maar het biedt wel mogelijkheden voor meer varianten om verder te onderzoeken.

5.11 Conclusie

De eindconclusie is dat bij de onderzochte ontwerpen weinig tot geen noemenswaardig extra reductie behaald kan worden behalve bij ontwerp 15. Deze heeft een reductie van 6,4% maar gezien de resultaten is noch de optimale breedte, noch de optimale oploop bereikt en dus zijn hier nog meer varianten mogelijk die een beter resultaat zullen hebben.

De belangrijkste variabele is de hoogte wat logisch is gezien een hogere golfbreker hoger in de invloedssfeer van de golf komt te liggen en dus voor meer reductie zal zorgen.

Naast de hoogte lijkt het variëren met de oploop een beter resultaat te geven wat betreft de reductie dan het variëren met de breedte maar in beide gevallen neemt de reductie tot een bepaalde punt toe. Echter beide variabelen hebben een grens waarna er geen invloed meer op de golfreductie wordt uitgeoefend (tabel 3: ontwerp 2: oploop en ontwerp 21: breedte). Er treedt een soort verzadigingseffect op waarna verder vergroten geen invloed heeft of zelfs een negatief effect heeft (tabel 4: ontwerp 21).

6 Belangen en belanghebbenden

In dit hoofdstuk worden de belangen en belanghebbenden (stakeholders) besproken die aanwezig zijn in de Dollard. Voor dit onderzoek is een stakeholder-analyse gedaan om te bepalen welke belangen er spelen en wie de belanghebbenden zijn.

Directe en indirecte stakeholders

Er is in dit onderzoek, onderscheid gemaakt tussen *directe en indirecte* stakeholders. De stakeholderanalyse gedaan op basis van beschikbare literatuur (internet, websites) en algemene kennis die gerelateerd is aan de belangen van een belanghebbende.

6.1 Belangen

Het is van belang om te identificeren welke belangen er in een gebied spelen als men ruimtelijke aanpassingen wil gaan doen. Als men kiest voor een integrale aanpak of integraal ontwerp dient er namelijk rekening te worden gehouden met alle belangen.

Het is mogelijk dat een versterkte kwelder positief in kan spelen op alle primaire belangen die er in het gebied spelen.

Belangen

In de Dollard regio zijn de volgende belangen geïdentificeerd:

- Veiligheid;
- Ecologie;
- Agrarische bedrijvigheid;
- Recreatie;
- Overige economische belangen (Visserij) (*van Overzee et al., 2010*)

Veiligheid

Veiligheid is wellicht het grootste belang wat speelt in de Dollard met betrekking tot dit onderzoek. Een aanzienlijk deel van de dijken in het gebied voldoet niet langer aan de eisen. Een groot deel van Groningen bestaat uit laag liggende polders die bij een eventuele doorbraak onder zullen lopen, dit zal tot veel schade kunnen leiden. De invloedssfeer van falen van de dijk is dus veel groter dan het aanliggende gebied en vanwege dit feit spreken we van een groot belang. Van falen zal niet direct sprake zijn maar de dijken in het gebied zijn in ieder geval niet bestand tegen toekomstige extremere omstandigheden.

Ecologie

Het gebied wordt gekenmerkt door zijn unieke eigenschap namelijk dat het onderdeel is van de laatste natuurlijke zoet- zoutovergang in Nederland, namelijk het Eems-estuarium. De Dollard bezit tevens een

groot oppervlak aan kwelders. Door zijn afgelegen ligging en dunne bevolkingsdichtheid is het gebied zeer geschikt voor het ontplooiën van natuurontwikkeling. De kwelders blijken momenteel een oppervlak te hebben wat lager ligt dan gewenst is. Just door de huidige situatie en mogelijkheden voor natuurontwikkeling in de vorm van kwelderherstel wordt de ecologie als groot belang beschouwd.

Agrarisch gebruik

De kwelderwerken van de Dollard zijn voor een deel in gebruik bij boeren uit de aanliggende polders. Deze activiteiten zijn slechts beperkt en het financiële belang hiervan is onduidelijk.

Het begrazen van de kwelders is van groot belang voor de ontwikkeling van de kwelders. De natuurlijke successie van de kwelderwerken (in de zin van flora) verloopt anders door begrazing ten opzichte van het natuurlijke verloop van de successie (zonder begrazing). De diversiteit van de flora neemt toe bij begrazing en voorkomt dat slechts enkele soorten het systeem overwoekeren.

Door begrazing verandert de biodiversiteit en speelt in op lokale natuurdoelstellingen (*Oranjewoud, 2010*). Afhankelijk van wat de wensen zijn is het laten begrazen een belangrijk onderdeel van de kwelders. In de zin van beheer van de kwelder is agrarische activiteit op de kwelder wel van groot belang.

Visserij

In de Dollard is nog altijd enige visserij aanwezig in de vorm van fuikenvisserij. Het aantal fuiken loopt al enige tijd terug in de gehele Waddenzee en de vraag is voor het hoe lang deze activiteit nog ontplooid zal worden in de Dollard omdat de Aal stand sterk onder druk staat. De omvang van deze activiteit is zeer beperkt (financieel gezien). Het ontwikkelen van bredere kwelders is ook naar verwachting ook niet direct van invloed op de visserij activiteiten.

Recreatie

In de Dollard is spraken van kleinschalige recreatie zoals een kleine jachthaven bij de sluizen van Nieuwe Statenzijl. Daarnaast is een deel van het gebied toegankelijk voor wandelaars en vogelaars. Er is een vogelkijk hut aanwezig op de kwelders vlak bij Nieuwe Statenzijl. De omvang van deze activiteiten is onduidelijk maar te verwachten is dat het slechts zeer beperkt is. Er is dus eigenlijk alleen sprake van dagrecreatie. Deze vorm van recreatie ondervindt weinig last van een versterkte kwelder. Het aanbod voor wandelaars en vogelaars kan zelfs worden uitgebreid. Op de Waddeneilanden zijn kwelders ook deels toegankelijk voor wandelaars en deze activiteiten kunnen dan ook prima in de Dollard kunnen worden toegepast. Natuurgebieden

trekken over het algemeen dagjesmensen aan voor wandelingen, fotograferen en vogelkijken. Een stroom van kleinschalige recreatie in buiten gesloten seizoenen (broedseizoen) zou voor een mogelijkheid zijn om kleinschalige horeca te ontwikkelen of een impuls te geven.

Belangen samengevat

Kort samengevat, er kan geconcludeerd worden dat veiligheid en ecologische waarden de belangrijkste belangen zijn in het gebied.

Door zijn afgelegen ligging en dun bevolktheid is het gebied zeer geschikt om de ecologische waarden te versterken omdat dit niet conflicteert zoals dat elders vaak wel doet.

Deze natuurontwikkeling/versterking kan mogelijk goed gecombineerd worden met het versterken van de dijk door middel van het toepassen van een versterkte kwelder.

6.2 Belanghebbenden

Zoals gezegd zijn de belanghebbenden ingedeeld in een directe en een indirecte groep. Er spelen slechts een beperkt aantal belangen in het gebied. Hierdoor zijn er ook maar een beperkt aantal belanghebbenden in de Dollard. De kwelders zijn verdeeld in een twee tal groepen, namelijk beheerders en gebruikers. Hierbij komt nog eens dat een aantal belanghebbenden verenigd zijn in een organisatie (Oevereigenaren) en/of overeenkomende doelstellingen hebben (Beheerders).

Het onderscheid tussen directe en indirecte belanghebbenden is belanghebbenden die direct in aanraking komen met het project zoals gebruikers en beheerders en indirecte belanghebbenden zoals aanliggende gemeentes en overheden.

De volgende belanghebbenden in de Dollard zijn geïdentificeerd (*Oranjewoud, 2010*):

Directe belanghebbenden:

1. 7 Particuliere grondbezitters (veehouders) ;
2. Waddenvereniging;
3. Beheerders (Natuurmonumenten SGL¹);
4. Waterschap Hunze en Aa's.

Indirecte belanghebbenden:

5. (Rijks)overheden;
6. Gemeenten (Delfzijl, Oldambt);
7. Rijkswaterstaat (Duitse RWS).

¹ Stichting Groninger Landschap

Uit de stakeholdermatrix valt op te maken dat verschillende belangen door verschillende belanghebbenden worden gedeeld. De belangen die gedeeld worden door vrijwel alle stakeholders zijn veiligheid en ecologie.

Stakeholdermatrix

Belangen	Directe belanghebbenden				Interdicte belanghebbenden		
	1	2	3	4	5	6	7
Veiligheid	x	x		x	x	x	x
Ecologie	x	x	x	x	x	(x)	
Agrarisch Gebruik	x						
Recreatie		x	x			x	
Overige Activiteit. Zoals visserij					x		

Gebruikers/Eigenaren

In het westelijk deel van de Dollard bevinden zich de particuliere gebruikers van de kwelders, de oevereigenaren. Deze groep gebruikt de kwelders als weiland voor beweiding door vee. Als bewoners zijn zij afhankelijk van de veiligheid van de dijk. Door middel van beweiding is deze groep deels verantwoordelijk voor de ecologie op het door hen in bezit zijnde deel van de kwelders.

De eigenaren zijn tevens deels verantwoordelijke voor de ecologische toestand van de kwelders. De afslag van kwelders die met name plaats vind op het gebied van de oevereigenaren kan bijvoorbeeld voortkomen en niet goed beheer waardoor flora minder sediment kan vasthouden (*Oranjewoud, 2010*). Dit zou als resultaat kunnen hebben dat er erosie plaats vind. Dit is echter niet hun primaire belang maar de eigenaren die wel bij het (correct) beheer van het gebied betrokken te worden.

Waddenvereniging

De waddenvereniging presenteerde in het schetsboek Afsluitdijk kwelders te zien als een mogelijke toepassing bij de afsluitdijk als klimaatbuffer (*Waddenvereniging, 2010*). Deze vorm van kwelderontwikkeling komt in zeker zin overeen met het toepassen van een versterkte kwelder. Tevens is het ontwikkelen van duurzame oplossingen voor veiligheidsproblematiek één van de speerpunten van de Waddenvereniging.

Het belang van de Waddenvereniging van behoud en het duurzaam ontwikkelen van de Waddenzee komt overeen met het duurzaam aspecten van de versterkte kwelder.

Beheerders

Onder beheerders wordt verstaan de organisaties die een deel van de kwelders in bezit en beheer hebben, de natuurorganisaties. Dit zijn het Groningerlandschap, Natuurmonumenten en het Duitse NLWKN². Het belang van deze organisaties is het beheren, onderhouden en behouden van de kwelders. De beheerders bezitten het grootste gedeelte van de kwelders in de Dollard. Omdat de kwelders wettelijk gezien geen aandeel hebben in de kustverdediging beperkt hun rol zich tot het beheren van het gebied.

Waterschap Hunze en Aa's

Het waterschap is verantwoordelijk voor het garanderen van de veiligheid en het onderhoud van de zeedijk in de Dollard. Ze dienen de dijk periodiek te toetsen aan de wettelijke eisen en de dijk aan te passen wanneer deze niet meer voldoet.

Een van de duurzaamheids punten van het waterschap is:

'bij de inrichting en het beheer en onderhoud van onze watergangen maken we zoveel mogelijk gebruik van natuurlijke processen'
(Waterschap Hunze en Aa's, 2012).

Als we dit in een breder perspectief plaatsen zou het toepassen van kwelders en hun natuurlijke proces voor het vergroten van de veiligheid aansluiten bij deze doelstelling. Als er vervolgens dieper in wordt gegaan op de beleidsdoelstellingen van het Waterschap met betrekking tot kwelders vinden we in het *Beleidskader Duurzaamheid* het volgende:

'Binnen het Deltaprogramma Veiligheid wordt een nieuwe veiligheidnorm voor de toekomst bepaald. Daarnaast worden momenteel binnen het Deltaprogramma Wadden afspraken gemaakt over onderzoek naar innovatieve vormen van keringen, zoals overslagbestendige dijken en multifunctionele deltadijken en compartimentering (bijv. met slaperdijken of wegen). Binnen het deltaprogramma is ook aandacht voor het herstel van natuurlijke processen, zoals de bijdrage van kwelders aan de veiligheid en het verleggen van geulen in de Eems om aanslibbing op gewenste plaatsen te bevorderen (Waterschap Hunze en Aa's, 2010).

Uit het bovenstaande valt op te maken dat het toepassen van een versterkte kwelder voor alsnog aansluit bij de ambities van het waterschap op het gebied van duurzame ontwikkelingen binnen de kustverdediging.

² NLWKN is het Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

(Rijks)overheden

De overheden zijn verantwoordelijk voor het natuurbeleid, de veiligheid en economische ontwikkeling van het gebied. In verband met de *Kaderrichtlijn Water* en *RAMSAR* hebben de centrale overheden belang bij het ontwikkelen van een goed en stabiel kwelderareaal in Dollard. Daarnaast zijn ze indirect verantwoordelijk voor de veiligheid van onze kustverdediging.

Gemeenten

Gemeenten hebben slechts een indirect belang bij de kwelders. Betrokkenheid van de gemeentes kan worden gezocht in het ontwikkelen van toeristische en recreatieve mogelijkheden. Bij specifieke invulling van het ontwerp kunnen bijvoorbeeld wensen van de gemeente meegenomen worden om bijvoorbeeld recreatie en toerisme te stimuleren.

Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat is namens de overheid de beheerder van het Waddengebied en bij aanpassingen in het waddengebied is Rijkswaterstaat te allen tijde betrokken. Ze verlenen onder andere vergunningen voor activiteiten in het Waddengebied.

Daarnaast is Rijkswaterstaat al bezig met het onderzoek naar oplossingen voor de afslag van kwelders in de Dollard in samenwerking met de beheerders en eigenaren van de kwelders in de Dollard (*Rijkswaterstaat, 2009*). Dit project heeft als doel de kwelderwerken in de Dollard te versterken en verdere afslag te voorkomen.

6.3 Conclusie

De conclusie op hoofdvraag 2, is dat er een selecte groep belanghebbenden in het gebied actief zijn en dat er slechts een aantal belangen spelen in het gebied.

De belangrijkste belangen zijn de veiligheid, natuurlijke waarden van het gebied, Daarnaast zijn er nog kleinschalige belangen te vinden in het gebied zoals gebruik door veehouders en recreatie.

Deze belangen conflicteren in principe niet met het toepassen van een versterkte kwelder. Sommige belangen zouden zelfs versterkt kunnen worden door het toepassen van het ontwerp. Hierbij kan gedacht worden kwelderherstel en zou het toepassen van een versterkte kwelder wellicht in kunnen spelen op doelstellingen van organisaties van zoals de Waddenvereniging (klimaatsbuffers) en het Waterschap hunze en Aa's in de vorm van innovatieve kustverdediging.

7 Wet en regelgeving

Hieronder de wetten en regelgeving die van toepassing zijn op de kwelders in het Dollard-gebied. Dit hoofdstuk is toegevoegd om een beeld te geven van het aantal wetten en regels dat van toepassing is op de kwelders in de Dollard. Hierdoor wordt duidelijk gemaakt wat de haalbaarheid van het project is en of er aanpassingen in beleid noodzakelijk zijn om de toepassing van het project mogelijk te maken.

7.1 Inventarisatie van wet en regelgeving

Natura 2000 (habitat richtlijn)

De kwelders in de Dollard worden beschouwd als Natura 2000 habitats onder Natura 2000 “Waddenzee” (*Borrius en al., 2010*). Voor deze habitats bestaat een behoudsdoelstelling. Dit wil zeggen dat het huidige oppervlakte en kwaliteit van dit soort habitats in Nederland niet mag afnemen. Het gaat hier om de volgende habitattypes:

- zilte pioniersbegroeiing (h1310)
- slijkgrasvelden (h1320)
- schorren en zilte graslanden (H1330).

Deze habitattypen komen voor in de Dollard. Vooral de zilte graslanden van belang in de Dollard. Nederland heeft namelijk een zeer groot deel van deze gebieden in bezit, behoud van dit gebied is daarom niet alleen in Nederlands van belang maar ook in grote mate van belang voor Europa. Het is belangrijk voor Nederland om te voldoen aan de eisen van Natura 2000 aangezien het hier om Europees beleid gaat.

Natura 2000 is van toepassing omdat het vegetatie patroon veranderd als de kwelders worden aangelegd. Zo kunnen bijvoorbeeld door de aanleg van de versterkte kwelder Slijkgrasvelden verdwijnen en in plaats daarvan zilte graslanden ontstaan. Dit gebeurt door het verschil in hoogte en daarmee de verminderde invloed van zout door minder overstroming. Ook de behoudsdoelstelling van Natura 2000 komt in gevaar, aangezien het oppervlak wordt vergroot.

PKB Waddenzee.

De PKB Waddenzee is net als Natura 2000 ook van toepassing op de Dollard (*RIK, 2006*). De PKB vormt de leidraad van het beleid voor de Nederlandse overheid, de belangrijkste punten die voor kwelders en kust van toepassing zijn:

- Ongestoorde ontwikkeling van water verplaatsingen en geomorphologische processen.
- Een groter areaal aan “natuurlijke” kwelders.
- Duurzame ontwikkelingen van flora en fauna.
- Bescherming van flora en fauna op de buitendijkse gebieden/

- aangrenzende duingebieden.
- Behoud van de landschapsstijl.
- Mogelijkheden tot vismigratie.

Verder spreekt de PKB Waddenzee over selectief ingrijpen als doelen niet worden behaald op middenlange termijn.

De doelstelling van de PKB worden zoals het er nu uitziet niet verwacht, vandaar dat het wenselijk is om in te grijpen. Aangezien dit ontwerp uit gaat van een natuurlijkere oplossing als de bekende oplossing (zeker vanuit behoud landschap en vergroting van het kwelderareaal) is te verwachten dat de pkb weinig aanstoot neemt aan deze vorm van oplossing. Mogelijk is de pkb zelfs blij met dit ontwerp aangezien het meer mogelijkheid biedt voor uitwisseling van kleine fauna met het achterland. (harde oplossing is een barrière)

Delta commissie

De delta commissie heeft een grote invloed op de manier waarop we in Nederland onze kust verdedigen. Het heeft de basis gelegd voor bijna alle regels die aan kustverdediging zijn verboden. Daarom houden we rekening met de aanbevelingen van deze commissie. De aanbevelingen die deze commissie heeft gedaan zijn voor een groot deel belangrijk voor de Nederlandse Noordzeekust maar er zijn een paar die van belang zijn voor de Dollard:

- De huidige veiligheidsniveaus van alle dijkkringen moeten met een factor 10 verbeterd worden.
- Nieuwe ontwikkelingen in buitendijkse gebieden mogen de afvoercapaciteit van de rivier en toekomstige peilopzet van meren niet belemmeren.

Door de aanleg van versterkte kwelders wordt het veiligheidsniveau verhoogd. De afvoer vanuit Nieuw Statenzijl mag hierbij niet gehinderd worden. Echter aangezien hier een vaarroute beschikbaar moet blijven voor de aanlegplaatsen in nieuw statenzijl is dit niet van toepassing op het ontwerp.

Natuurbeschermingswet.

De natuurbeschermingswet is momenteel nog van kracht in het Dollard gebied als leidende wet, als de termijn voor deze wet is verlopen zal er een overgang plaatsvinden naar het beheerplan van natura 2000 (*Ministerie I&M, 2011*). punten van deze wet van toepassing voor dit ontwerp:

- Natuurlijke processen moeten zich zoveel mogelijk ongestoord ontwikkelen.
- Het vegetatiebeheer mag alleen plaatsvinden door beweiding. Andere vormen van beheer en/of gebruik van kweldervegetaties niet zijn toegestaan.

- Activiteiten die niet in de beheerplannen worden genoemd dienen te beschikken over een vergunning op grond van deze Natuurbeschermingswet.

Bij aanleg van de versterkte kwelder zal er rekening moeten worden gehouden met de vergunning op grond van de Natuurbeschermingswet. Verder zal het natuurlijke proces van de kwelder aangroei/ erosie worden verstoord. Ook kan er tijdelijk belang zijn in een ander beheer van kweldervegetatie. (bijvoorbeeld aanplanting van grassen) om het sedimentatieproces tegen te gaan (*Rijkswaterstaat.nl 2011*).

Kader Richtlijn water.

De Dollard is een uitstroomgebied van de Eems en valt hierbij onder de KRW Neder-Eems (*Oranjewoud, 2010*). Deze wet en regelgeving gaan voornamelijk over het water in de Dollard. Echter in kleine mate is het van toepassing op de kwelders:

- climax vegetatie mag niet meer dan 50% van het totale kwelderoppervlak bedekken. (het gaat in de Dollard voornamelijk om riet.)

Doordat de versterkte kwelders meer gebieden aan hoge kwelder toevoegt moet er goed worden gecontroleerd op vegetatie, vegetatie bereikt door minder zoute invloeden sneller de climax vegetatie op de hoge kwelders. Echter voor kustveiligheid zou het mogelijk goed zijn om meer riet op kwelder te plaatsen voor de remmende werking. Echter er zal eerst een studie moeten volgen op de remmende werking van vegetatie op golfslag.

Trilaterale Waddenzee commissie

De trilaterale waddencommissie is een orgaan dat in overleg tussen zijn partners (Denemarken, Duitsland & Nederland) beslissingen neemt over de toekomst van de Waddenzee als een geheel (*Ecomare, 2011*). Hun aanbevelingen zijn:

- Een groter areaal aan natuurlijke kwelders.
- Een grotere natuurlijke morfologie en dynamiek, waaronder natuurlijke afwateringspatronen van kunstmatige kwelders, op voorwaarde dat de huidige oppervlakte niet wordt verkleind.
- Een verbeterde natuurlijke vegetatiestructuur van kunstmatige kwelders, inclusief de pionierzone.

Of de aanleg van versterkte kwelders “natuurlijk” kan zijn is onduidelijk aangezien dit niet verder word gespecificeerd. Echter alle kwelders in Nederland zijn door mensen aangelegd. Als hier vervolgens natuur op groeit is dit volgens natura 2000

natuurvergroting. Verder kan bij de aanleg van de versterkte kwelder worden gelet op een natuurlijke vegetatiestructuur, en dynamiek.

RAMSAR

RAMSAR is een internationale conventie voor bescherming en verantwoord gebruik van wetlands (*RAMSAR, 2010*). Het RAMSAR verdrag geeft nationale overheden een framework om wetlands te beschermen volgens internationale normen. De nadruk van dit verdrag ligt op behoud van wetlands voor trekvogels. RAMSAR is het enige internationale verdrag dat zich op een specifiek ecosysteem richt.

- Behoud van kwaliteit en kwantiteit van marine wetlands voor trekvogels.
- “wise use” staat centraal bij RAMSAR, dit houdt in dat onderhoud zou moeten gebeuren door natuurlijke processen.

De kwaliteit van de kwelder zal met de aanleg van de versterking tijdelijk worden verkleind, echter na de voltooiing van het project zal de kwantiteit van het gebied zijn toegenomen. De integratie van de versterkte kwelder valt onder de “wise use”, aangezien deze vorm van kustverdediging kan worden beheerd door begrazing wat een “natuurlijk” proces is.

Delimitatie contracten

Deze contracten worden verstrekt aan de oevereigenaren. Na de tijd van Napoleon probeerde de Nederlandse staat een deel van de Code Civil over te nemen door te verklaren dat de groene(begraasbare) kwelders eigendom waren van de staat en niet van de boeren die het aanwonnen. De Raad van State gaf het gelijk aan de boeren. De Nederlandse staat verstrekte hierop Delimitatiecontracten, de boeren kregen 300 meter land, maar hoefden de kwelderwerken niet langer te onderhouden. Dit zou de taak van de staat zijn. In ruil hiervoor kon de staat de landaanwinningwerken beheren en uitbreiden. Deze uitbreidingen konden daarna weer worden aangekocht door de landeigenaren (*Dijkema et al, 2001*).

- Het recht van de landaanwinnings (boer) om het aangewonnen beweidbare land tot 300 meter in bezit te nemen, en als er meer grond beschikbaar kwam deze met recht als eerste te kopen.
- De plicht van de overheid de landaanwinningwerken te onderhouden en uit te breiden.
- Het recht van de overheid de nieuw aangewonnen beweidbare grond te verkopen aan de voormalige landaanwinnings.
- Het recht van de overheid om deze aangewonnen grond te

beheren in het nationaal belang (kustverdediging).

Deze contracten hebben te maken met het beheer en bezit van de gebieden. De overheid beheert en onderhoud het gebied. Maar het is van belang dat de eigenaren van het gebied niet worden vergeten.

7.2 Conflicten tussen wetten.

Conflicten tussen wetten.

Sommige wetten conflicteren onderling. Het gaat hier voornamelijk over het kwelderoppervlak, en natuur tegenover de veiligheid.

Bijvoorbeeld een conflict dat speelt is tussen Natura 2000 en de PKB Waddenzee. Één van de belangrijkste punten van Natura 2000 is de behoudsdoelstelling die op de kwelders van toepassing is. Een behoudsdoelstelling houdt in dat het gebied in oppervlak en kwaliteit het zelfde blijft. In de PKB Waddenzee gaat het echter over uitbreiding van het “natuurlijke” kwelderareaal. De doelstelling van de PKB Waddenzee komt overeen met de doelstelling van de Trilaterale Waddenzee commissie. De verschillende instellingen zijn het dus niet eens wat het oppervlak van de kwelders moet zijn.

Een ander conflict dat speelt is ongestoorde ontwikkeling van de kwelders, tegenover de veiligheid van het gebied. De veiligheid is aanbevolen door de deltacommissie voor de Nederlandse overheid. Echter de zelfde Nederlandse overheid heeft in de PKB Waddenzee eisen gesteld aan ongestoorde ontwikkelingen. Zolang dit begrip niet beter wordt gedefinieerd heeft de overheid een probleem in zijn eigen regelgeving.

7.3 Conclusie

Er gelden verschillende wetten en regels in de Dollard. Deze wetten conflicteren in sommige gevallen. De beste manier om deze wetten te volgen is van Europese wetten naar landelijke en lokale wetten en regels. Aanvraag van vergunningen zal het beste landelijk kunnen aangezien Europese wetten landelijk zijn geïmplementeerd. Echter bij deze procedure is het handig om lokale belangen niet te vergeten, en daarom te beginnen met de belanghebbenden te contacteren. Het grootste obstakel voor wetten en regelgeving bestaat voornamelijk uit Natura 2000, aangezien bij uitvoering van het ontwerp het gaat om een aanpassing in het gebied. Dit komt niet overeen met de huidige behoudsdoelstelling.

Uit de kaderrichtlijn water en het RAMSAR verdrag valt op te maken dat er op korte termijn actie ondernomen dient te worden vanwege het teruglopen kwelder areaal.

8 Conclusies

Uit het onderzoek valt te concluderen dat het toepassen van een versterkte kwelder een gunstig effect zal hebben op de golfremmende werking van een bestaande kwelder. De reductie, in de specifieke situatie van de Dollard, ligt op 6,4% bij het toepassen van een versterkte kwelder (ontwerp 15). Omdat momenteel er geen duidelijk inzicht is in de benodigde golfreductie voor het laten voldoen van de zeedijken in de Dollard, kan er niet gelijk geconcludeerd worden of het toepassen van een versterkte kwelder in de Dollard een oplossing is voor het probleem.

Wel kan gesteld worden dat circa 6,4% een minimale afname is van de golfhoogte. Bij veranderende omstandigheden is het maar de vraag hoe lang een versterkte kwelder nog zal bijdrage aan de veiligheid van een zeedijk.

Gekeken naar de analyse van ontwerpen is het mogelijk dat niet elk ontwerp voldoende geoptimaliseerd is. In alle gevallen behalve ontwerp 15 zal verder optimaliseren geen groot verschil maken in de reductie. Echter bij ontwerp 15 valt naar verwachting nog enige winst te behalen. Hoeveel winst er te behalen valt is lastig in te schatten en kan geen duidelijk antwoord op worden gegeven.

Gezien de belangen die er in het gebied spelen conflicteert een versterkte kwelder niet met de huidige belangen en belanghebbenden. Dit komt mede door het geringe aantal belangen en weinige betrokken partijen. Het concept van een versterkte kwelder sluit in eerste instantie aan bij de speerpunten van de Waddenvereniging die klimaatsbestendige oplossingen zoekt voor bijvoorbeeld veiligheid en de duurzaamheidsdoelstellingen van het Waterschap Hunze en Aa's.

Uit wet en regelgeving valt op te maken dat het verder laten eroderen van de kwelders in de Dollard conflicteert met de Kaderrichtlijn Water en het RAMSAR verdrag. Actie is hier nodig om verdere problemen in de toekomst te voorkomen. Deze problematiek is echter ook op andere manieren op te lossen en is dus niet afhankelijk van het toepassen van een versterkte kwelder. De versterkte kwelder biedt wel de mogelijkheid de veiligheid en ecologie in één oplossing samen te voegen en elkaar hier zo te versterken.

9 Discussie en aanbevelingen

9.1 Discussie

Op de vraag wat de effecten zullen zijn van het toepassen van een versterkte kwelder kan geantwoord worden dat het golfremmende effect van een bestaande kwelder kan worden versterkt. Hierbij moet worden opgemerkt dat deze aanname is gedaan op basis van de berekeningen die zijn gemaakt voor de verschillende varianten van het ontwerp. Wellicht hadden andere varianten of een ander ontwerp betere resultaten opgeleverd. Het variëren met bijvoorbeeld de hoogte paste niet binnen de uitgangspunten van het ontwerp. Het nog verder uitbreiden van het kwelderareaal met een breedte groter dan 1100 meter had wellicht meer kansen geboden maar ook dit past niet binnen de uitgangspunten van het ontwerp.

Het model waar mee gerekend is, SwaneOne heeft ook zijn beperkingen. Het model rekent met slechts een beperkt aantal parameters en neemt zo bijvoorbeeld niet de invloed van kweldervegetatie mee of de variatie van eventuele stroming of windsnelheden in de windbaan. Daarnaast heeft SwanOne de berekening dat het een eendimensionale berekening is. De berekening is op deze manier een strikt theoretische benadering waarin natuurlijke variatie in bijvoorbeeld wind en stromingen ten tijde van de storm niet worden meegenomen. Het is niet duidelijk of dit enig effect zal hebben op het resultaat maar het zou een realistischer resultaat hebben oplevert.

Het vooraf ontbreken van de precieze benodigde golfreductie om te kunnen bepalen of de dijk weer voldoet heeft als effect gehad dat er minder varianten zijn berekend. Als dit vooraf duidelijker was geweest door middel van een onderbouwd cijfer was het wellicht mogelijk geweest specifieker te ontwerpen om deze reductie te behalen.

Naar aanleiding van de behaalde resultaten kwam de opdrachtgever met de vraag om te onderzoeken wanneer er een reductie van circa 30% optreedt. Aan deze vraag is alsnog voldaan maar is niet meegenomen in het rapport zelf. De resultaten hiervan zijn opgenomen bijlage 4. Het geeft wel een duidelijk beeld van wat voor implicaties een ontwerp heeft wat circa 30% teweeg brengt. De vraag bij deze ontwerpen is, is of het nog toepasbaar is als een kwelder.

9.2 Leemte in Kennis

Wat zijn de effecten van kweldervegetatie op de golfslag in combinatie met de versterkte kwelder?

Kweldervegetatie Momenteel zijn de effecten van kweldervegetatie op de golfslag nog niet precies bekend. Er is in het verleden onderzoek naar gedaan en hieruit is gebleken dat het enige invloed heeft op de golfremming (Effing, 2005). Dat betekent dat in de werkelijkheid de golfremming mogelijk meer is dan wat in dit onderzoek naar voren komt.

Het computermodel SwanOne werkt niet met deze parameters dus al zou deze data beschikbaar zijn geweest dan was het alsnog niet mogelijk geweest dit mee te nemen in de berekeningen. De berekening nu gaat uit van een kale kwelder, in werkelijkheid is dit niet het geval.

Hierbij dient ook nog opgemerkt te worden dat de kweldervegetatie in de Dollard sterk afwijkt van de vegetatie die normaal voorkomt op een kwelder. Uit onderzoek is gebleken dat de kwelders in de Dollard voor een groot gedeelte begroeit zijn met riet, een soort vegetatie die normaal vrijwel niet voorkomt op kwelders. Dit komt door de hoeveelheid zoet water aangevoerd wordt door de Eems en zorgt voor een brak klimaat. In sommige delen van de Dollard is hierdoor een zeer groot aandeel riet aanwezig, circa 50% (Oranjewoud, 2010).

Het is voor te stellen dat een groot aandeel riet een positief effect heeft op de remmende werking van kwelders ten aanzien van de algemene kwelder vegetatie (Oranjewoud, 2010). Riet is aanzienlijk hoger, vaak erg dicht en is vrij stevig. De inschatting is dat riet sterk afwijkt in zijn eigenschappen dan normale kweldervegetatie. Hierdoor zou het meenemen van de data uit het onderzoek van Effing alsnog geen representatief beeld geven van de invloed van de kweldervegetatie in de Dollard op de golfremmende werking. Wil men weten wat de specifieke vegetatie in Dollard voor effect heeft op de golfreductie zal men onderzoek moeten doen naar de effecten van riet op de golfreductie om tot een realistisch beeld te komen.

9.3 Aanbevelingen

Kan er nog meer winst worden behaald met andere alternatieven?

Vanwege de tijd die stond voor het onderzoek, maar ook de uitgangspunten van het ontwerp, beschreven in dit onderzoek, zijn er wellicht mogelijkheden onbenut gelaten. Zeker ontwerp 15 biedt nog perspectief op een hogere reductie. Hierbij kan men denken aan het vergroten van de breedte en de oploop van golfbreker maar ook nog

aan de hoogte. Het onderzoek heeft teveel beperkingen om de kwelder gelijk af te schrijven als mogelijke oplossing.

Door meer te variëren met genoemde aspecten van de golfbreker, namelijk hoogte, lengte van de oploop en breedte van de rug is wellicht een beter resultaat mogelijk, dit geldt echter alleen voor ontwerp 15. De andere ontwerpen bieden op basis van de gevoeligheidsanalyse geen uitzicht op een noemenswaardig beter resultaat. Hierbij kan gedacht worden aan het verder verhogen van de golfbreker ten opzichte van de in dit rapport onderzochte ontwerpen. Hierbij kan ook gedachte worden aan een bredere kwelder.

10 Begrippen en Literatuurlijst

10.1 Begrippen

Areaal	Oppervlakte , in dit rapport van de kwelder, aantal hectares.
Morfologie	Vormkunde , in dit rapport het ontstaansproces van kwelders.
GHW	Gemiddeld Hoog Water Dit is de gemiddelde hoogwaterstand in het gebied. Dit wordt bepaald door alle jaarlijkse hoogwaterstanden opgeteld te delen door het aantal vloedmomenten.
Swan	Golfmodel ontwikkeld door TU-Delft voor kust en binnenwateren. http://www.swan.tudelft.nl/
SwanOne	Versimpelde grafische versie van het computermodel Swan, ontwikkelde door TU-Delft
(Kwelder)Breedte	Het begrip breedte moet worden gezien als de doorsnede van de kwelder, van de teen van de dijk naar de waterrand.
(Kwelder)Lengte	Het begrip (kwelder)lengte moet worden gelezen als de afstand langs de kust waarlangs een kwelder zich bevindt. Afgeleid van het begrip kustlengte.

10.2 Literatuurlijst

- Arcadis, 2006, Bouwsteen beheerplan kwelders Groninger noordkust en Dollard*
- Borrius, K. Nicolai, A. Vlas, J de, 2010, Uitwerking doelen natura2000 gebied Waddenzee*
- Dijkema, K.S. 1987. Changes of salt-marsh area in the Netherlands Wadden Sea after 1600.*
- Dijkema, K.S.; Nicolai, A., Vlas, J. de, Smit, C.J., Jongerius, H.; Nauta, H., 2001, Van landaanwinning naar kwelderwerken*
- Dijkema, K.S., van Duin, W.E., Dijkman, E.M., Nicolai, A., Jongerius, H., Keegstra, H., van Egmond, L., Venema, H.J., Jongsma, J.J., 2009, 50 Jaar monitoring en beheer van de Friese en Groninger kwelderwerken: 1960-2009*
- Drijfhout, G., 2010, Grensoverschrijdende kansen voor kwelders in de Dollard*
- Duin, W.E. van, Dijkema, K.S., Leeuwen, P.W. van, 2008, Jaarrapportage 2007: vegetatie en opslibbing in de Peazemerlannen en referentiegebied west-Groningen, Wageningen IMARES*
- Duin, W.E. van, Dijkema, K.S. & Zegers, J. 1997, Veranderingen in bodemhoogte (opslibbing, erosie en inklink) in de Peazemerlannen*
- Effing, B., 2005, Wad nou Kwelder? – Golfdemping door kwelders gekoppeld aan beleid en beheer*
- Esselink P., 2000, Nature management of coastal salt marshes. Interactions between anthropogenic influences and natural dynamics. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen*
- Hofstede, J.L.A., 2003, Integrated management of artificially created salt marshes in the Wadden Sea of Schleswig-Holstein, Germany. Wetlands Ecology and management*
- Hordijk, D., van Nieuwenhuijzen, L., Mooyaart, L., Pieneman, B., 2010, Veiligheidstoetsing Primaire Waterkeringen Beheersgebied Waterschap Hunze en Aa's, Royal Haskoning*
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003, Procesplan Zwakke schakels in de Nederlandse kust*
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007, Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen*
- Ministerie I&M (Infrastructuur en Milieu), 2011, Deltaprogramma Waddengebied – quick scan – Reductie golfwerking door kwelders en slibvelden in Waddenzee en Eems-Dollard – concept onderzoeksprogramma*
- Oost, A.P., B.J. Ens, A.G. Brinkman, K.S. Dijkema, W.D. Eysink, J.J. Beukema, H.J. Gussinklo,*

B.M.J. Verboom & J.J. Verburgh, 1998, Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee. Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

Oranjewoud, 2010, Beheer en inrichtingsplan kwelders Groningen Noordkust en Dollard

van Overzee, H., Leijzer, T., Jansen J., Goudswaard, K., Kesteloo, J., Quirijns, F., 2010, Overzicht van visserij op de Waddenzee

Rijkswaterstaat, 1990, Rekenregels voor waterbouwkundig ontwerpen, Ministerie Verkeer en Waterstaat

Rijkswaterstaat, 2009, De Waddenzee gezond - De kansen voor een gezonde Waddenzee in kaart

RAMSAR, 2010, Handbooks for the wise use of wetlands 4th edition

Stratingh, G.A., Venema, S.A., 1979, De Dollard: geschied-, aardrijks- en natuurkundige beschrijving van dezen boezem der Eems

Waddenvereniging, 2010, Schetsboek afsluitdijk

Waterschap Hunze en Aa's, 2010, Beleidskader Duurzaamheid

Internetbronnen

*Ecomare.nl, 2011, encyclopedie, trilaterale Waddenzee,
<http://www.ecomare.nl/ecomare-encyclopedie/regels/internationaal-waddenzeebeleid/trilaterale-samenwerking/>*

*Bodeminformatiekaart Provincie Groningen,
groningen.esrinl.com/fmc/bodeminformatiekaart.html,
geraadpleegd op 6 januari 2012*

Googlemaps, 2011, maps.google.nl

*KNMI, 2011, Zeespiegelstijging
<http://www.knmi.nl/cms/content/21306/zeespiegelstijging>*

*Rijkswaterstaat, 2011, Dollard,
http://www.rijkswaterstaat.nl/water/feiten_en_cijfers/vaarwegenoverzicht/dollard/*

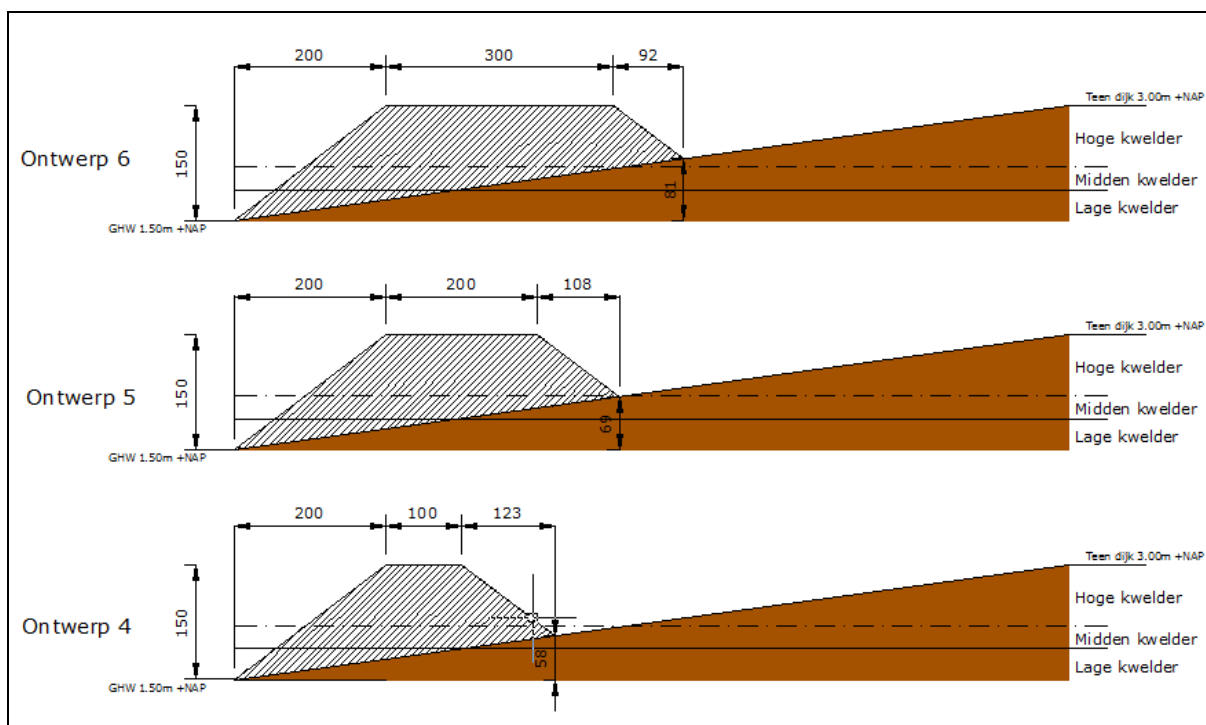
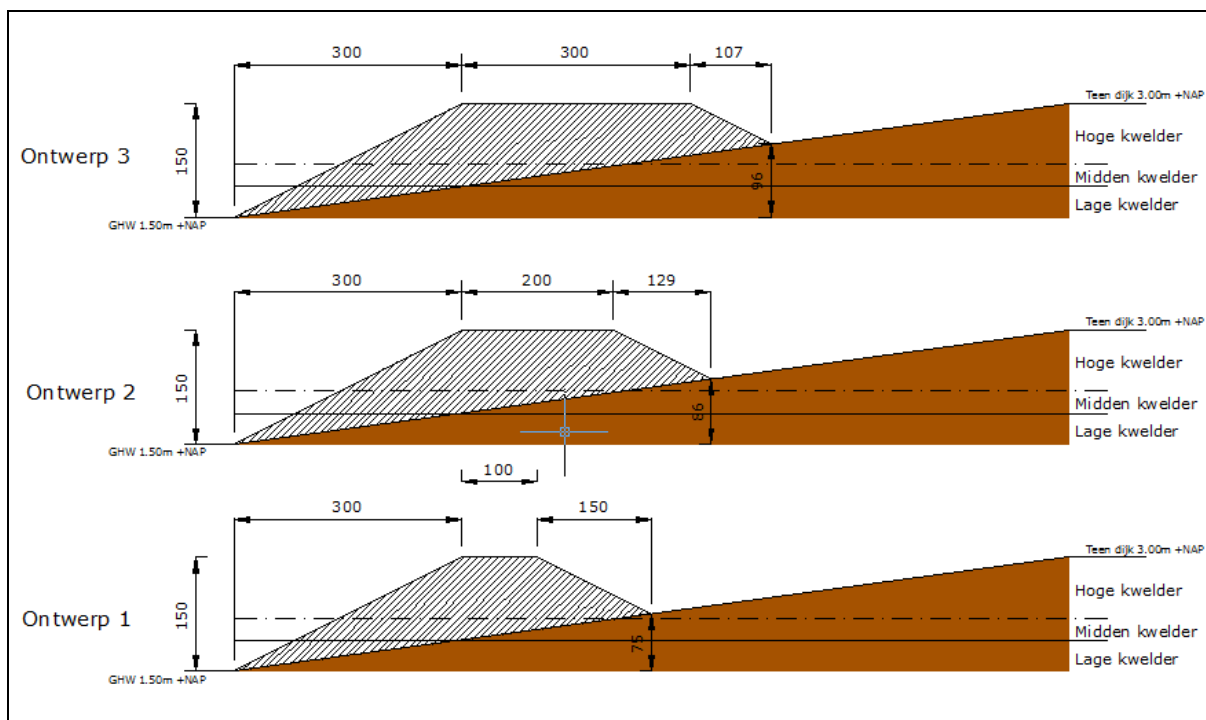
*RIKZ, 13 september 2006 PKB Waddenzee,
<http://www.waddenzee.nl/index.php?id=1105>*

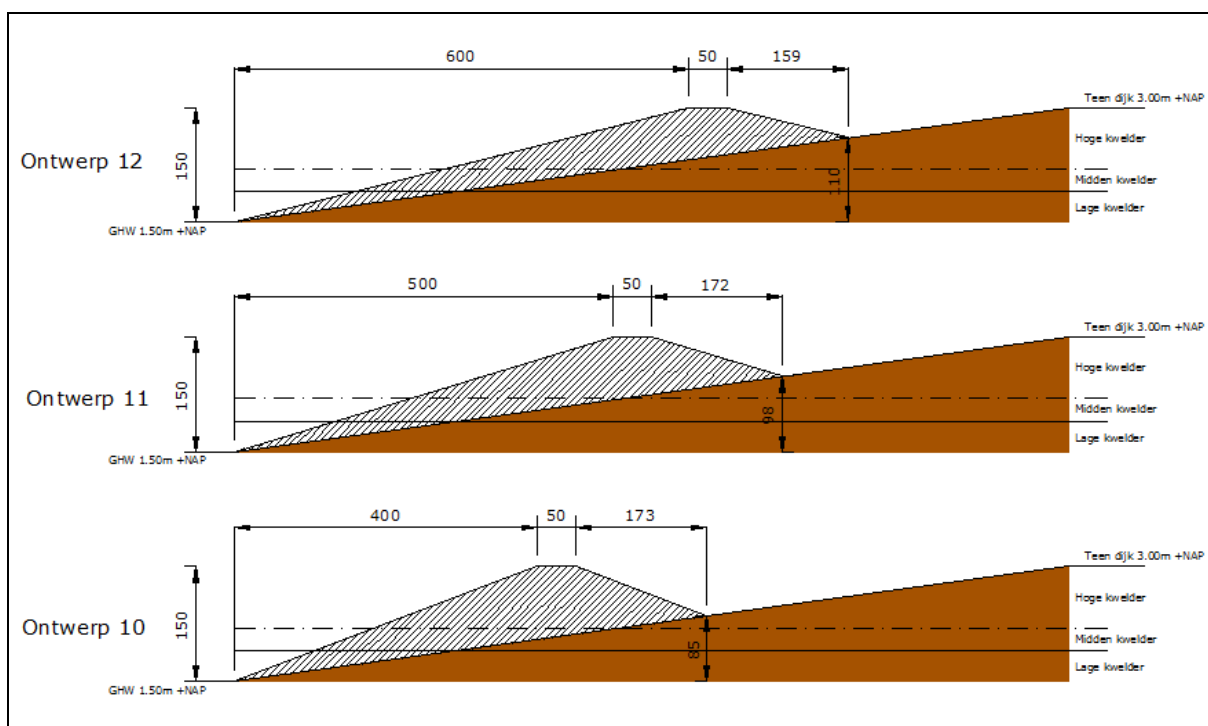
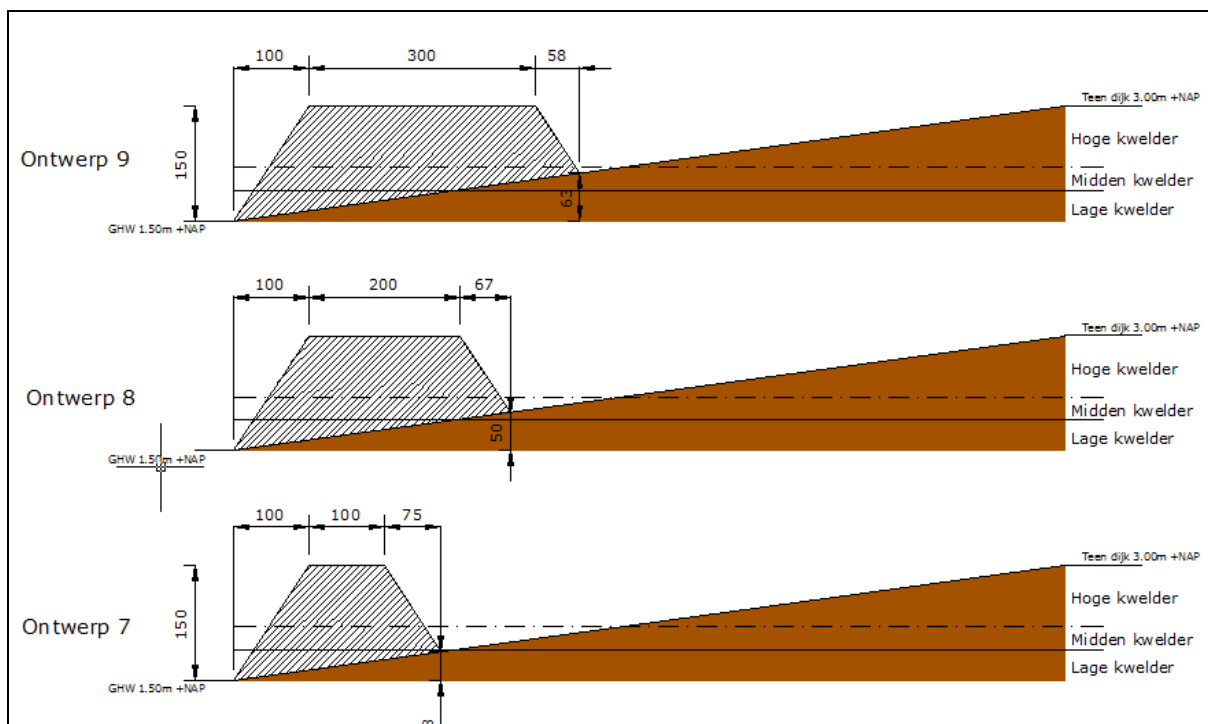
*Waddenvereniging.nl, 2011, Speerpunten,
<http://www.waddenvereniging.nl/?module=tekstpagina&mid=3&wid=151>
geraadpleegd op september 2011 en 9 januari 2012*

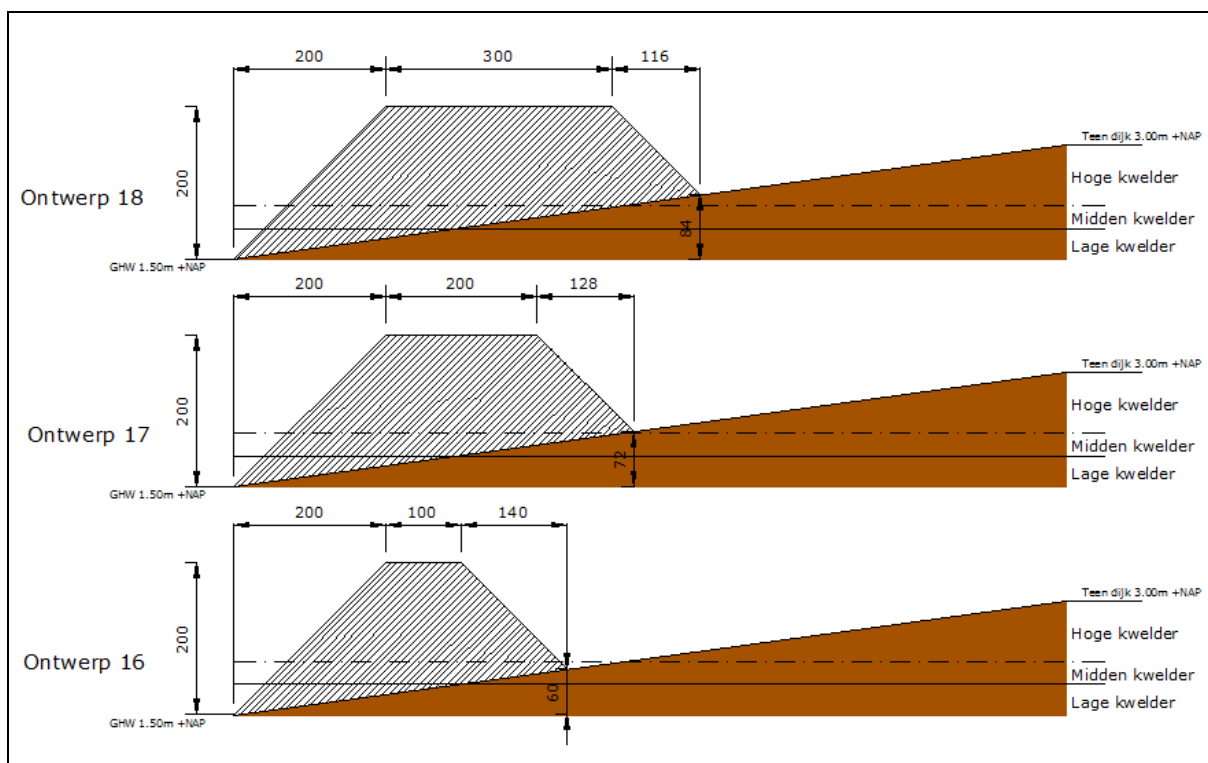
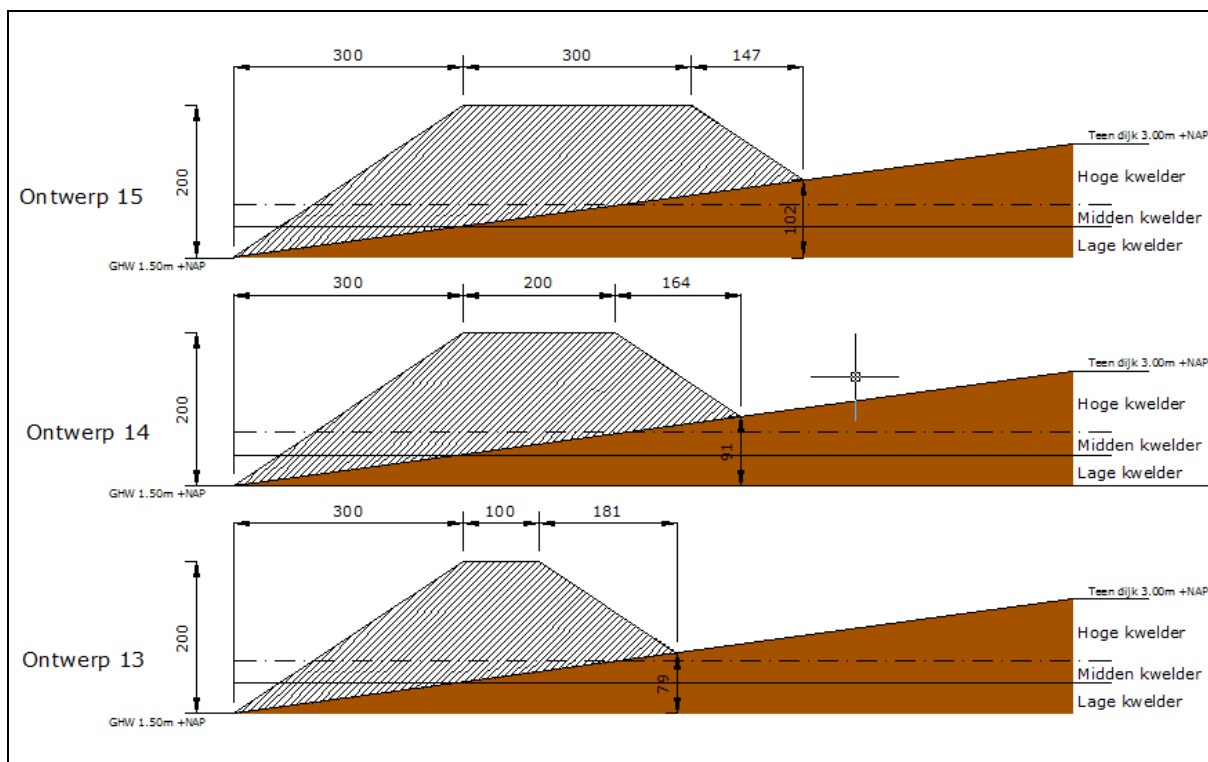
Waterschap Hunze en Aa's, Duurzaamheid, 2012
<http://www.hunzeenaas.nl/Duurzaamheid/Watdoenwij>
geraadpleegd op 28 januari 2012

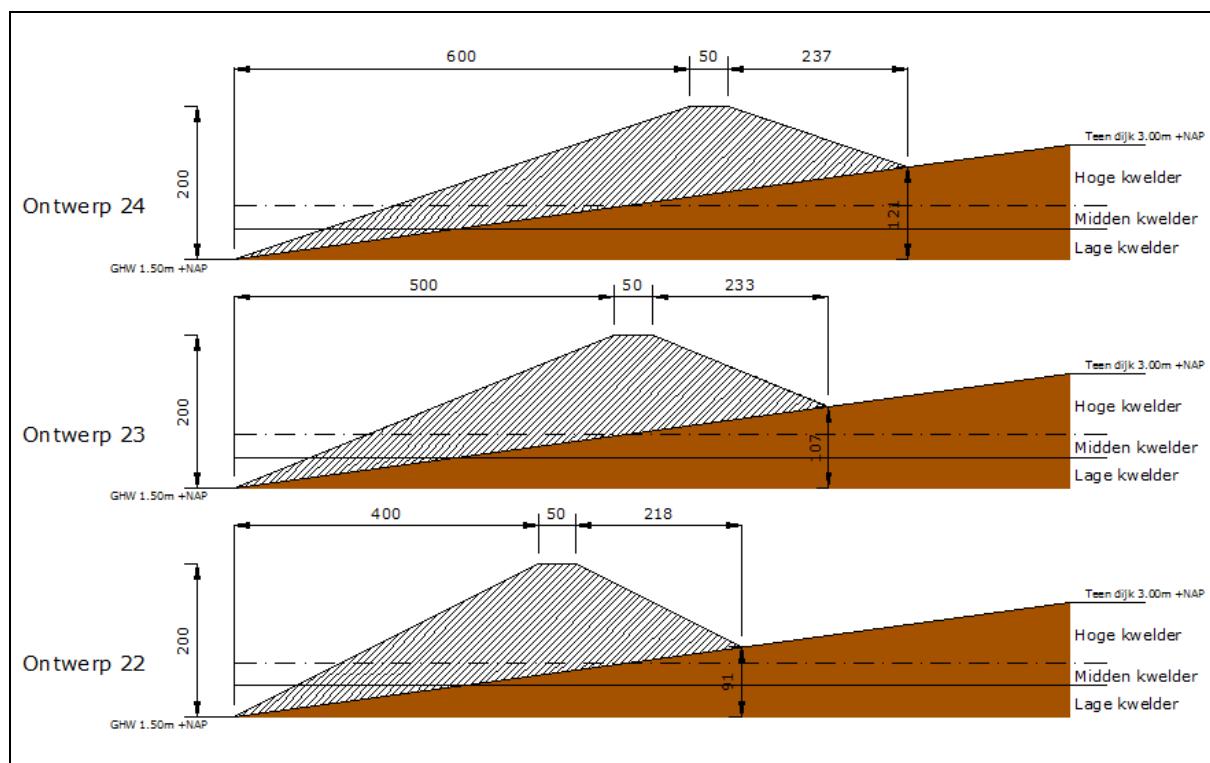
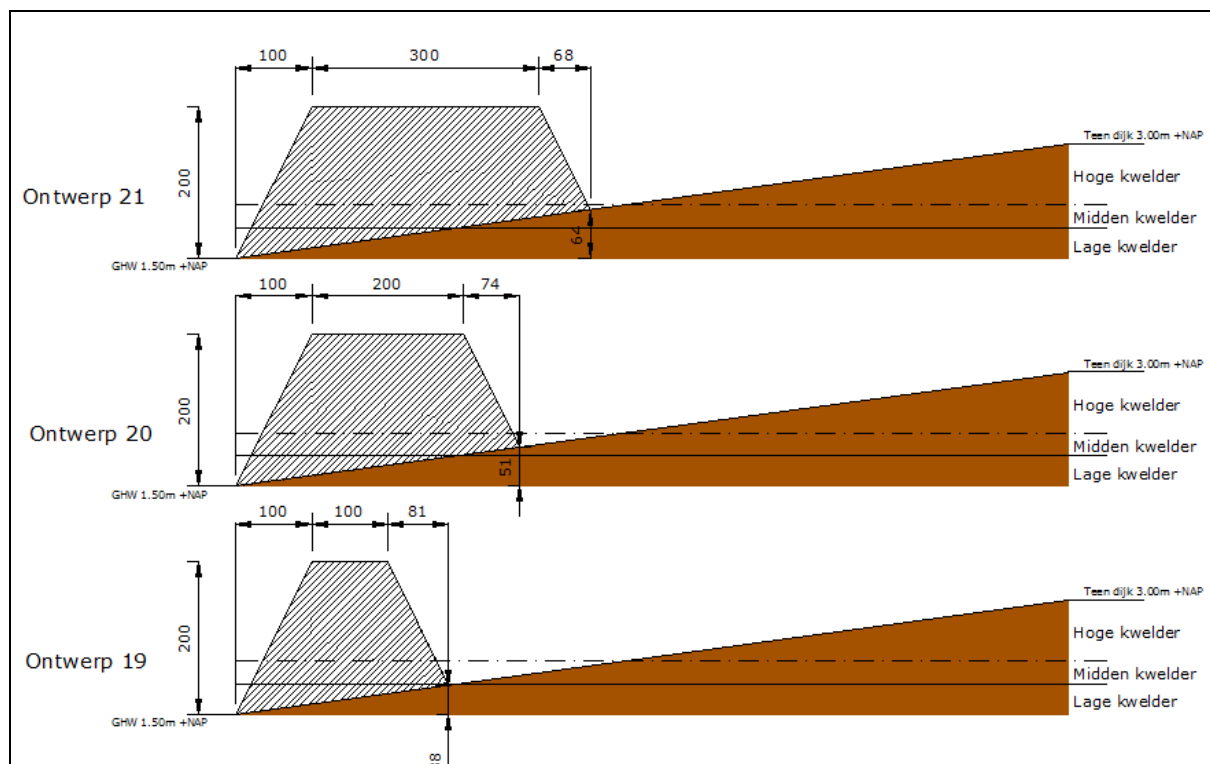
Bijlagen

Bijlage 1. Ontwerpen

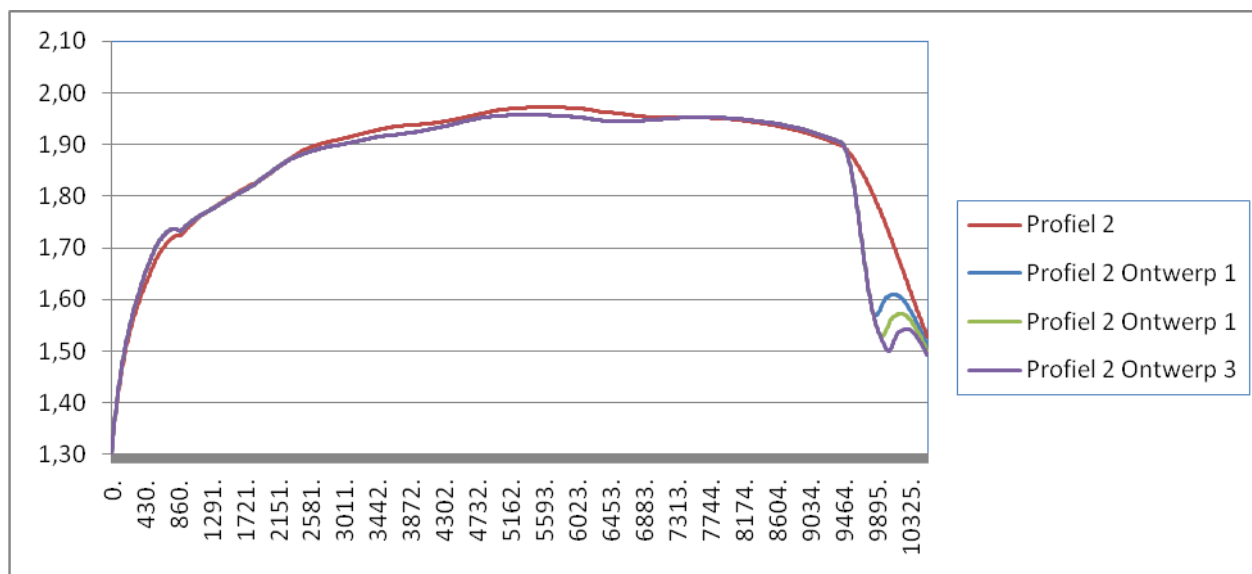




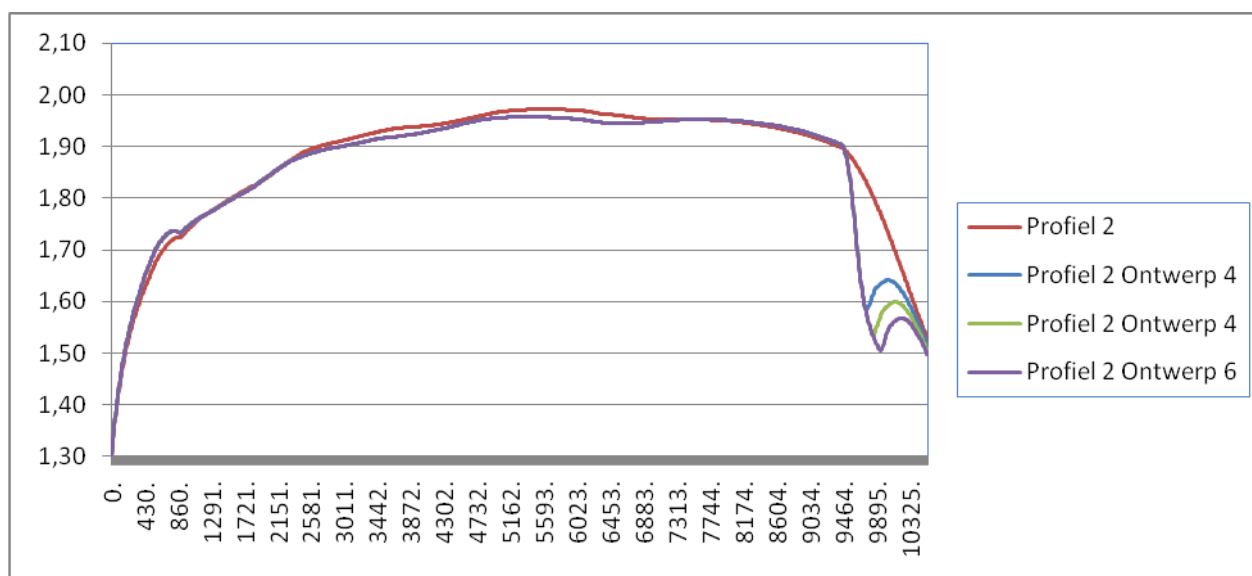




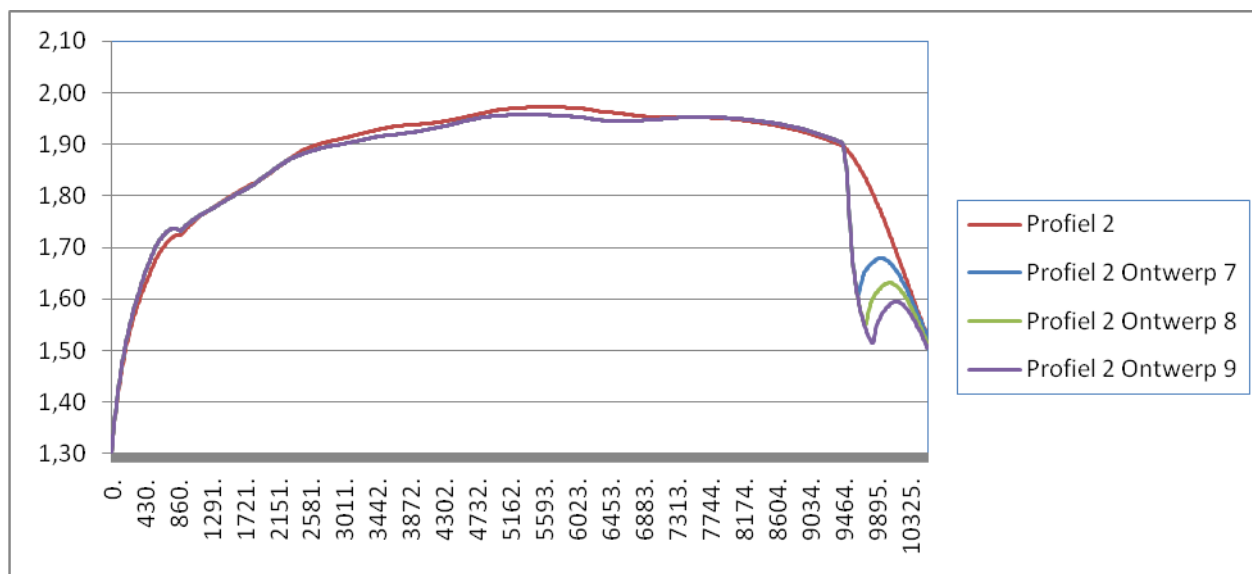
Bijlage 2. Resultaten



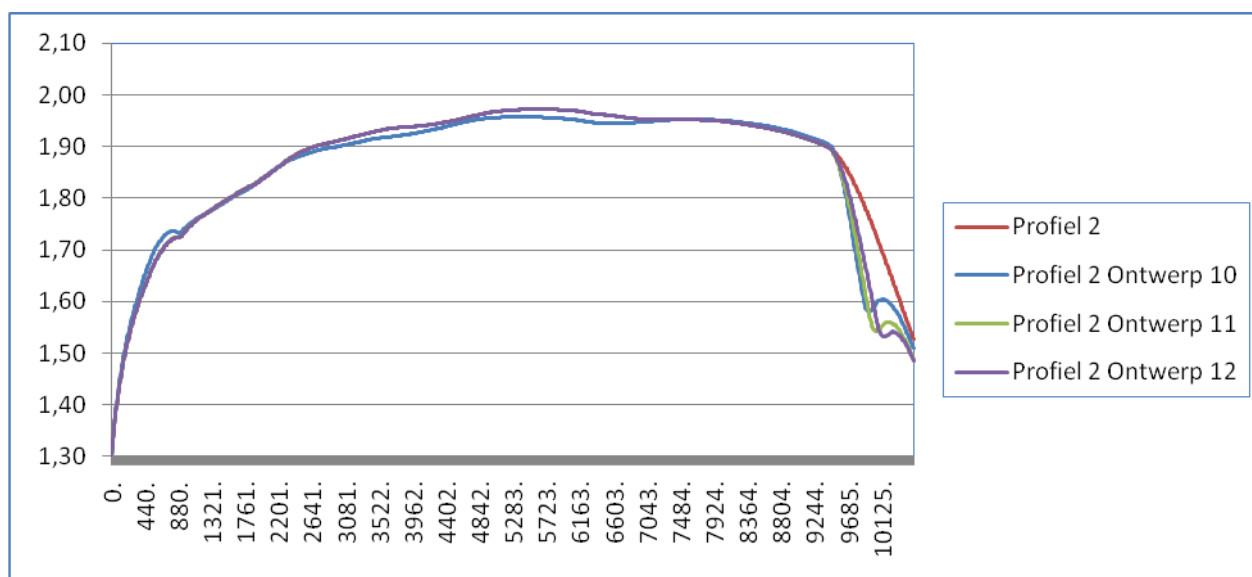
Profiel 2	Profiel 2 Ontwerp 1	Profiel 2 Ontwerp 2	Profiel 2 Ontwerp 3
1,53	1,51	1,50	1,49
	1,1%	1,7%	2,3%



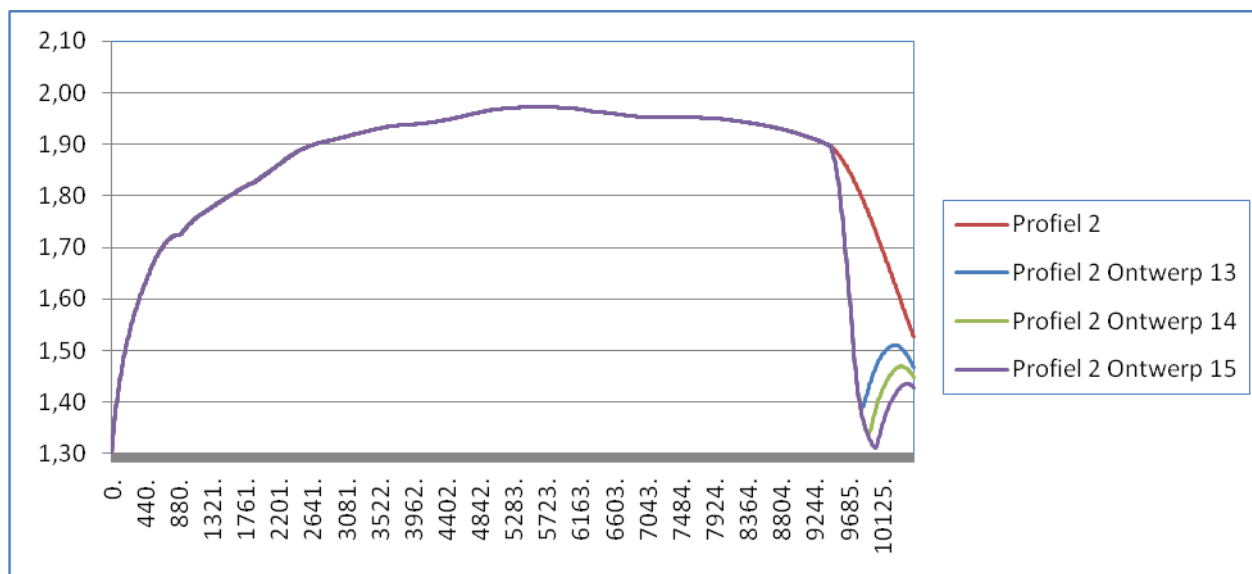
Profiel 2	Profiel 2 Ontwerp 4	Profiel 2 Ontwerp 5	Profiel 2 Ontwerp 6
1,53	1,52	1,51	1,50
	0,6%	1,4%	1,9%



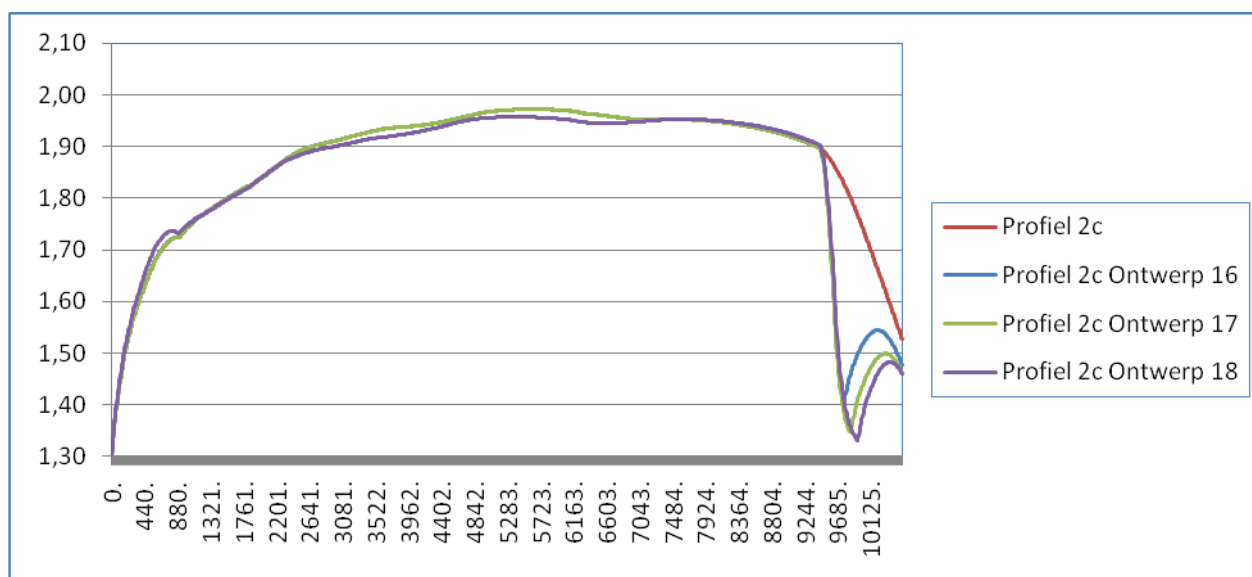
Profiel 2	Profiel 2 Ontwerp 7	Profiel 2 Ontwerp 8	Profiel 2 Ontwerp 9
1,53	1,53	1,51	1,50
	0,1%	0,8%	1,4%



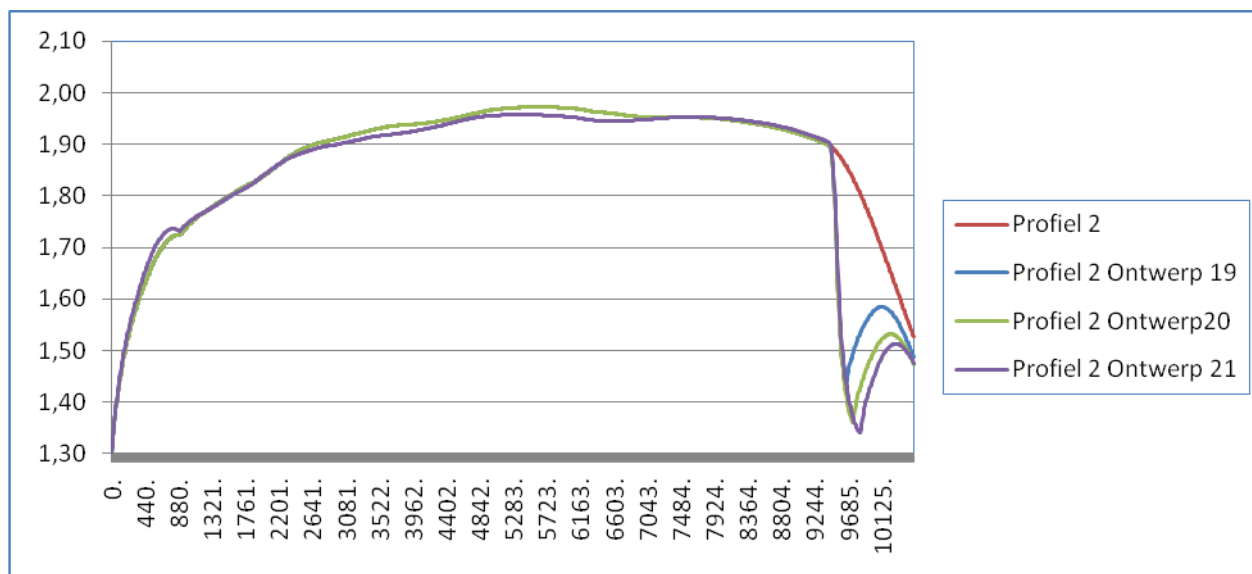
Profiel 2	Profiel 2 Ontwerp 10	Profiel 2 Ontwerp 11	Profiel 2 Ontwerp 12
1,53	1,51	1,49	1,48
	1,1%	2,5%	2,7%



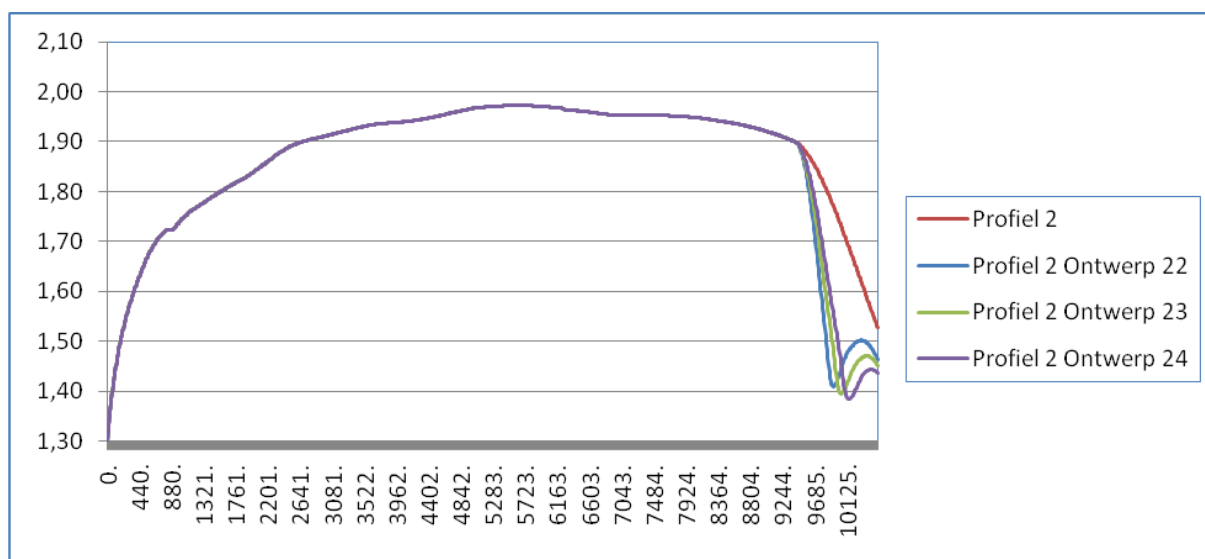
Profiel 2	Profiel 2 Ontwerp 13	Profiel 2 Ontwerp 14	Profiel 2 Ontwerp 15
1,53	1,47	1,45	1,43
	3,9%	5,1%	6,4%



Profiel 2	Profiel 2 Ontwerp 16	Profiel 2 Ontwerp 17	Profiel 2 Ontwerp 18
1,53	1,48	1,46	1,46
	3,3%	4,2%	4,3%



Profiel 2	Profiel 2 Ontwerp 19	Profiel 2 Ontwerp 20	Profiel 2 Ontwerp 21
1,53	1,49	1,47	1,48
	2,5%	3,5%	3,3%



Profiel 2	Profiel 2 Ontwerp 22	Profiel 2 Ontwerp 23	Profiel 2 Ontwerp 24
1,53	1,46	1,45	1,44
	4,1%	4,9%	6,0%

Bijlage 3. Aanvullende Ontwerpen

Aanvullende ontwerpen

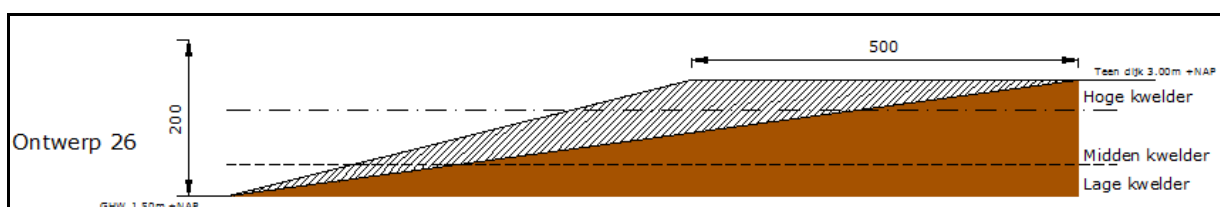
Omdat bij het ontwerp van een versterkte kwelder met golfbreker niet het gewenste resultaat wordt behaald, zijn een aantal aanvullende ontwerpen opgesteld. Deze nieuwe ontwerpen zijn vervolgens berekend voor zowel profiel 1 als 2. Op deze manier wordt geprobeerd om zo inzicht te krijgen in wanneer een wel noemenswaardig verschil optreedt in de golfremmende werking van de kwelder.

Naar aanleiding van een gesprek met de opdrachtgever over de behaalde resultaten, is naar voren gekomen dat 30% golf remming ten aanzien van de huidige situatie. de richtlijn is. De 30% is gebaseerd op de kennis en expertise van de opdrachtgever over dit onderwerp. Bij 30% golfreductie acht de opdrachtgever dat er voldoende reductie wordt behaald om een eventueel vervolg stappen op te nemen.

Uitgangspunten aanvullende ontwerpen

Uit de berekeningen van het originele ontwerp valt op te maken dat een aantal aspecten van de golfbreker van invloed lijken te zijn op de golfremmende werking. Ontwerpen 15 en 24 geven volgens de berekeningen de meeste golfremming.

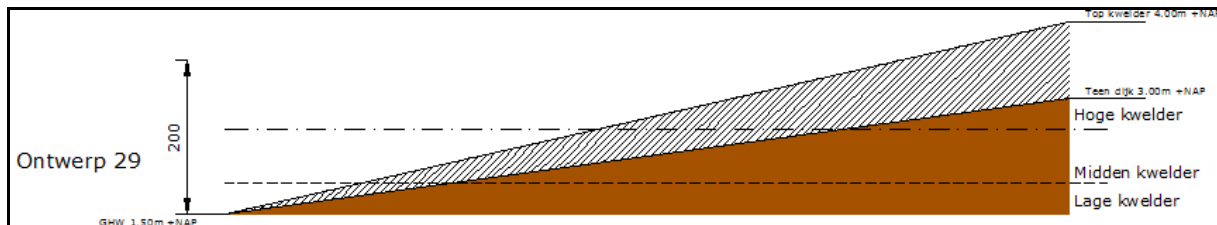
Uit de resultaten valt te concluderen dat de kwelderhoogte (3,0+NAP), de breedte van de golfbreker en de lengte van de oploop in combinatie met elkaar het beste resultaat behalen (zie ontwerp 15 en 24) Echter zou een golfbreker met het verder aanpassen van deze parameters niet meer haalbaar zijn. Het ontwerp zou niet meer voldoen aan de uitgangspunten van de versterkte kwelder maar zouden ook niet realistisch meer zijn. Het nog hoger en breder maken van de golfbreker zou betekenen dat er amper nog sprake is van kwelder omdat bijna de hele kwelder verhoogd zou worden naar niveau's boven de huidige hoge kwelder. Aan de hand van dit gegeven zijn er twee ideeën ontstaan om te berekenen.



Figuur 10 (Hoge) kwelder-plateau

Het idee van het eerste aanvullende ontwerp is een kwelder-plateau waar de hoge kwelder verlengd wordt (Figuur 10). Door middel van

een langere verhoging wordt er mogelijk meer remming gecreëerd. Deze verlenging van de hoge kwelder kan in principe bij elke hoogte worden toegepast. Door middel van het verlengen van het plateau wordt onderzocht of deze verlenging voldoende golfremming kan bewerkstelligen. Wel dient hierbij opgemerkt te worden dat een deel van de kwelder hierbij een deel van de teen van de dijk bedekken.



Figuur 11 Geleidelijke kwelder-oploop

Bij het tweede ontwerp idee wordt uitgegaan van een geleidelijke verhoging van de kwelder (*Figuur 11*). Dit is eigenlijk de huidige kwelder verhogen en voorzien van een steilere oploop. Bij dit ontwerp blijft de aanblik van de kwelder gelijk omdat de vorm niet wordt aangepast. De kwelder heeft alleen een iets steilere oploop waardoor wederom meer golf remmende werking wordt bewerkstelligd. Deze geleidelijke verhoging wordt met verschillende hoogtes berekend om te onderzoeken wanneer de beoogde 30% golf remming wordt behaald. Ook hier dient opgemerkt te worden dat een deel van de dijk door de kwelder bedekt zal worden en hierdoor automatisch de bekleding van de dijk zal beschermen. Echter geven deze ontwerpen wel een inzicht in wat de effecten van de hoogte van de kwelder zullen zijn.

Nadelen aanvullende ontwerpen

Net als bij het originele ontwerp hebben de aanvullende ontwerpen een verandering van de kwelderzonering als gevolg hebben. Het aanpassen van de kwelder heeft bij beide ontwerpen als gevolg dat de verdeling van de kwelder zonering veranderd. Het oppervlak van elke zonering wordt verkleind als de helling steiler wordt. Er zal naar verhouding meer hoge kwelder ontstaan en de midden- en lage kwelder zullen naar verhouding iets minder oppervlak krijgen.

Daarbij moet wel opgemerkt worden dat bij de huidige 300 meter brede kwelder de verhouding in de zonering waarschijnlijk gunstiger wordt omdat deze verlengd wordt naar 1100 meter. Precieze getallen zouden in een vervolg studie berekend dienen te worden aan de hand van de werkelijke hoogte ligging van de huidige kwelder om dit te bevestigen.

Resultaten

Uit de berekening met SwanOne zijn voor de aanvullende ontwerpen de volgende resultaten gekomen:

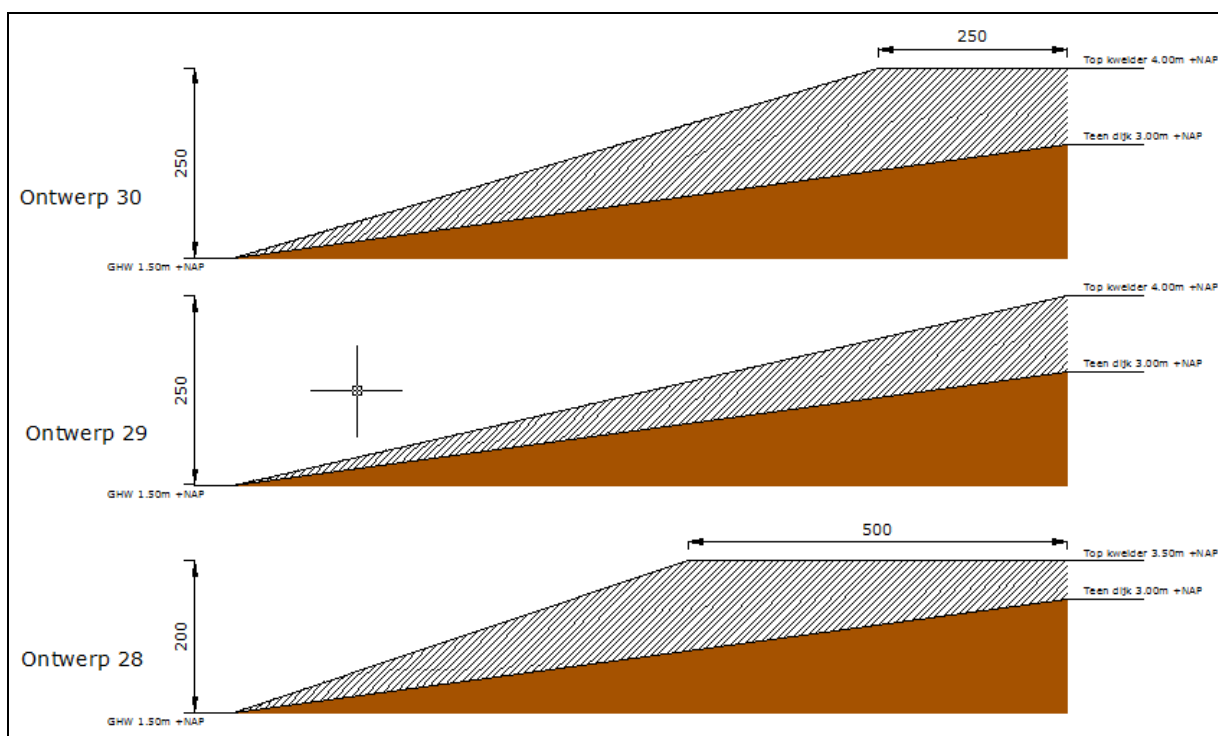
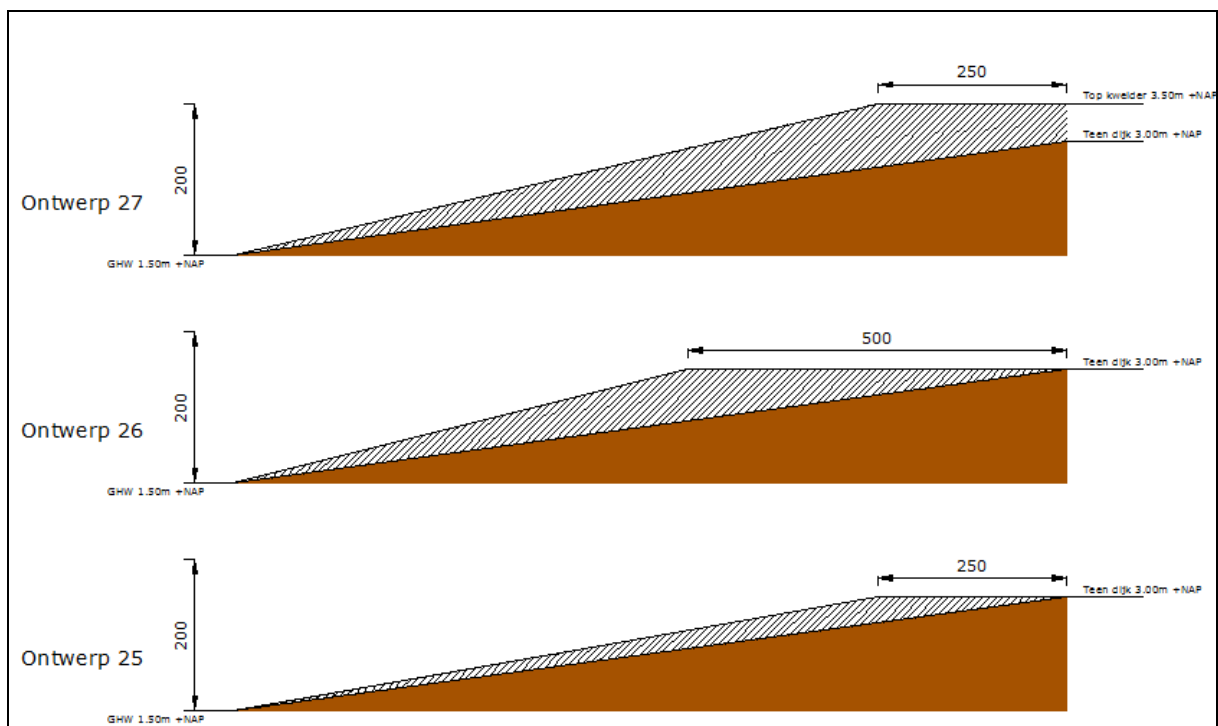
Uitkomsten berekening aanvullende ontwerpen - Profiel 1			
	Hs INVOER	Hs DIJK	REDUCTIE
Profiel 1	1,80m	1,55 m	
Ontwerp 25	1,80	1,49	4,30%
Ontwerp 26	1,80	1,46	6,14%
Ontwerp 27	1,80	1,30	16,28%
Ontwerp 28	1,80	1,28	17,95%
Ontwerp 29	1,80	1,22	21,43%
Ontwerp 30	1,80	1,12	28,25%
Ontwerp 31	1,80	1,09	29,73%
Ontwerp 32	1,80	1,05	32,78%

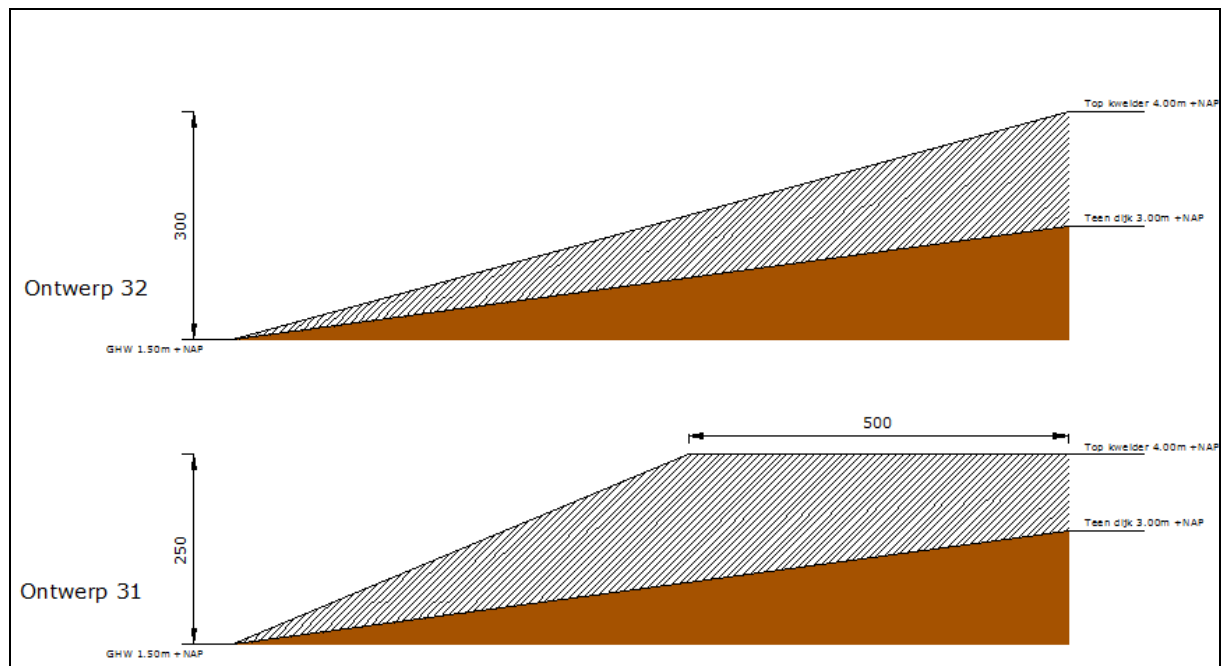
De ontwerptekeningen zijn opgenomen in bijlage 2.

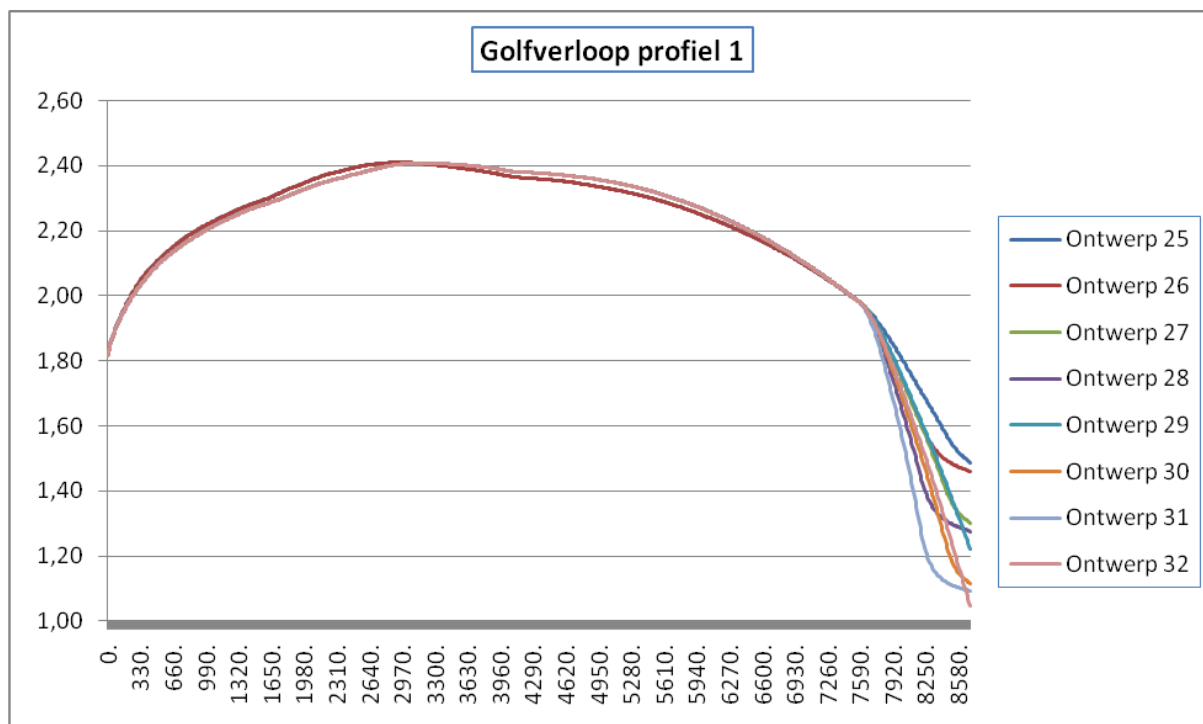
Uitkomsten berekening aanvullende ontwerpen - Profiel 2			
	Hs INVOER	Hs DIJK	REDUCTIE
Profiel 2	1,30m	1,53 m	
Ontwerp 25	1,30	1,47	3,71%
Ontwerp 26	1,30	1,45	5,30%
Ontwerp 27	1,30	1,29	15,50%
Ontwerp 28	1,30	1,27	16,61%
Ontwerp 29	1,30	1,21	20,77%
Ontwerp 30	1,30	1,11	27,34%
Ontwerp 31	1,30	1,09	28,83%
Ontwerp 32	1,30	1,01	33,80%

Tabel 7: Uitkomst berekeningen aanvullende ontwerpen

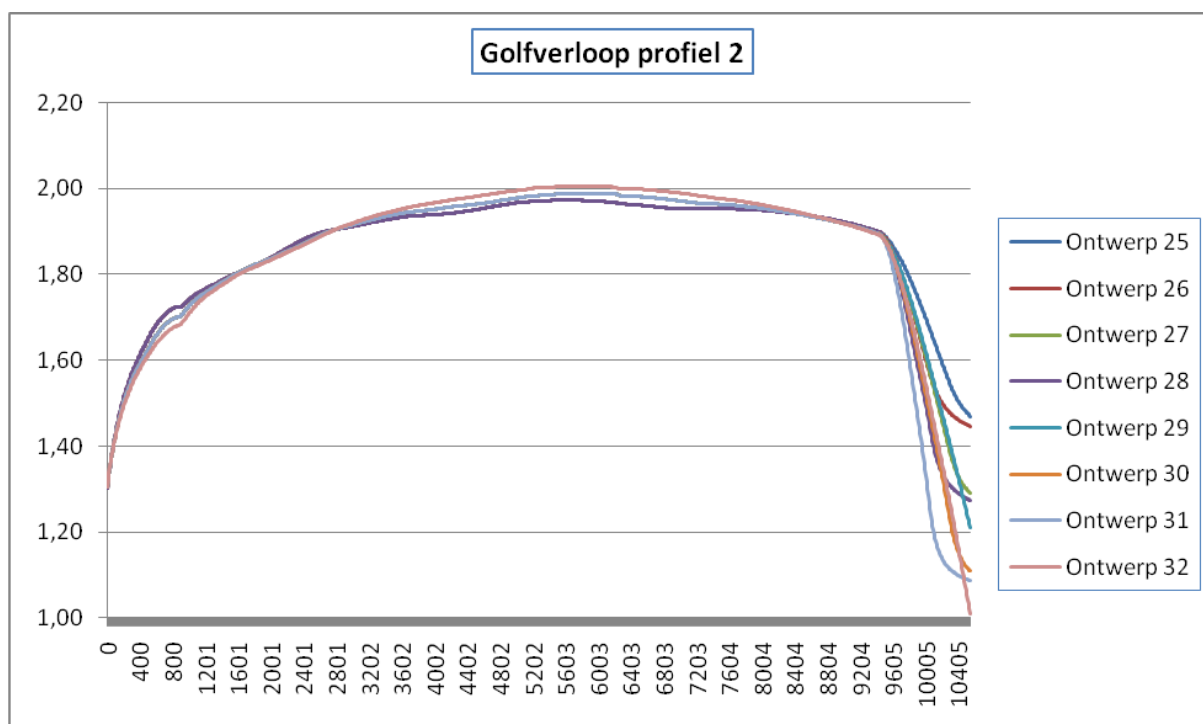
Uit de tabellen hierboven valt op te maken dat het wel degelijk mogelijk is een gunstig resultaat te behalen.







Profiel 1	Ont. 25	Ont. 26	Ont. 27	Ont. 28	Ont. 29	Ont. 30	Ont. 31	Ont. 32
1,55	1,49	1,46	1,30	1,28	1,22	1,12	1,09	1,05
	4,30%	6,14%	16,28%	17,95%	21,43%	28,25%	29,73%	32,78%



Profiel 2	Ont. 25	Ont. 26	Ont. 27	Ont. 28	Ont. 29	Ont. 30	Ont. 31	Ont. 32
1,53	1,47	1,45	1,29	1,27	1,21	1,11	1,09	1,01
	3,71%	5,30%	15,50%	16,61%	20,77%	27,34%	28,83%	33,80%

Bijlage 4. Usermanual SwanOne

SwanOne User manual

Installation.....	1
Starting with Swan One	1
File – New	1
Input data.....	2
Input – Bottom Profile.....	2
Input – Define Current.....	3
Input – Boundary Conditions.....	4
Input – Output locations	5
Computing	6
Creating output	6
General	6
Output – Rays plot.....	7
Output – Spectrum plots.....	8
Output – prints.....	9
Help	9
About	9
Liability.....	10
Annex 1– output parameters	11
Annex 2– Swan spectral file	13

Installation

SwanOne is developed in MatLab, and is delivered as an executable. However, you can run the SwanOne executable only when the MatLab Runtime Component is installed on your computer. For this version you need version 7.7. You can download this package from the SwanOne download page. After downloading run MCRinstaller77.exe.

Check the correct installation; you should have a folder:

C:\Program Files\MATLAB\MATLAB Component Runtime\v77

Download SwanOne.zip from the SwanOne download page and extract all files in a convenient folder, e.g. C:\Program Files\SwanOne. You can make for your convenience a shortcut to SwanOne.exe and place this shortcut on your desktop or in the folder

C:\Documents and Settings\...\Start Menu\Programs

Startup SwanOne by double click on SwanOne.Exe. In the background you will see a black screen showing the logfile. This screen is not relevant for you. The main screen of SwanOne will open.

Starting with Swan One

File – New

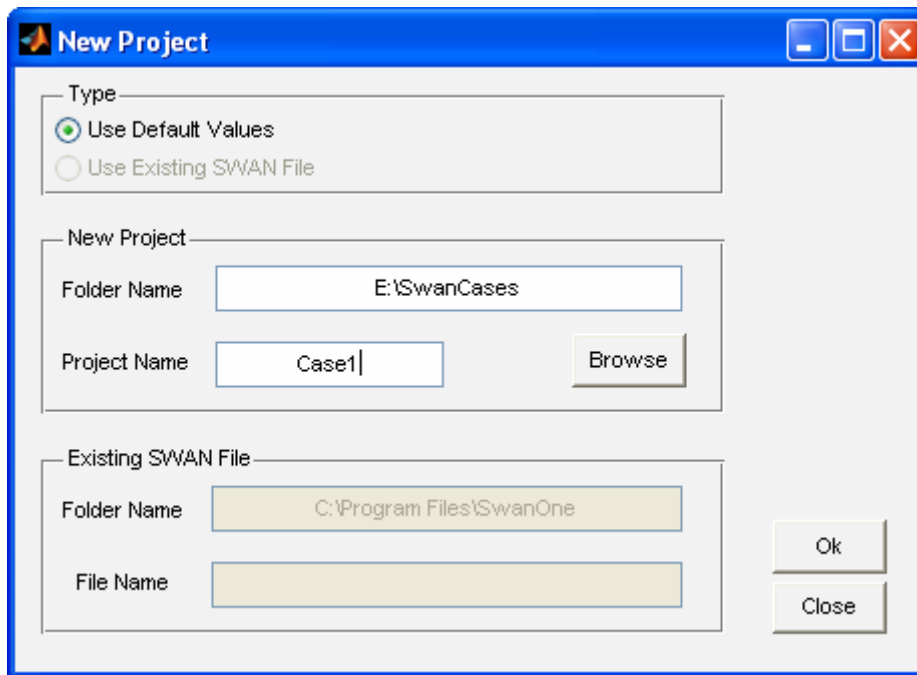
You may define any folder to be used as the SwanOne working directory. In this folder you should have placed your input data files and also your output will be written into this folder. By default SwanOne will use the folder in which the program resides, but usually that is not a very handy place. If you want to place all SwanOne data in a dedicated folder, you have to create this folder; you may create this folder in SwanOne, but it is handier to create it on beforehand. As an example in this manual, the working directory is E:\SwanCases. In this folder a subfolder with the name E:\SwanCases\profiles has been created with the various input files.

Start SwanOne. Two windows will open. One window has a black background and is the Matlab logfile window. You don't have to pay any attention to that window. The other window is normal SwanOne window. Only the tab "File" is active. Click on "new" (the other option is "exit", which is not relevant at this moment).

Now you get the "new project" screen. In this version of SwanOne it is not yet possible to open existing files, so you start a new project. In the box "Folder Name" you type the name of the SwanOne data

SwanOne User Manual

folder, or you select this folder with the “Browse” button. Then you type in the box “Project Name” the name of your specific computation. In the example below the case is called Case1.

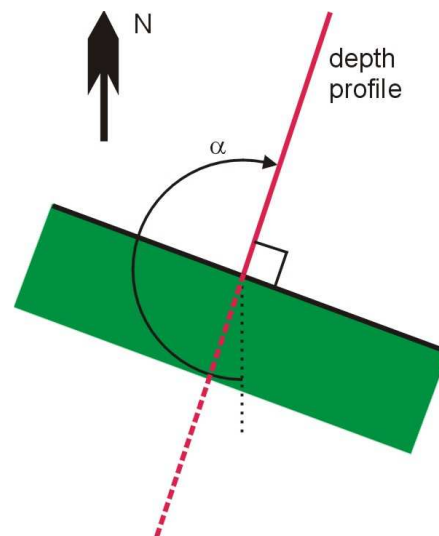
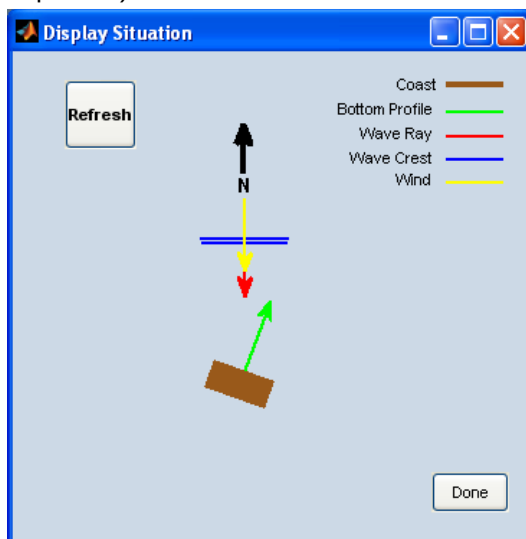


Continue via the “OK” button.

Input data

Input – Bottom Profile

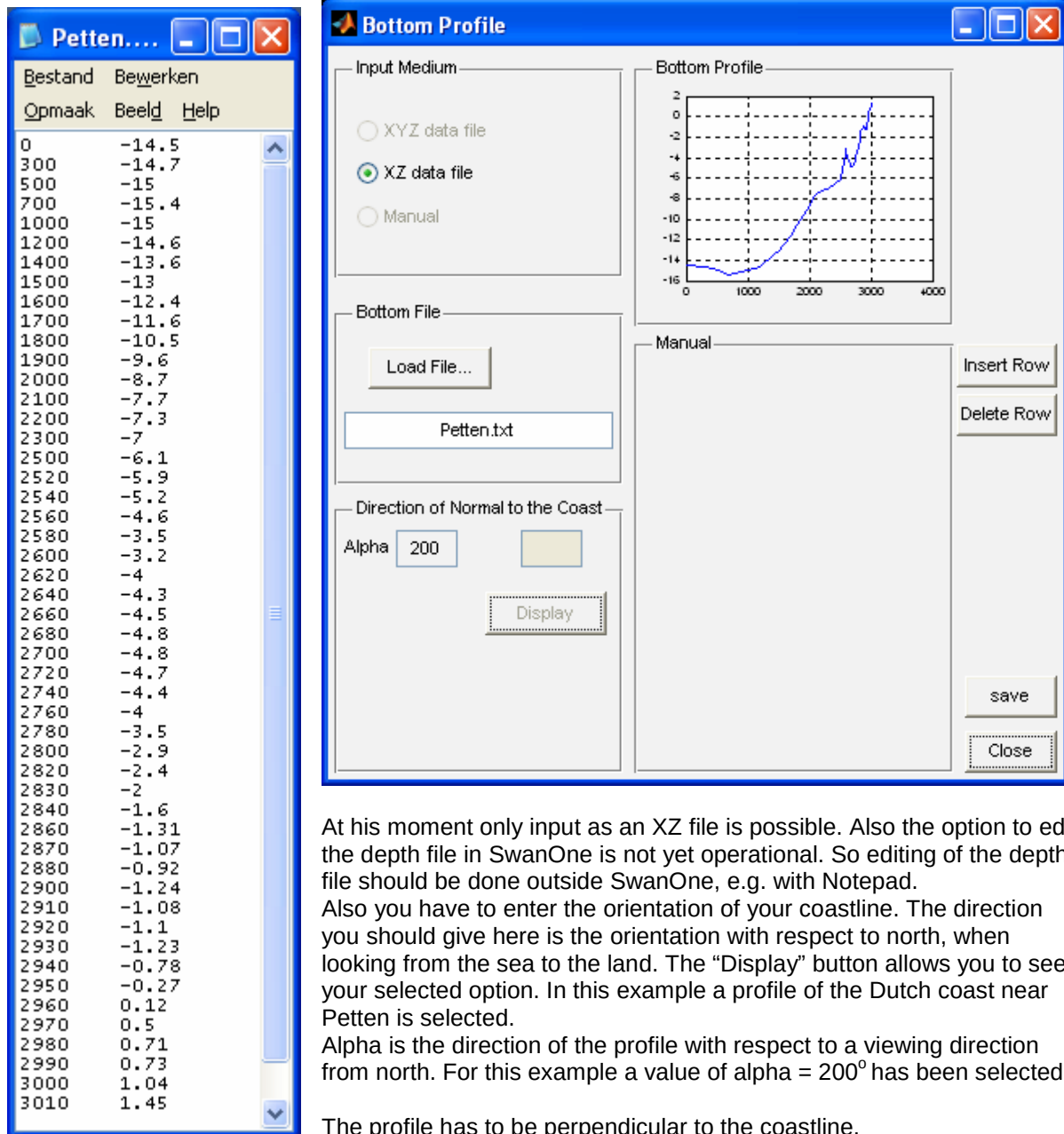
SwanOne requires a bottom profile. This is an ASCII file (e.g. a txt file, made with Notepad). In this file you place water depth information. The file should consist of two columns, separated by (at least) one space. In the first column the distance is given in m from your deep water starting point, in the second depth is given in m below Chart Datum. Depth should be entered as a negative value. The distances are not necessarily equidistant; values can be entered as real values (use a point as decimal separator).



You have to place this depth file in a folder. In this example all profiles are placed in the folder E:\SwanCases\profiles. You may have different files with bottom profiles in this folder. You may type in

SwanOne User Manual

the folder name, or use the “Load File” button to go to this file. The profile will be displayed in a small figure.

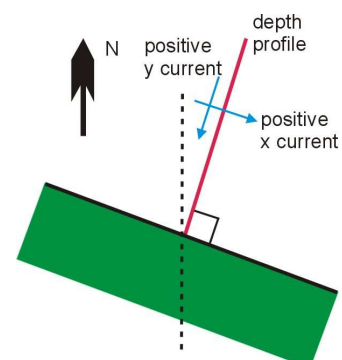


Save your settings by clicking on the “save” button. Saving the file with the “save” button will automatically close the screen. However you can also close without saving by clicking on “close”. **Note:** when clicking on “save” without loading the bottom-file, the program will stop with a warning message.

Input – Define Current

In case you do not want to include currents you have to select in this screen the option “No Current” and save. In case you do not select anything, SwanOne will not run. Usually the effect of currents is small, therefore as startup it is recommended not to include currents. However do not forget in that case to save the “No Current” option.

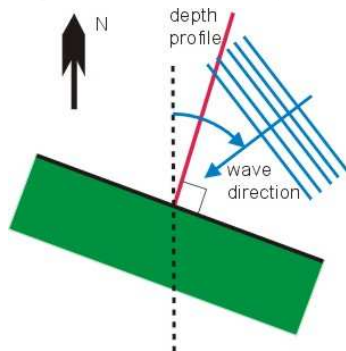
When you want to include currents, you have to make a current input file. This file should consist of three columns, separated by at least one space. In the first column should be the distance as used in the depth





profile. In the second column is the velocity perpendicular to the profile, in the third column is the velocity in the same direction as the profile. The velocities are given in m/s. The distances between the points can be arbitrarily. SwanOne will interpolate linearly between the points. For orientation is referred to the small sketch above. The datafile with currents can be made with Notepad, and can be stored in the same folder as the depth profiles. Outside the defined areas the velocity is assumed to be zero.

Input – Boundary Conditions



In this screen the wave boundary conditions for the deep water edge are set. You may either define an arbitrary spectrum via a file or define input parameters. For beginning users it is recommended to use Parameters.

You may define your input spectrum via parameters by entering a deep water waveheight (H_{m0}) and a deep water peak period (T_p). SwanOne converts these data to a Jonswap spectrum with a peak enhancement factor $\gamma = 3$ and an f^{-5} spectral tail.

Also the wave direction has been set. Direction is with respect to north. In this example the wave direction is set to 30° .

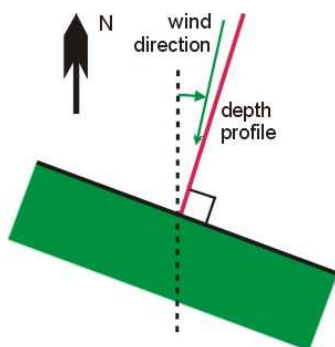
Note: In fact you are not defining the wave height at the boundary, but you define the amount of wave energy entering your model. Because of

this, you may see a deviation between the wave height defined by you at the boundary and the calculated wave height in point 1. For further info, see Appendix 1 to this manual.

In a more advanced mode, you may define the input spectrum at the boundary. In that case select "SWAN 1-D Spectrum", load a spectrum file and save. The spectrum file has to have a specific format. As input file you may use an output file of SwanOne. This allows you to nest models, e.g. a course grid model from very deep water to shallow water, and a fine grid from shallow water to the coastline. The output file with extension SP1 from the course SwanOne model can be used directly as input file for the fine grid model. You may also make an input file yourself using Notepad. This has to be done quite accurate, because SwanOne does not tolerate (minor) typing errors. In Appendix 2 the SWAN spectrum file is discussed in more detail.

In this screen also a deviation can be set of the waterlevel. It is recommended to enter the depth in the bottom profile with respect to Chart Datum, so at this point you can set the waterlevel with respect to Chart Datum. In the example a waterlevel of CD+1 is selected.

In the box you may also select if you want Swan to include a waterlevel rise due to wave set-up.

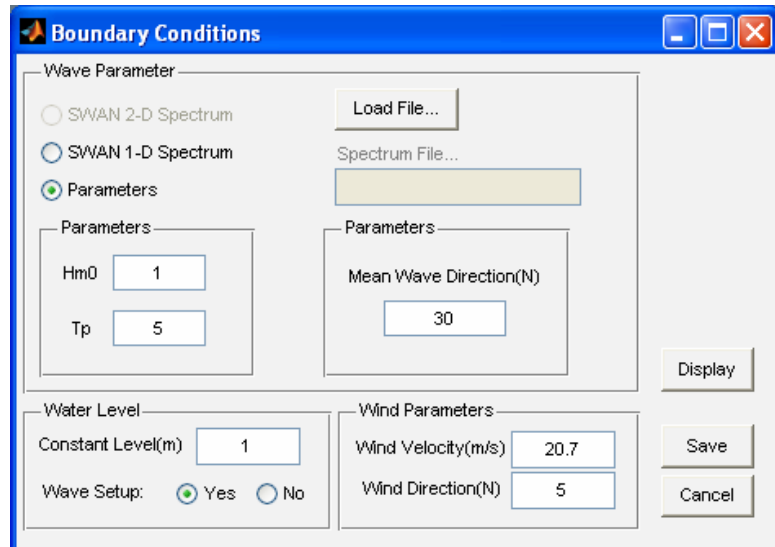
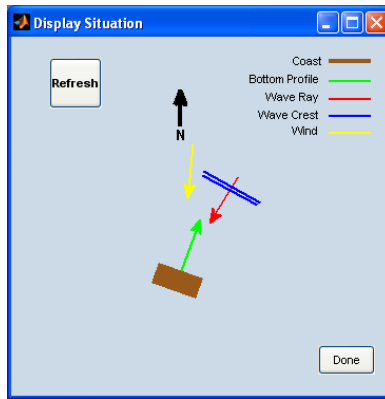


In the lower right box you may set the wind speed and wind direction. Wind speed should be set in m/s, wind direction with respect to North. In this example the wind direction is 5° .

Beaufort	m/s	Beaufort	m/s
1	1.5	7	17.2
2	3.3	8	20.7
3	5.5	9	24.5
4	8.0	10	28.4
5	10.8	11	32.6
6	13.9	12	>33

For details on the Beaufort scale is referred to http://en.wikipedia.org/wiki/Beaufort_scale.

SwanOne User Manual



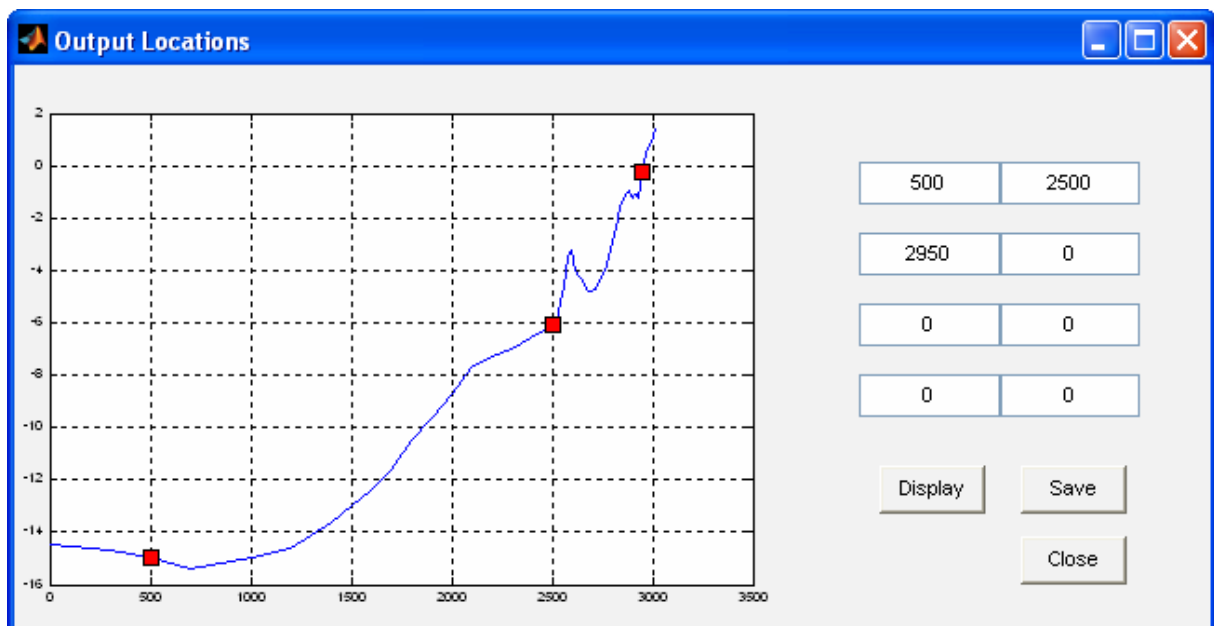
With the “display” button you can visualise all input directions. Close this window after use. In case too many of these windows are open at the same moment, SwanOne will stop and provide an error message.

After entering your data you have to save the information by clicking the “save” button; the screen will be closed. You can close without saving by clicking on the “cancel” button.

Input – Output locations

SwanOne provides a number of spectral parameters at any point of the bottom profile. However, a full spectrum is only provided at pre-selected locations. In this screen you may enter the locations in the 8 boxes. No more than 8 output locations are possible in the present version of SwanOne. In this example a spectrum is selected at the deep water boundary (input spectrum), on the intermediate shelf and a number very near to the coast. When a value is selected outside the profile (in this example at 3700m) the plotted profile will be horizontal.

Save the data by clicking on the “save” button; the screen closes. You may also close without saving by clicking on the close button. The “Display” button gives markers on the screen where the spectra are calculated.

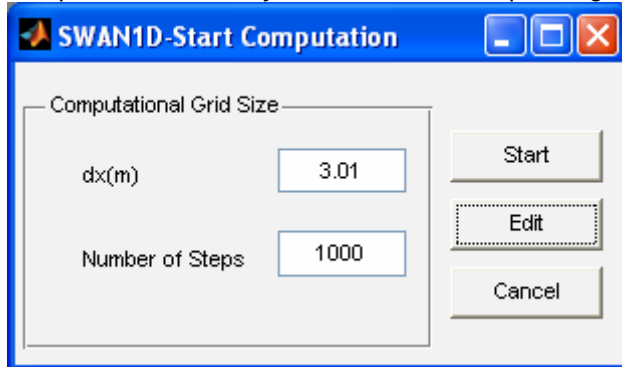


Note: You have to select at least one output location, otherwise the program terminates with an error message.

Computing

By clicking on the computing tab, the computation screen opens. It shows default values for the step size and for the number of steps. These values can be changed to make the computation more accurate (and more slow). After changing one value (either dx or Number of Steps) press "Edit" to compute the other value.

Start the computation with the start button. At this moment SwanOne calls Swan.exe to make the computation. This may take some time, depending on the performance of your computer.



Creating output

General

The basic information is written in a subfolder of the SwanOne cases folder, in this example the name of the subfolder was defined as "Case1" (see explanation in the chapter "Input"). This folder may contain the following files:



MAT	Internal Swan-file, not readable
PRT	Swan report file
SWN	Swan input file for the batch process
TAB	Standard outputfile of Swan
_bot.DAT	Expanded bottom profile file for internal use of Swan
_pointX.SP1	One dimensional spectrumfile for output point X
_pointX.SP2	Two dimensional spectrumfile for output point X
_Table.TAB	Output file as produced by the Tablse command of SwanOne

All files can be read with Notepad. However, it might be useful to open files in Excel. In that case you have to change text to columns. Select column A in Excel and open "Text to Columns" in the "Data" tab of Excel. Select "delimited" and "space" as the delimiter.

Note: in case you have European settings for numbers (i.e. 0,23 instead of 0.23) in Excel, you first have to change all points in comma's. Do this with the "replace all" command in Excel, before you apply the "Text to columns" command

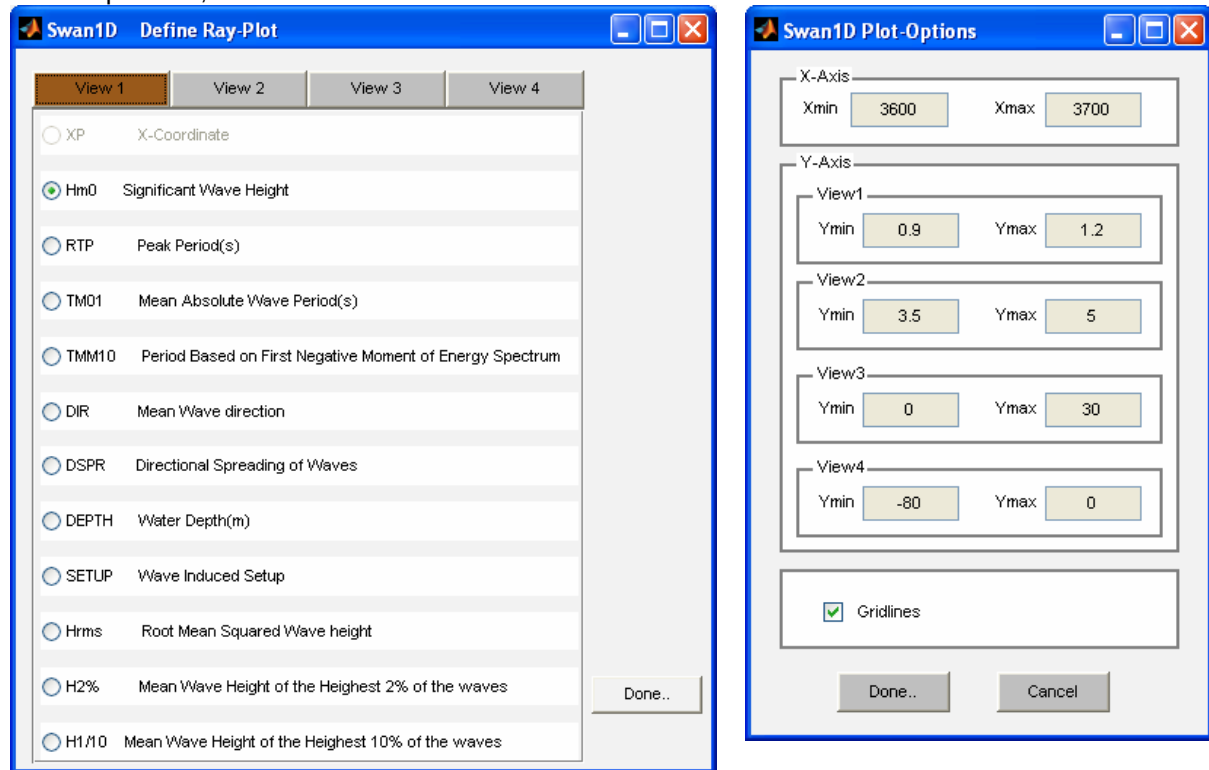
SwanOne User Manual

Output – Rays plot

After clicking on “Rays Plot” the ray plotting windows open. First you have to define the graphs you are interested in. Click for that purpose on “define graphs”. The screen “define ray-plot” opens. You may select up to four graphs in one screen. View1 is default on Hm0. Mark one of the parameters. In case you want more plots, click on View2 and select your second parameter.

In this example the Hm0, the Tm-1,0 the direction and the depth are selected for the subsequent views. After clicking on “done”, the basic screen is opened with the requested graphs.

With the “options” button you may change the scales; for example to plot a detail of the last 500 m of the computation, set the horizontal scale from 2500 to 3000 m.



Swan1D Define Ray-Plot

View 1 View 2 View 3 View 4

☐ XP X-Coordinate

☒ Hm0 Significant Wave Height

☐ RTP Peak Period(s)

☐ Tm01 Mean Absolute Wave Period(s)

☐ TMM10 Period Based on First Negative Moment of Energy Spectrum

☐ DIR Mean Wave direction

☐ DSPR Directional Spreading of Waves

☐ DEPTH Water Depth(m)

☐ SETUP Wave Induced Setup

☐ Hrms Root Mean Squared Wave height

☐ H2% Mean Wave Height of the Highest 2% of the waves

☐ H1/10 Mean Wave Height of the Highest 10% of the waves

Done..

Swan1D Plot-Options

X-Axis
Xmin 3600 Xmax 3700

Y-Axis

View1
Ymin 0.9 Ymax 1.2

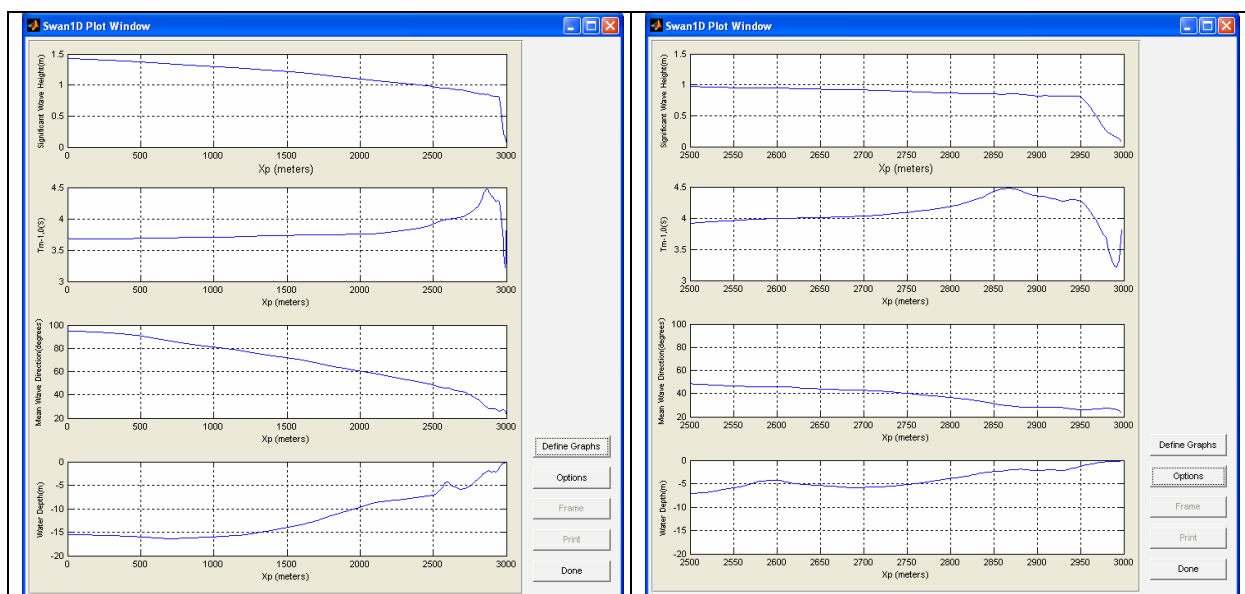
View2
Ymin 3.5 Ymax 5

View3
Ymin 0 Ymax 30

View4
Ymin -80 Ymax 0

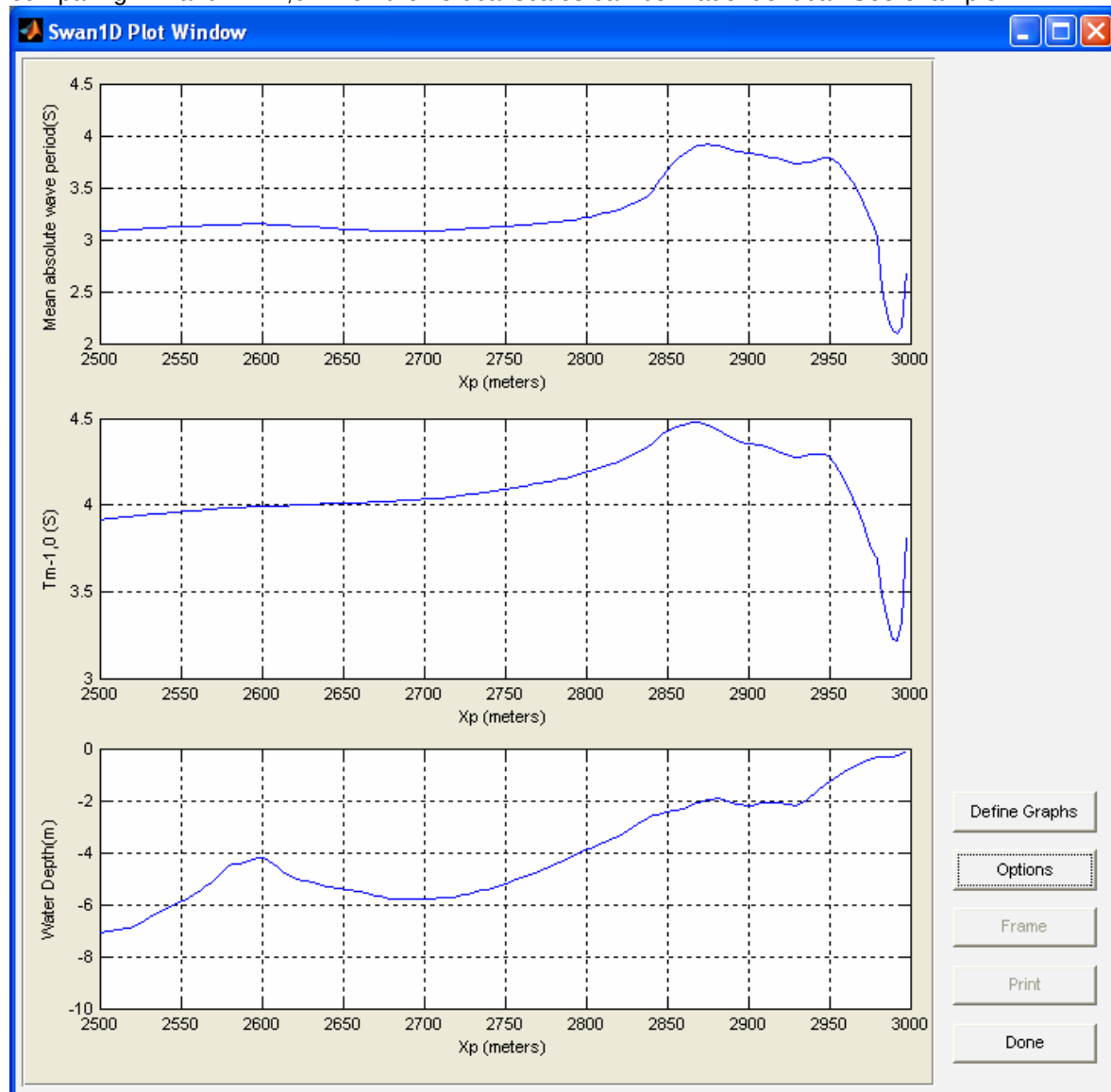
☒ Gridlines

Done.. Cancel

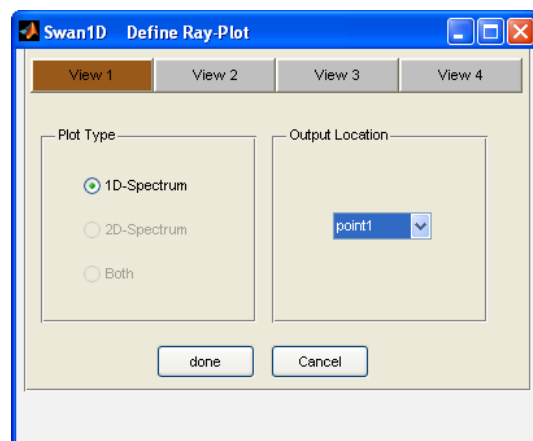


SwanOne User Manual

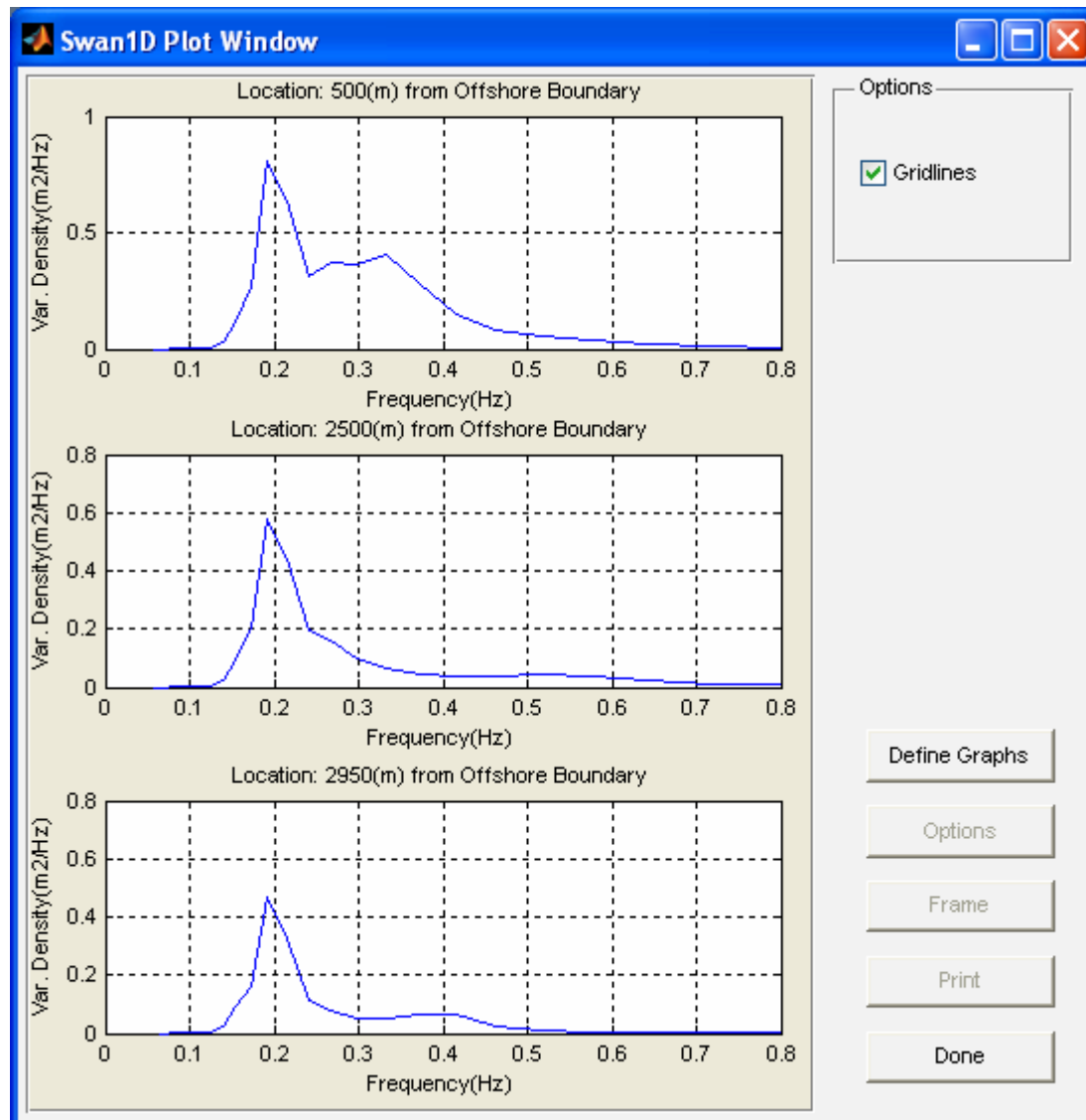
The options function is also very handy when comparing two parameters with the same unit, e.g. comparing T_m and $T_{m-1,0}$. Then the vertical scales can be made identical. See example.



Output – Spectrum plots



Clicking on "spectrum plots" opens the spectrum plot window. Click on "define graphs" to select the spectra. At this moment only 1D spectra are possible. Up to 4 spectra can be plotted in one screen. Only one spectrum can be selected per view. The option not to plot gridlines is not active in this view.



Output – prints

The print tab opens a menu where you can select parameters to be printed in a table. When you select the option of printing to file, the file appears in the Case folder (in this example SwanCases/Case1; see also Output-General, above).

Printing direct to a printer is not yet possible.

For further info regarding the standard outputfiles of Swan is referred to the Swan documentation (http://www.swan.tudelft.nl/online_doc/swanuse/node50.html). The SP1 file gives the (one dimensional) energy spectrum, while the SP2 file gives the directional spectrum

Help

The help option is not yet implemented. Use this manual for help

About

In the “about” screen (which will be a subscreen of Help) you find information regarding the version of SwanOne and the embedded version of Swan. This manual is written for SwanOne version 0.01 and this version is using Swan 40.72.

SwanOne is developed by TU Delft, section Hydraulic Engineering. It is based on a Visual Basic package originally developed by Alkyon under contract for the Netherlands Ministry of Public works.

SwanOne User Manual

SwanOne is written in MatLab by Sepehr Eslami Arab under the guidance of Henk Jan Verhagen (section Hydraulic Engineering) and Gerbrant van Vledder (section Fluid Mechanics).

Liability

The computer program SwanOne has been initiated and written by Delft University of Technology. The program has been thoroughly checked in accordance with the latest developments in hydraulic engineering. Whilst every endeavour was made to ensure a program free of errors, the collaborators do not warrant, guarantee or make any representation regarding the use, availability, reliability, or the results of the use of the software. This includes the accuracy, correctness or completeness of any elements of SwanOne or of information provided within SwanOne.

By using this program, the user agrees and accepts the statements below:

Delft University of Technology and everyone who has collaborated with this program do not accept any liability in any event. This includes direct, indirect, special, punitive, incidental or consequential damages (such as loss of income, company breakdown, damage to reputation and missing orders) as a consequence of the use this program, amongst others by (but not limited to):

- deficiencies or other limitations in the program, equipment and other software in relation to access to this program or the related website;
- use of the program;
- third party claims related to the use of the program.

Annex 1– output parameters

In the following equations spectral moments are defined as follows:

The zero-order moment of the spectrum (i.e. the area of the energy density spectrum or the total energy of the spectrum):

$$m_0 = \int E(f)df$$

The first order moment of the spectrum:

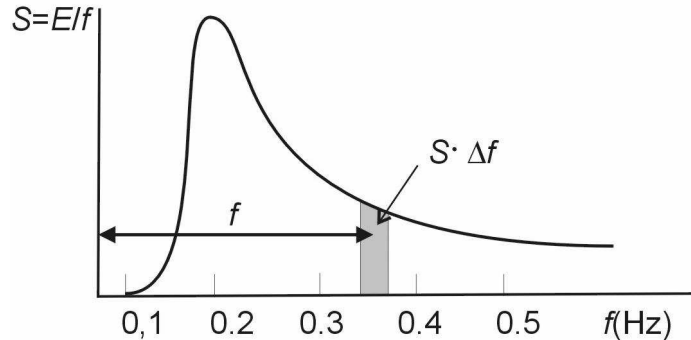
$$m_1 = \int f E(f)df$$

The second order moment of the spectrum

$$m_2 = \int f^2 E(f)df$$

The first negative order moment of the spectrum:

$$m_{-1} = \int f^{-1} E(f)df$$



For simplicity the equations are given for one-dimensional spectra. In fact SwanOne performs calculations with two-dimensional (directional) spectra, but that does not make any difference for the following equations.

SwanOne selects from Swan the following output parameters:

Hm0 wave height (in m) computed as from the total energy in the spectrum:

$$H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$$

(Note: Swan calls this value H_{SIGN})

RTP Peak period (in s); the bin with the highest energy

TM01 Mean absolute period (in s)

$$T_{m1} = 2\pi \frac{m_0}{m_1}$$

TM02 Mean period (in s)

$$T_{m02} = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \approx T_m$$

TMM10 “Shallow water” wave period (in s)

$$T_{m-1,0} = 2\pi \frac{m_{-1}}{m_0}$$

DIR Mean direction (in degrees with respect to North) in degrees. The direction is normal to the wave crests

DSPR One-sided directional width of the spectrum (directional spreading or directional standard deviation, in °)

DEPTH The real water depth, depth below chart-datum+ water level rise + wave set-up

SwanOne also calculates the following values:

Hrms The root-mean-square wave height. H_{rms} is a parameter from the time-domain, and is defined as:

$$H_{rms} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2$$

in which H_i is the wave height of an individual wave in the wave field. Because H_{rms} is a good representation of the energy, there is a fixed relation between H_{rms} and m_0 :

$$H_{rms} = 2\sqrt{2m_0}$$

From the time-domain analysis (assuming a Rayleigh distribution) follows:

$$H_s = \sqrt{2} H_{rms}$$

SwanOne User Manual

And thus (but only for Rayleigh distributed waves, i.e. not in very shallow water):

$$H_s = H_{m0}$$

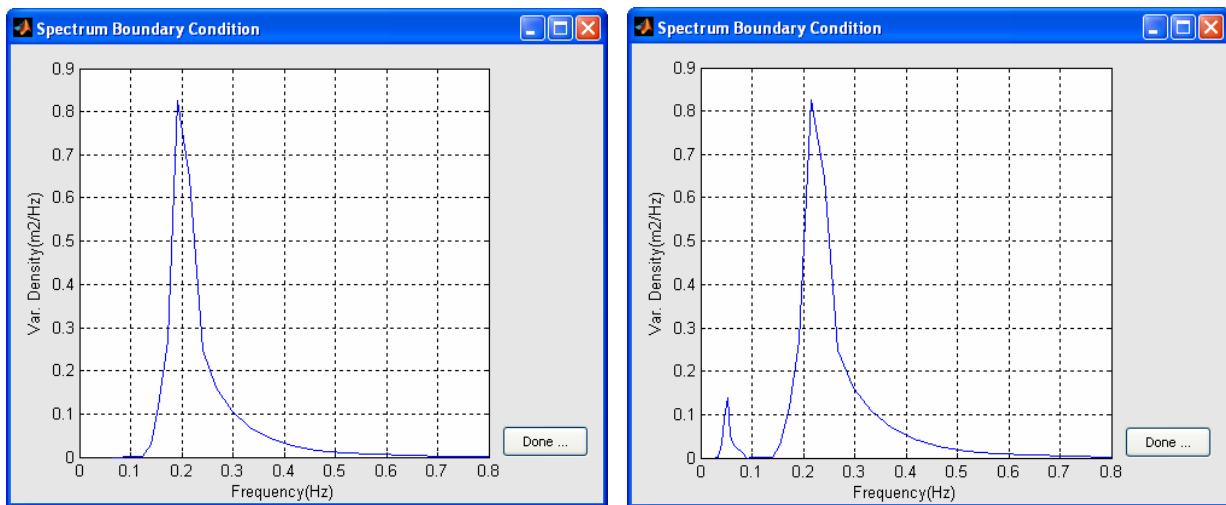
According to Battjes and Groenendijk, the distribution in very shallow water is not according to Rayleigh, and therefore in very shallow water H_s is not equal any more to H_{m0} .

Hs Calculated with the Battjes-Groenendijk method. Only in very shallow water this value is different from H_{m0} .

H2% The wave-height exceeded by 2% of the waves in a wave field, calculated according to the method of Battjes-Groenendijk.

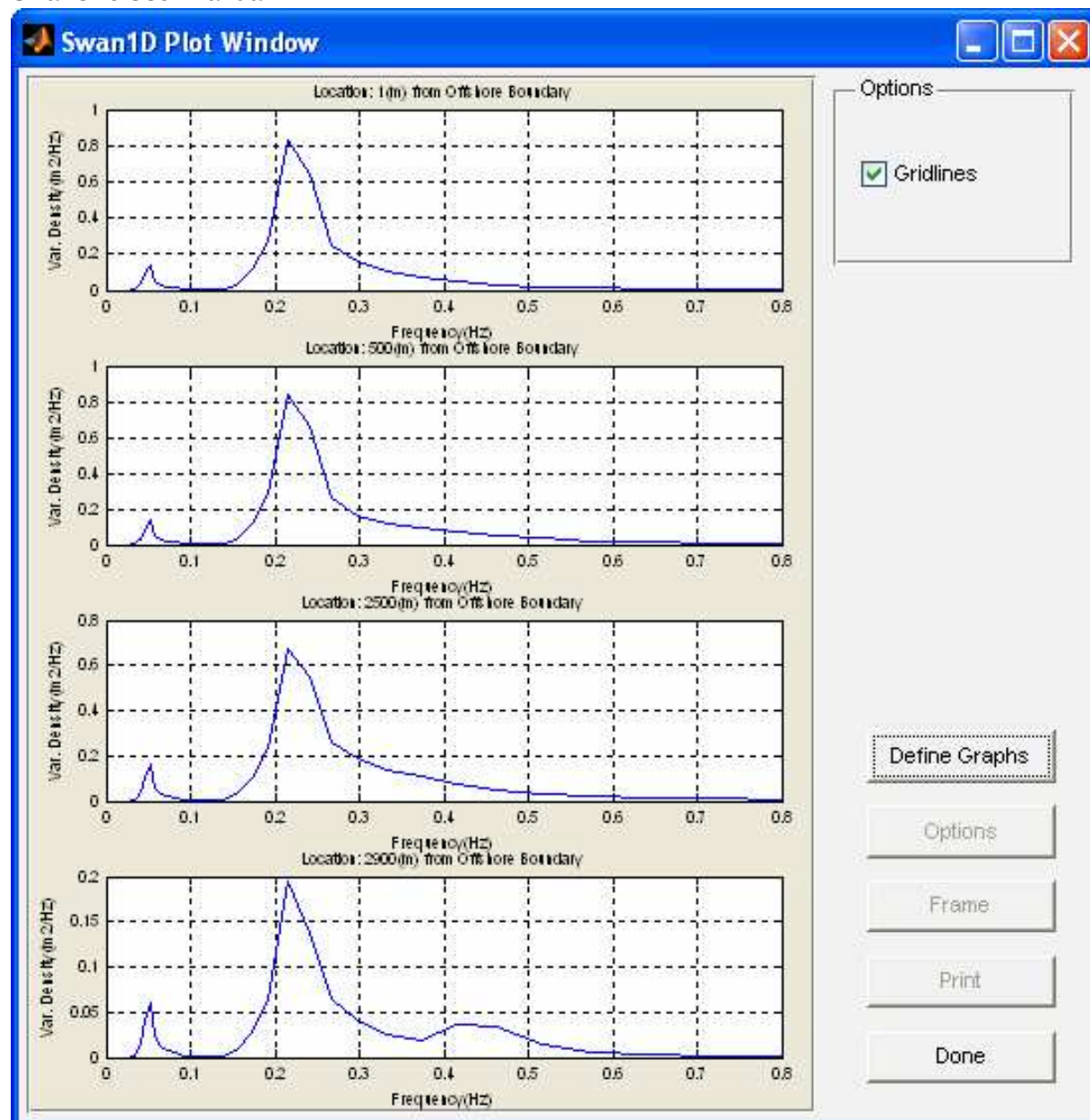
Annex 2– Swan spectral file

SwanOne uses the same spectral output files as Swan. At this moment only the files with extension SP1 can be used as input for SwanOne. SP1 files are one-dimensional energy density spectra. However, you may define for each energy band not only the energy, but also the average direction of that energy as well as the directional spreading of the energy in that band. As an example two files are given below. The left file is a very simple spectrum, from one direction with a constant directional spread of 30 degrees for all energy bands. In the first block is given that the spectrum consists of 31 energy bands, and the frequency of all bands is given. In the second block for each energy band is given the energy, the direction and directional spread. The energy is given in m^2/Hz , but when you intend to calculate the total energy by hand from these numbers, realise that in fact this is a directional spectrum, so that you need to multiply your final answer with 2π . A plot of the input spectrum is given below (left).



A similar file has been made, but now including a swell component with a peak of 20 seconds, and a slightly different direction. The input file is reproduced below. The spectrum plot is above right.

The plot below gives the various spectra at different distances from the coastline.



SWAN 1 Swan standard spectral file \$ Most simple input file for SwanOne \$ Project: demo LOCATIONS locations in x-y-space 1 number of locations 1.0000 0.0000 AFREQ absolute frequencies in Hz 31 number of frequencies 0.0300 0.0335 0.0373 0.0417 0.0465 0.0519 0.0579 0.0645 0.0720 0.0803 0.0896 0.1000 0.1116 0.1245 0.1389 0.1549 0.1728 0.1928 0.2151 0.2400 0.2678 0.2987 0.3333 0.3718 0.4149 0.4628 0.5164 0.5761 0.6427 0.7171 0.8000 QUANT number of quantities in table 3 variance densities in m2/Hz VaDens unit m2/Hz -0.9900E+02 exception value CDIR average Cartesian direction in degr degr unit -0.9990E+03 exception value DSPRDEGR directional spreading degr unit -0.9000E+01 exception value LOCATION 1 -0.9900E+02 -999.0 -9.0 -0.9900E+02 -999.0 -9.0 -0.9900E+02 -999.0 -9.0 -0.9900E+02 -999.0 -9.0 -0.9900E+02 -999.0 -9.0 -0.9900E+02 -999.0 -9.0 -0.9900E+02 -999.0 -9.0 0.2261E-34 0.0 30 0.1614E-26 0.0 30 0.1308E-20 0.0 30 0.3482E-12 0.0 30 0.3637E-09 0.0 30 0.5523E-07 0.0 30 0.2650E-02 0.0 30 0.2941E-01 0.0 30 0.1152E+00 0.0 30 0.2717E+00 0.0 30 0.8260E+00 0.0 30 0.6476E+00 0.0 30 0.2495E+00 0.0 30 0.1619E+00 0.0 30 0.1077E+00 0.0 30 0.6866E-01 0.0 30 0.4286E-01 0.0 30 0.2651E-01 0.0 30 0.1668E-01 0.0 30 0.1056E-01 0.0 30 0.6514E-02 0.0 30 0.3959E-02 0.0 30 0.2488E-02 0.0 30 0.1492E-02 0.0 30	SWAN 1 Swan standard spectral file \$ Most simple input file for SwanOne \$ Project: demo+swell LOCATIONS locations in x-y-space 1 number of locations 1.0000 0.0000 AFREQ absolute frequencies in Hz 31 number of frequencies 0.0300 0.0335 0.0373 0.0417 0.0465 0.0519 0.0579 0.0645 0.0720 0.0803 0.0896 0.1000 0.1116 0.1245 0.1389 0.1549 0.1728 0.1928 0.2151 0.2400 0.2678 0.2987 0.3333 0.3718 0.4149 0.4628 0.5164 0.5761 0.6427 0.7171 0.8000 QUANT number of quantities in table 3 variance densities in m2/Hz VaDens unit m2/Hz -0.9900E+02 exception value CDIR average Cartesian direction in degr degr unit -0.9990E+03 exception value DSPRDEGR directional spreading degr unit -0.9000E+01 exception value LOCATION 1 0.2433E-02 30.0 10 0.1282E-01 30.0 10 0.3299E-01 30.0 10 0.9169E-01 30.0 10 0.1400E+00 30.0 10 0.5148E-01 30.0 10 0.2958E-01 30.0 10 0.1994E-01 30.0 10 0.1278E-01 30.0 10 0.1308E-20 0.0 30 0.3482E-12 0.0 30 0.3637E-09 0.0 30 0.5523E-07 0.0 30 0.2650E-02 0.0 30 0.2941E-01 0.0 30 0.1152E+00 0.0 30 0.2717E+00 0.0 30 0.8260E+00 0.0 30 0.6476E+00 0.0 30 0.2495E+00 0.0 30 0.1619E+00 0.0 30 0.1077E+00 0.0 30 0.6866E-01 0.0 30 0.4286E-01 0.0 30 0.2651E-01 0.0 30 0.1668E-01 0.0 30 0.1056E-01 0.0 30 0.6514E-02 0.0 30 0.3959E-02 0.0 30 0.2488E-02 0.0 30 0.1492E-02 0.0 30
Examples of a very simple SP1 file	Example of a more complicated spectrum, with sea and swell from different directions

