

## Deltaprogramma Waddengebied

### Quick Scan

#### Reductie golfwerking door kwelders en slibvelden in Waddenzee en Eems-Dollard – concept onderzoeksprogramma

Deze notitie is het resultaat van een quickscan, waarin aangegeven wordt wáár en hoe de kennis verkregen gaat worden die nodig is voor de beantwoording van de beleidsvragen. Van nieuw benodigd onderzoek is per onderzoeksvraag een onderzoeksplan gemaakt. De fase daarna, het MIRT-onderzoek, is bedoeld om de kennis te verkrijgen. In die fase wordt de bestaande kennis gebruikt voor beantwoording, worden verbindingen met reeds lopende onderzoeken gelegd om kennis af te tappen, en worden de nieuwe onderzoeken uitgevoerd.

#### 1. Beleidsvraag en beleidsprobleem

De verwachting is dat de zeespiegelstijging als gevolg van klimaatsverandering zal leiden tot een toename van de golfopzet, waardoor de golfaanval op de dijken groter zal worden. Er zijn aanwijzingen dat slibvelden, als deel van de kwelderwerken, en zeker de kwelders zelf, een aanzienlijke verlaging zouden kunnen opleveren van de golfaanval op de dijken. Kwelders vóór een waterkering zijn waarschijnlijk niet effectief in het remmen van de golven bij een maatgevende waterstand (de 1:4000 jaar storm), dan staat er simpelweg te veel water op de kwelder. Maar ze beschermen een waterkering wel tegen minder extreme stormen; Voor dijkbekleding zijn maatgevende golfcondities bij lagere waterstanden van belang. Dat scheelt in de aanleg- en onderhoudskosten.

De hoofdvraag is de beleidsvraag, en luidt:

1. Kunnen slibvelden en kwelders ervoor zorgen dat de dijken minder aangepast hoeven worden zodat dit besparingen aan ontwerp en onderhoud oplevert?
  - a. Welke informatie laat zien dat dit gaat werken?
  - b. Wat zijn de voorwaarden voor een goede werking van dit concept?

Als deze hoofdvraag positief is te beantwoorden, dan worden de onderstaande vragen relevant:

2. Waar hebben we nu kwelders of slibvelden liggen die van invloed zijn op de golfaanval op de dijk en waar zijn gebieden met hoge potentie voor kwelders en slibvelden?
3. Hoe lang (in uren/dagen) kan een kwelder golven breken voordat de kwelder zelf wordt aangetast?
4. Welke maatregelen kunnen genomen worden om bestaande slibvelden en kwelders actief te beïnvloeden zodat deze hun golfaanval beperkende functie onder invloed van klimaatverandering blijven vervullen?
5. Welke maatregelen kunnen genomen worden om nieuwe kwelders en slibvelden te realiseren in de Waddenzee en welke kennis is daarvoor nodig?
6. Wat zijn de ecologische consequenties van nieuwe aanleg, of een veranderd beheer van kwelders, zowel binnen- als buitendijks?
7. Wat zijn de maatschappelijke kosten en baten van de voorgestelde methoden om, de golfaanval op dijken te beperken?
8. Als het tot uitvoering van maatregelen komt, hoe ligt dan de verantwoordelijkheidsverdeling tussen de verschillende betrokkenen? (is governance-vraagstuk)

Deze vragen zijn ook relevant in het licht van de respons van het Waddengebied zelf op klimaatveranderingen. Reeds nu zijn sommige kwelders en slibvelden niet stabiel, in de zin dat locatie, dikte en sedimentsamenstelling over de tijd (seizoenen en jaren) kunnen variëren; deze variatie zou kunnen toenemen bij een veranderend klimaat als gevolg van veranderingen in gemiddelde waterstand, stormcondities en –frequentie, en sedimentaanbod. Met de genoemde mogelijke veranderingen in slibvelden en kwelders verandert ook de bodemligging (bathymetrie) van de Waddenzee, en daarmee de primaire golfontwikkeling in het Waddengebied, i.e. de evolutie zonder verder enige demping door kwelders en/of slibvelden.

Merk op dat deze quickscan zich richt op de Waddenzee en haar randen langs de eilanden en het vasteland, doch niet hun Noordzeekust.

De golven en golfvoortplanting in het Waddengebied worden bepaald door een scala aan factoren:

- de golven op de Noordzee, buiten de ring van Waddeneilanden – een deel van deze golven penetreert tot in het Waddengebied,
- de waterstand en stromingen in de Waddenzee, welke in belangrijke mate wordt bepaald door getijfase en windopzet op de Noordzee,
- de windsnelheid en –richting in het Waddengebied, verantwoordelijk voor lokaal opgewekte golven en windopzet, in relatie tot de strijklengte van de wind,
- de bodem van het Waddengebied:
  - de bodemligging van het Waddengebied (platen, geulen, bodemhellingen, strijklengte (fetch), oriëntatie, strekdammen, etc.),
  - bodemstructuur (ruwheid i.v.m. golfdemping door wrijving),
  - bodemsamenstelling (de “slibinvoed”),
  - eventueel vegetatie.

In de volgende hoofdstukken maken wij expliciet onderscheid tussen kwelders en slibvelden, omdat deze zich zeer verschillend gedragen en een zeer verschillend effect op golven en golfdemping hebben:

- A. Kwelders zijn rijpe, dikwijls begroeide slibvelden aan de voet van de dijk welke bij gemiddeld hoogwater niet meer onderlopen. In deze notitie hanteren we een iets ruimere definitie, en nemen we ook het gebied voor de kwelder mee (pionierzone), dus het gehele bodemprofiel voor de dijk, omdat dit hele profiel belangrijk is voor golfontwikkeling. Kenmerken van deze kwelders zijn:
  - a. de kwelders zijn redelijk stabiel, doch kunnen onder stormomstandigheden afslaan (eroderen),
  - b. kwelders kunnen golven dempen/reduceren door:
    - i. hun bodemprofiel (in feite de teen/vooroever van de dijk),
    - ii. vegetatie, hoewel dat effect klein zal zijn tijdens stormomstandigheden wanneer er veel water op de kwelder staat,
    - iii. interne wrijving in de bodem (kan ook in niet-verweekte zachte slibbodems optreden),
    - iv. indirect kunnen kwelders de golfevolucie beïnvloeden door hun effect op de lokale stroming – de kwelders vormen deel van de lokale bathymetrie, beïnvloeden dus de stroming, en daarmee de stroom-golfinteractie.
- B. Onder slibvelden verstaan wij in deze notitie onbegroeide gebieden met zachte sliblagen – denk aan die gebieden waar een wandelaar tot zijn knieën in de modder wegzakt. Kenmerken van deze slibvelden zijn:
  - a. het slib is zacht, en wordt mogelijk onder invloed van golven nog zachter – de slibvelden zouden kunnen verweken (dan gaan ze zich als een viskeuze vloeistof gedragen),
  - b. demping van golven met ca. 10% kan optreden,

- c. zachte slibvelden zijn waarschijnlijk niet erg stabiel, vanwege hun zachtheid (lage dichtheid en consistentie).

Het is denkbaar dat voor de kwelders, in de pionierzone, of misschien zelfs nog iets verder van de dijk, de vorming van fluid mud (vloeibare modder met hoge viscositeit) mogelijk is door verweking. Het is niet waarschijnlijk dat fluid mud vanuit kwelders wordt gevormd. Demping van golfenergie door fluid mud kan oplopen tot 90%. Merk op dat fluid mud een grote invloed op het ecosysteem van de Waddenzee kan hebben. Meer informatie over de dempende werking van fluid mud en de gevolgen voor het ecosysteem is in de appendix samengevat.

## **2. Benodigde kennis**

### **2.1 Samenvatting eerdere studies in het Waddengebied**

Het SBW project Hydraulische Belastingen (loopt nog tot 2016) is relevant voor studies naar zowel het effect van kwelders als slibvelden op de golfevolutie in het Waddengebied.

Voor de bepaling van hydraulische randvoorwaarden (HR) langs de kust wordt gebruik gemaakt van een instrumentarium waarin het golfmodel SWAN een belangrijk onderdeel is. Met name in de Waddenzee bestond tot voor kort weinig inzicht in de betrouwbaarheid van SWAN. Aan de hand van een uitgebreid meetnet met in en rond het Amelanders Zeegat 16 golfboeien (deels golfrichting bepalend) en HF-radar, is in het kader van SBW de nauwkeurigheid van SWAN verbeterd, is het model op onderdelen verbeterd en uiteindelijk toegepast in de HR berekeningen in de Waddenzee. Om de betrouwbaarheid van het golfmodel zo goed mogelijk in beeld te brengen is het noodzakelijk om de modelinvoer zo goed mogelijk te kennen. Voor waterstand en stroming is een gecombineerd Delft3D-SWAN model ontwikkeld. Hier lag ook direct een belangrijk knelpunt. Met name bij de piek van de storm werd de stormopzet onderschat. Door gebrek aan stromingsmetingen ontbreekt tevens inzicht in de betrouwbaarheid van de voorspelde stromingsvelden. In de tweede fase van het SBW-project (2011 – 2016) zal expliciet aandacht aan deze problematiek worden besteed.

Wij merken op dat genoemde resolutie en onnauwkeurige voorspelling van de waterbeweging in het Waddengebied ook voor de onderliggende vraagstelling (reductie golfwerking door kwelders en slibvelden) relevant is.

In 2009 is het natuurherstel programma 'Naar een Rijke Waddenzee' gestart dat vooral bedoeld is om bestaande initiatieven (zoals KRW, het Waddenfonds of initiatieven van natuurorganisaties) te stroomlijnen. Dit programma is opgehangen aan een streefbeeld aan de hand van vijf kernthema's: Voedselweb in evenwicht, Grootschalige aanwezigheid biobouwers, Schoon en helder (genoeg) water, De Waddenzee als veilige plek en Optimaal ingebed in de internationale keten. Slibvelden en kwelders komen aan bod in verschillende van de benoemde ontwikkeltrajecten (o.a. 'stimuleren van biobouwers', 'overgangen vaste land-natte wad' en 'de Afsluitdijk').

### **2 - A.1 Samenvatting eerdere kwelder-studies in het Waddengebied**

Arcadis Alkyon (2008) heeft een studie uitgevoerd naar het golfklimaat in de Waddenzee onder invloed van stormgolven, stormwind en de interactie met de stroming. In deze studie werd een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar de effecten van een verhoging van de kwelders achter in het HuiBERTgat – volgens dit gevoeligheidsonderzoek neemt de significante golfhoogte ter plekke van de kwelderverhoging met ca 20% af. Elders in het Waddengebied was het effect van deze HuiBERTgatkwelders vrijwel nihil.

## **2 - A.2 Voorwaarden voor golfdemping in Waddenzee en Eems-Dollard – kwelders**

Het belangrijkste effect van kwelders is hun invloed op het bodemprofiel (bathymetrie) van het Waddengebied. De benodigde kennis over de golfevolatie over zo'n profiel is beschikbaar – denk aan shoaling, breken, enz. Deze effecten zijn ook goed te modelleren (SWAN, Delft-waves), mits de resolutie van het rekenrooster fijn genoeg is.

Ook de invloed van vegetatie op de kwelders en demping door interne wrijving (i.e. in de kwelderbodem) is goed begrepen, maar nog niet expliciet in operationele golfmodellen ingebouwd – hier zal parameterisatie nodig zijn.

Golfdemping over kwelders vereist uiteraard de aanwezigheid van kwelders, en hun stabiliteit tijdens stormomstandigheden. Het grootste deel van de Waddenkust wordt gekenmerkt door kwelderwerken, met forse slibafzettingen. Veel van deze kwelders zijn stabiel vanwege oude afzettingen, goede consolidatie en begroeiingen. Onderzoek zal zich met name op dit onderwerp dienen te richten.

Golfdemping door vegetatie zou kunnen optreden indien de vegetatie hoog en dicht genoeg is; de mate waarin hangt af van de lokale omstandigheden. Echter, tijdens stormvloed zal de waterstand zo hoog zijn, dat dit effect niet groot kan zijn. Vegetatie zal dan met name een rol spelen bij mildere weerscondities, en daarmee een gunstige invloed hebben op het onderhoud van de dijken. Merk op dat vegetatie een zeer belangrijke, indirecte rol speelt bij de stabilisatie van kwelders, en de consolidatiesnelheid van slibafzettingen door wateronttrekking via het wortelstelsel. Voor zover bekend, zijn er in/voor het Waddengebied geen studies naar het effect van vegetatie op golfhoogte uitgevoerd.

## **2 – B.1 Samenvatting eerdere slibveld-studies in het Waddengebied**

De benodigde kennis ten aanzien van de golfdempende werking over slibvelden wordt onderbouwd op basis van een samenvatting van eerdere studies in het Waddengebied en een beschrijving van de voorwaarden voor golfdemping in de Waddenzee, gebaseerd op de samenvatting in de Appendix.

Zachte slibvelden, met de consistentie bekend van “wadlopen” (men zakt tot aan de knieën weg in de modder) hebben een beperkte dempende werking (ca 10%).

Significante golfdemping (tot wel 95%) treedt op over fluid mud velden, zoals in de appendix is uiteengezet. Fluid mud zou gevormd worden door verweking van zachte slibbodems onder invloed van inkomende golven. Voor zover bekend is er één studie uitgevoerd naar de demping van golven in het Waddengebied: het Synergie-project Deltares met een studie naar de golf-slibinteractie in de Waddenzee. Deze studie is uitvoerig beschreven in Deltares-rapporten, en in publicaties in de internationale literatuur.

De resultaten van deze studie suggereren dat het slib niet kan verweken onder de invloed van de in de Waddenzee te verwachten golven onder stormcondities. Echter, in de literatuur wordt veelvuldig melding gemaakt van snelle verweking van slibbodems onder niet al te extreme golfcondities. Wel werden energieverliezen van ca. 10% van de totale energie gemeten, welke het resultaat zijn van interne wrijving.

## **2 – B.2 Voorwaarden voor golfdemping in Waddenzee en Eems-Dollard – slibvelden**

Substantiële golfdemping door slibvelden vereist de aanwezigheid van fluid mud. Op dit moment hebben wij geen informatie over het optreden van fluid mud in het Waddengebied (anders dan in de Eems Rivier). Ook ontbreekt definitieve informatie of fluid mud in de Waddenzee überhaupt gevormd kan worden en stabiel kan blijven (zie appendix).

Fluid mud kan het ecosysteem aanzienlijk kan beïnvloeden via vertroebeling, zacht substraat (zachte bodem waarop flora en fauna zich slecht kunnen hechten), en gelaagdheid in de waterkolom (hetgeen de zuurstofhuishouding kan beïnvloeden).

Ten slotte wordt opgemerkt dat vegetatie en de vorming van fluid mud slecht samengaan: vegetatie kan slecht tot niet hechten aan het zeer slappe substraat gevormd door fluid mud, en vice versa, zodra vegetatie zich heeft gevestigd zal de sterkte van de zachte sliblaag snel toenemen.

### **3. Kennisaanbod en kennis lacunes**

#### **3 – A.1 Beschikbare kennis en instrumenten kwelders**

De volgende kennis en instrumenten ten behoeve van verdere studie zijn beschikbaar bij diverse Nederlandse onderzoekers (onder meer Deltares, NIOO-CEME en WUR):

- Kennis over de golfontwikkeling en -voortplanting in ondiepe gebieden zoals het Waddengebied, en modellering daarvan (SWAN).
- Kennis over de wijze waarop golven over ondiepe gebieden evolueren, inclusief de effecten van diverse parameters (zoals golffrequentie, waterdiepte, slibeigenschappen, enz.).
- Een numeriek model (SWAN) waarmee de effecten van kwelders op golven kan worden voorspeld.
- Kennis over de wijze waarop vegetatie golven kunnen dempen als functie van de vegetatie-eigenschappen.
- Numerieke modellen waarmee golfdemping over vegetatie beschreven kan worden.

#### **3 – A.2 Openstaande vragen – kennislacunes kwelders**

De algemene conclusie is dat kwelders de golfhoogtes aan de dijk kunnen verlagen. Desondanks is nooit onderzocht welke de minimale/optimale afmetingen en hoogte van kwelders zijn, waarbij de vooroever (pionierzone) expliciet wordt meegenomen. Het is tevens van belang om te onderzoeken of de structuur van de kwelderbodem een bijdrage aan de golfdemping kan leveren via interne wrijving.

Cruciaal is natuurlijk of de kwelders stabiel blijven tijdens stormomstandigheden, en indien niet, hoeveel materiaal mag afslaan voordat zij hun gunstige werking verliezen. Deze laatste vraag is uiteraard identiek aan de eerste vraag over de minimale/optimale afmetingen van kwelders.

Kweldervorming langs de Friese en Groningse kust kan gestuurd worden – de eeuwenoude landaanwinningwerken aldaar zijn daarvan het levende bewijs. Wel dient onderzocht te worden of deze kwelders met de zeespiegel kunnen blijven meegroeien, en of kwelderwerken ook elders gestimuleerd kunnen worden, en zo ja, of dat dan niet ten koste gaat van de huidige kwelderontwikkelingen. Een mogelijke maatregel die waarschijnlijk gunstig is voor kweldergroei en beperking golfhoogtes ter hoogte van de bedijking betreft dijkteruglegging: ruimte aan de zee (merk op dat het hoogste gebied rondom de Westerschelde wordt gevormd door het Verdronken Land van Saeftinghe, uiteraard afgezien van het duingebied).

Met betrekking tot de laatste vraag is ook de Waddenkust langs de eilanden relevant. Hoewel de golfcondities aldaar milder zijn dan langs de vastelandkust, zouden kwelders langs de eilanden ook een gunstige invloed kunnen hebben op de dijkontwerpen en dijkonderhoud.

Het is denkbaar dat met “ecological engineering” in de vorm van mossel- of oesterbanken kweldervorming, met name langs de eilandenkust, kan versterken.

Verder wordt opgemerkt dat kwelders momenteel waarschijnlijk een gunstige werking hebben ten aanzien van de stabiliteit van de achterliggende dijken. Het is echter niet bekend of, en in welke mate dat voor de kwelders langs de eilanden en de vastelandskust van het Waddengebied het geval is, en zo ja, hoeveel kwelderoppervlakte nodig is om dat effect te bereiken. Vanuit het ecosysteem is verjonging van kwelders aanbevelenswaardig; zo'n verjonging komt tot stand door erosie van die kwelders. Het vrijgekomen sediment kan bijdragen aan de vorming van zachte slibvelden en mogelijk fluid mud.

Tenslotte wordt opgemerkt dat de studies naar het gedrag en stabiliteit van kwelders en slibvelden vragen om een goed modelinstrumentarium waarmee de transporten van slib en de accumulatiegebieden goed in kaart kunnen worden gebracht.

Samenvattend hebben we de volgende vragen ten aanzien van kwelders geïnventariseerd, waarbij de relevante beleidsvragen met hun in hoofdstuk 1 gegeven nummering vet zijn afgedrukt:

1. In welke mate worden dijken nu door kwelders beschermd, hoeveel kwelder is daarvoor nodig, en hoeveel kwelder zou mogen eroderen ten gunste van verjonging van die kwelders (**1, 2, 3**)?
2. Wat zijn de minimale/optimale afmetingen van kwelders in relatie tot hun golfdemping (**1, 3**)?
3. Hoe zijn kwelders in de Waddengebied ruimtelijk verdeeld, en hoe variëren deze afzettingen over de tijd (seizoenen, jaren) (**1, 2**)?
4. Heeft herinrichting van de Afsluitdijk invloed op de slibdynamiek in de Waddenzee (**2, 3**)?
5. Kan baggerspecie uit de havens gebruikt worden bij de opbouw en/of onderhoud van slibvelden en kwelders (**5, 7**)?
6. Kan kweldervorming ook gestimuleerd worden bij voortgaande zeespiegelrijzing, en blijven de kwelders met deze rijzing meegroeien (**5, 7**)?
7. Kan kweldervorming langs de eilandenkusten gestimuleerd worden, en kan ecological engineering hier een rol spelen (**5, 6, 7**)?

### **3 – B.1 Beschikbare kennis en instrumenten slibvelden**

De volgende kennis en instrumenten ten behoeve van verdere studie zijn beschikbaar bij diverse Nederlandse onderzoekers (onder meer Deltares):

- Kennis over de wijze waarop golven over fluid mudlagen dempen, inclusief de effecten van diverse parameters (zoals golffrequentie, waterdiepte, slibeigenschappen, enz.).
- Een numeriek model (SWAN-mud) waarmee de effecten van fluid mudlagen op golven kan worden voorspeld.

### **3 – B.2 Openstaande vragen – kennislacunes slibvelden**

Met betrekking tot het Waddengebied ontbreekt nu een inventarisatie van de bestaande slibvelden, en hun eigenschappen, zowel wat betreft samenstelling, dichtheid, verwekbaarheid, etc. als hun stabiliteit (gedrag van slibvelden op langere termijn). Voor het beheer van het Waddengebied is de vraag relevant of de slibafzettingen, tezamen met hun eigenschappen te sturen zijn, en zo ja, op welke wijze. Ook de gevolgen van gestuurde slibafzettingen kunnen zijn voor het ecosysteem en de economische gebruiksmogelijkheden van het Waddengebied kunnen belangrijk zijn.

Hierbij zou gebruik gemaakt kunnen worden van bij regulier baggeren vrijkomende specie, en/of van natuurbouwwerken die in de Waddenzee gepland zijn, dan wel onderzocht worden. Momenteel wordt gebaggerd in de havens van Delfzijl, de Eemshaven en Harlingen. Mogelijk dat het gebaggerde slib nuttig aangewend kan worden bij opbouw van kwelders en slibvelden.

Een belangrijke vraag hierbij is de invloed van het beheer van de bestaande kwelders en slibvelden, op de golfdemping in het Waddengebied.

Eén van de geplande werkzaamheden betreft de herinrichting, en misschien zelfs herontwerp van de Afsluitdijk om gesteld te staan voor hogere hoogwaters, en ten behoeve van de zoetwaterhuishouding in het achterland. Een belangrijke vraag is dan hoe zo'n herinrichting de slibhuishouding lokaal, en in meer brede zin de gehele Waddenzee beïnvloedt.

Zoals opgemerkt in de appendix bij deze notitie kunnen lange golven meer gedempt worden dan korte (of omgekeerd), afhankelijk van de lokale condities. In dat geval kan de herverdeling van golfenergie over het frequentiedomein een rol gaan spelen (bijvoorbeeld hoogfrequente energie kan "weglekken" naar de lagere frequenties, of omgekeerd). Dit effect is bijvoorbeeld beschreven voor de kust van Louisiana. Het is niet bekend of zo'n herverdeling van energie over het golfspectrum een rol speelt in de Waddenzee.

Wij merken op dat deze herverdeling natuurlijk altijd een rol speelt, als zij optreedt. Alleen in het geval van slibgeïnduceerde golfdemping kan dit extra belangrijk zijn, omdat door visceuze effecten erg veel energie gedissipeerd kan worden bij een beperkt aantal frequenties.

Verder wordt opgemerkt dat variabele slibafzettingen ook van belang zijn voor dijkontwerp (hoogte en bekleding), ook indien men geen rekening kan houden met golfdemping door kwelders en slibvelden. Immers, die dijkhoogtes volgen uit voorspellingen met modellen die gecalibreerd worden aan de hand van observaties van de golfhoogtes en –periodes in het Waddengebied en langs de Waddenkust. Indien zulke observaties per ongeluk worden uitgevoerd in een gebied waar zich op dat moment toevallig grote, golfdempende slibvelden zouden bevinden, zullen de te verwachten golfhoogtes fors onderschat kunnen worden. Zulks heeft uiteraard consequenties voor de voorspellingen van de hydraulische randvoorwaarden ten behoeve van de ontwerpdiijkhoogtes.

Samenvattend hebben we de volgende vragen geïnventariseerd:

8. Hoe zijn slibafzettingen in de Waddengebied ruimtelijk verdeeld, en hoe variëren deze afzettingen over de tijd (seizoenen, jaren) **(1, 2, 3)**?
9. Wat zijn de voor golfdemping relevante slibeigenschappen, en hoe variëren deze over tijd en ruimte **(1, 2)**?
10. Heeft herinrichting van de Afsluitdijk invloed op de slibdynamiek in de Waddenzee **(5, 7)**?
11. Kan baggerspecie uit de havens gebruikt worden bij de opbouw en/of onderhoud van slibvelden en kwelders **(5, 7)**?
12. Welke frequenties uit het golfspectrum dempen in het bijzonder, en is herverdeling van golfenergie over het spectrum relevant **(1, 2, 3)**?
13. Hoe beïnvloeden instabiele zachte sliblagen de resultaten van golfmetingen ten behoeve van de calibratie van golfvoorspellingsmodellen **(1, 3)**?
14. Hoe en waar in het Waddengebied kunnen fluid mudlagen gevormd worden **(1, 4, 5)**?
15. Zijn gevormde fluid mudlagen stabiel, en, indien niet, onder welke omstandigheden en waarheen wordt het slib getransporteerd? **(1, 3)**

#### **4. Ontwikkelingen elders**

Het voorliggende conceptonderzoeksvoorstel sluit zeer nauw aan bij de volgende andere onderwerpen uit het quick-scanprogramma:

1. Impact nieuwe veiligheidsnormering: Ten behoeve van dit onderwerp dienen hydraulische randvoorwaarden bepaald te worden. Deze randvoorwaarden zijn mede afhankelijk van eventuele golfdemping over slibvelden en kwelders. Een knelpunt bij deze bepaling bestaat uit de resolutie waarmee nu het complexe plaat-geulsysteem van het Waddengebied kan worden gemodelleerd.
3. Klimaatbestendigheid buitendijkse terreinen: Buitendijkse terreinen kunnen mogelijk meer klimaatbestendig worden als het lokale golfklimaat milder wordt, dan wel als zulke gebieden, of hun directe omgeving met de zeespiegel meegroeien. Beide aspecten worden binnen het voorliggende conceptonderzoeksprogramma behandeld.
4. Stormvloedhoogte Eems-Dollard: Daar waar slibvelden en kwelders in de Waddenzee golfhoogtes kunnen dempen, kan dat ook in de Eems-Dollard. Beïnvloeding van kwelders en slibvelden in het Eems-Dollardgebied vraagt mogelijk om andere maatregelen dan in de Waddenzee, maar dit behoeft geen fundamenteel andere aanpak.
6. Sedimenthuishouding en klimaatverandering: Dit onderwerp heeft een sterke morfologische component waarbij de ontwikkeling van de bodemligging, wadplaten, enz. centraal staat. Deze bodemligging heeft echter directe invloed op de golfontwikkeling in het Waddengebied en op de transporten van fijn sediment (slib), en daarmee op de demping van golven over slibvelden en kwelders.
8. Innovatieve dijken: In deze quickscan wordt o.a. onderzocht of andere dijkvormen een gunstige invloed op het dijkontwerp (kosten, onderhoud, bedrijfszekerheid) hebben. De impact van slibvelden en kwelders sluit hierbij nauw aan.

Verder lopen er momenteel een aantal andere onderzoeksinitiatieven in het Waddengebied. De belangrijkste ten aanzien van golfdemping door kwelders/slibvelden is de voortgaande SBW-studie. Daarnaast wordt reeds nu onderzoek uitgevoerd (o.a. door Imares) naar voorkomen en gedrag kwelders vanuit natuurontwikkeling. Het is zaak bij deze initiatieven aan te sluiten.

Een aantal medewerkers van WUR/Imares is reeds geruime tijd betrokken bij de monitoring van kwelderontwikkeling. In 2010 is binnen Kennis voor Klimaat het onderzoeksprogramma 'Veiligheid tegen overstromingen' opgestart met daarin o.a. projecten gericht op natuurlijke klimaatbuffers en de mogelijkheden om natuurlijke processen (zoals kweldervorming) te benutten in robuuste, multi-functionele waterkeringen. Het Waddengebied is een van de studiegebieden en momenteel wordt onder meer een verkenning uitgevoerd naar de kansen voor kwelderherstel voor de Terschellinger Waddendijk. Deze informatie dient in het onderzoeksprogramma meegenomen te worden.

Opgemerkt wordt dat de in deze notitie beschreven concepten generiek zijn, en dus ook elders toepasbaar zijn – denk aan de Zeeuwse delta. Voor de gesloten Hollandse kust zal onvoldoende slib beschikbaar zijn voor de vorming van kwelders en slibvelden.

## 5. Governance

Met betrekking tot het governance vraagstuk spelen de volgende aspecten (beantwoording beleidsvraag 8):

- Sluiten de technische ingrepen ten behoeve van de veiligheid, beschreven in deze notitie aan bij de N2000-richtlijnen?
- Merk op dat intensief kwelderbeheer kan leiden tot een win-winsituatie in relatie tot beheer en/of herstel natuurlijkheid.
- Zijn deze N200-richtlijnen klimaatbestendig, met andere woorden ontstaan conflicten bij de in het Deltaprogramma gehanteerde tijdshorizon van 2050 – 2100?



- Hoe staan andere stakeholders in het Waddengebied tegenover de in deze notitie beschreven ideeën?
- Een vergroting van de vertroebeling in geval van grotere slibdynamiek kan ook de visserijbelangen storen.
- Is dijkverlegging bespreekbaar in het noorden van het land?
- Indeling/lay-out van de kwelders i.v.m. toegankelijkheid (bijvoorbeeld grazend vee) en onderhoud (inclusief schoonhouden).

Aansluiting bij:

- voortgaand SBW-onderzoek
- onderzoek in kader van Kennis voor Klimaat
- onderzoek in kader van het programma “Naar een Rijke Waddenzee”
- werkzaamheden voor Kaderrichtlijn Water
- opportunistisch – aansluiting bij te nemen initiatieven in de komende jaren.

## 6. Lokale activiteiten op korte termijn

De in deze notitie beschreven aanpak is generiek in de zin dat gebruik gemaakt wordt van generieke numerieke modellen en algemene fysische principes. Het in hoofdstuk 8 beschreven gefaseerde onderzoeksprogramma beschrijft de activiteiten op korte en lange termijn, en de verbinding daartussen.

## 7. Omschrijving mogelijke oplossingsrichting

Het is nu te vroeg om mogelijke oplossingsmaatregelen te bespreken – eerst dienen de openstaande vragen beantwoord te worden. Wij anticiperen dat na de afronding van Fase 3 (hoofdstuk 8.1) eerste ideeën ten aanzien van oplossingsrichtingen gegeven kunnen worden.

## 8. Concept onderzoeksprogramma en data-behoefes

Een deel van het onderzoeksprogramma en data-behoefes is gelijk voor het onderzoek naar de effecten van kwelders en van slibvelden. Dit gezamenlijk deel zal eerst worden gepresenteerd, waarna programma en behoeftes voor kwelders en slibvelden afzonderlijk worden behandeld.

Wij stellen voor eventueel onderzoek in fases op te pakken. De meeste fases kunnen min of meer gelijktijdig worden opgepakt. Wij adviseren echter een aantal breekpunten in te bouwen voor go/no-go beslissingen, zeker na Fase 2.

### 8.1 Concept onderzoeksprogramma – algemeen

Relevante beleidsvragen met hun in hoofdstuk 1 gegeven nummering zijn vet afgedrukt.

#### **Fase 1:**

Gedetailleerde en volledige samenvatting van relevant, eerder uitgevoerd werk en onderzoek in het Waddengebied, en elders in de wereld, zowel ten aanzien van kwelders als slibvelden, zodat optimaal gebruik kan worden gemaakt van bestaand kennis en instrumenten (**1, 2**).

#### **Fase 2:**

De eerste fase bestaat uit een gevoeligheidsonderzoek met het bestaande SWAN en SWAN-mud model. Voorgesteld wordt het Waddengebied in het model op redelijke wijze te

beleggen, eerst met kwelders en dan met slibvelden (en zo mogelijk ook fluid mud velden), en dan simulaties voor maatgevende condities uit te voeren, conform het in hoofdstuk 3.1 beschreven werk. Alleen als blijkt dat de golfdemping dusdanig significant is met betrekking tot het dijkontwerp (hoogte en bekleding), dan wel dijkonderhoud, worden de volgende fases opgepakt (1, 3).

#### **Fase 3A:**

Er dient een inventarisatie gemaakt te worden van de kwelders in het Waddengebied, inclusief hun stabiliteit over de tijd (langere tijdsperiodes, i.e. jaren). Hierbij dient tevens de invloed van het beheer van die kwelders beschouwd te worden.

In deze fase zal tevens aangegeven moeten worden tot in welke mate kwelders de stabiliteit van de dijken zelf beschermen. Dan kan ook bepaald worden hoeveel kwelders mogen eroderen voordat zij hun golfreducerende en dijkstabiliserende werking verliezen, ten gunst van verjonging en eventuele fluid mudvorming (1, 2).

#### **Fase 4:**

Verbeteren schematisatie Waddengebied in numerieke modellen ten behoeve van verbeteren waterstromings- en slibtransportberekeningen – dit betreft een betere ruimtelijke resolutie, bij acceptabele rekentijden. Merk op dat dit deel van het werk vraagt om verbeteringen in de software (ongestructureerde roosters, sub-grid modellering, parallelisatie), en dat deze aanpassingen voor alle modelleerwerk in het Waddengebied relevant zijn. Dit werk sluit nauw aan bij behoeftes vanuit Quick Scan 6 – Veiligheidsaspecten rond Sedimenthuishouding en geuldynamiek) (1, 3, 4, 5, 7 – basis werkzaamheden om diverse vragen goed te kunnen beantwoorden).

#### **Fase 5:**

Ontwikkelen van een slibtransportmodel voor langere periodes om stabiliteit van kwelders en slibvelden te beschrijven en te voorspellen. Een kritiek onderdeel bij deze ontwikkeling is de beschikbaarheid van voldoende data ten aanzien van stromingen en zoutgehalten en slibconcentraties (-fluxen) (1, 3, 4, 5, 7 – basis werkzaamheden om diverse vragen goed te kunnen beantwoorden).

## **8.2 Benodigde informatie en data; monitoringsbehoeftes**

De volgende informatie en data zijn nodig om bovenbeschreven studie uit te voeren – deze data- en informatiebehoefte zal in het overall monitoringsprogramma opgenomen worden:

1. Informatie over de ruimtelijke verspreiding slib, en stabiliteit kwelders en slibvelden. Bij voorkeur dienen ook historische overzichten verzameld te worden.
2. Informatie over de eigenschappen van het slib (erodeerbaarheid, valsnelheid, etc.),
3. Data over golfontwikkeling ten aanzien van golfrichting en –hoogte, en energiespectrum op wat grotere schaal met behulp van golfboeien (en redelijk dicht onder de kust).
4. Data over golfontwikkeling ten aanzien van golfrichting en –hoogte, en energiespectrum op kleinere schaal dicht bij de kust (0 – 6 km) met behulp radar.
5. Synoptische waarnemingen van stroomsnelheden en debieten (met ADCP<sup>1)</sup>), onder meer tijdens stormomstandigheden.

---

<sup>1)</sup> De Acoustic Doppler Current Profiler is een veel gebruikt instrument om stroomsnelheden en debieten te meten, hetzij vanuit een vaste meetopstelling, dan wel vanaf een varende schip.

## **8 – A.1 Concept onderzoeksprogramma kwelders**

### **Fase 6:**

Onderzoek naar stuurbaarheid van locatie en eigenschappen van kwelders en slibvelden. Hierbij zal onder andere gekeken worden naar het beheer van de kwelders zelf, hun stabiliteit als functie van dat beheer, verjonging, vastleggen sedimenten (kwelderwerken), vegetatiebeheer, enz.

Teruglegging van dijken kan een zeer grote invloed hebben op de gehele morfologische ontwikkeling van het Waddengebied in het algemeen, en daarmee op de dynamica van de fijne sedimenten (slib) in het bijzonder. In geval van dijkteruglegging worden dan vele van de in het begin van hoofdstuk 2 genoemde parameters beïnvloed, en daarmee de golfontwikkeling in het Waddengebied. Dijkteruglegging zal over het algemeen het golfklimaat ter plaatse van de dijk milder maken, maar dient uiteraard gezien te worden in het licht van klimaatveranderingen (1, 4, 5, 6, 7).

Alle scenario's bij ander kwelderbeheer, dijkteruglegging, etc. zullen getoetst dienen te worden ten aanzien van hun ecologische impact, en ten aanzien van hun governance (sociaal-economisch effect); dit laatste zal in ander kader worden opgepakt. Het is echter zeer wel denkbaar dat een aantal van zulke ingrepen een gunstig effect hebben op het ecosysteem, bijvoorbeeld door vergroting van het intergetijgebied.

## **8 – A.2 Benodigde informatie en data; monitoringsbehoefes kwelders**

Er zijn op voorhand geen extra monitoringsbehoefes voor het kwelderonderzoek, anders dan in hoofdstuk 8.2 beschreven. Wel zal t.z.t. het effect van eventuele ingrepen gemonitord dienen te worden.

## **8 – B.1 Concept onderzoeksprogramma slibvelden**

### **Fase 3B:**

Er dient een inventarisatie gemaakt te worden van de slibvelden in het Waddengebied, inclusief hun stabiliteit en samenstelling (zand-slibgehalte) over de tijd (langere tijdperiodes, i.e. jaren). Hierbij dient tevens de invloed van het beheer van die kwelders beschouwd te worden (1, 2).

### **Fase 7:**

Er is over het algemeen voldoende kennis om het gedrag van kwelders en slibvelden op de golfvoortplanting in het Waddengebied te beschrijven en te voorspellen. Met betrekking tot die kennis ontbreekt echter één element: kunnen slibvelden in de Waddenzee fluid mud vormen, en zo ja, hoe, i.e. door verweking of door sedimentatie. Beantwoording van deze vraag vraagt om gericht onderzoek, welke in belangrijke mate zal worden uitgevoerd door middel van veldwaarnemingen (waterdrukmetingen en golfvoortplantingsmetingen – zie appendix) (1, 3, 4).

### **Fase 8:**

Onderzoek naar stuurbaarheid van locatie en eigenschappen van kwelders en slibvelden. Hierbij zal onder andere gekeken worden naar het beheer van de kwelders zelf, hun stabiliteit als functie van dat beheer, verjonging, vastleggen sedimenten (kwelderwerken), vegetatiebeheer, enz (1, 4, 5, 6, 7).

## **8 – B.2 Benodigde informatie en data; monitoringsbehoefte**

De volgende informatie en data zijn nodig om bovenbeschreven studie uit te voeren – deze data- en informatiebehoefte zal in het overall monitoringsprogramma opgenomen worden (nummering sluit aan sectie 8.1):

6. Metingen om vast te stellen of, en zo ja hoe en onder welke omstandigheden, fluid mudlagen kunnen worden gevormd. Dit betreft een gericht veldonderzoek waarbij zweven slibgehalten, waterspanningen net boven en in de bodem, turbulentiegraad, enz. worden bepaald.
7. Metingen om de eventuele herverdeling van golfenergie over het golfspectrum kan worden gemeten. Dit kan mogelijk met de bovengenoemde golfboeien en radarmetingen, maar waarschijnlijk dienen deze dan strategisch geplaatst te worden.

## **9. Bemensing / Planning**

Wij stellen voor om na de uitvoering van Fase 1 en 2 een go – no-go beslissing te nemen. Fase 1 geeft inzicht in de eventueel ontbrekende kennis, en de benodigde ontwikkeling daarin, terwijl Fase 2 inzicht geeft in hoeveel winst m.b.t. de hydraulische randvoorwaarden eventueel gemaakt kan worden.

### **9.1 Onderzoeksteam**

Voor Fase 1 en 2 stellen wij het volgende onderzoeksteam voor:

dr. Gerben de Boer	overall projectleider uitvoering Fase 1 en bijdrage aan Fase 2 (slibvelden)
dr. Jacco Groeneweg	adviseur golfonderzoek uitvoering Fase 2
dr. Han Winterwerp	kwaliteitsbewaking

Bemensing voor eventuele volgende fases zal worden vastgesteld wanneer dat opportuun is.

### **9.2 Tijdschema**

Het werk aan Fase 1 en 2 zal in 2011 onder regie van Deltares worden uitgevoerd.

### **9.3 Communicatie**

Wij stellen voor om tijdens iedere fase ten minste drie keer overleg met de opdrachtgever te beleggen, namelijk bij de start van de werkzaamheden binnen die fase, halverwege tijdens die fase, en na de afronding bij de bespreking van de uiteindelijke resultaten. Indien nodig zal additioneel overleg worden ingepland.

Indien Fase 1 en 2 gelijktijdig worden opgedragen is het efficiënter om de voortgangsbesprekingen voor deze twee fases te combineren.

### **9.4 Samenvatting en kostenraming**

De onderstaande tabel geeft een samenvatting van de voorgestelde onderzoeksfases, en een globale kostenschatting (inclusief BTW).

Tabel 1: Overzicht fasering Quick Scan 2: Reductie golfwerking (kostenraming incl. BTW)

Fase	titel	kennisvraag	kostenraming	tijdplanning
1	samenvatting literatuur en Waddenonderzoek	inventarisatie bestaande kennis en eerder uitgevoerd onderzoek	k€40 – 50	midden 2011
2	gevoeligheidsonderzoek	welke golfdemping kan überhaupt gerealiseerd worden bij een hypothetische overvloed aan kwelders en/of slibvelden?	k€100 – 120	2 <sup>e</sup> helft 2011
go/no-go		indien bovenbeschreven golfdemping geen significante bijdrage aan veiligheid kan leveren, is vervolgonderzoek niet zinvol		eind 2011
3A	inventarisatie kwelders	waar zijn nu kwelders, en hoe stabiel/dynamisch zijn deze? in welke mate hebben kwelders stabiliserende invloed op dijklichamen? hoe dragen kwelders bij aan natuurwaarden en –herstel in Waddengebied?	k€50 – 100 ca 2 manweek per jaar over aantal jaren	2012
4	resolutie Waddenmodellen	hoe kan de resolutie van numerieke modellen van Waddengebied worden verbeterd, zodat modellen accurate voorspellingen van golfhoogtes kunnen doen?  deze resolutie dient voor andere onderwerpen ook verbeterd te worden (Quick-Scan 3, 4, 6, 8)  deze werkzaamheden sluiten aan bij andere programma's en kunnen (gedeeltelijk) vanuit die andere programma's gefinancierd worden mits fasering is af te stemmen	k€200 – 300	2012 – 2013
5	slibtransportmodel	voor verdere studies is numeriek slibtransportmodel onontbeerlijk – het huidige model is nog niet accuraat genoeg om ontwikkeling van kwelders, en de consequenties van die ontwikkeling te voorspellen  deze resolutie dient voor andere onderwerpen ook verbeterd te worden (Quick-Scan 3, 4, 6, 8)	k€150 – 250	2012 – 2013

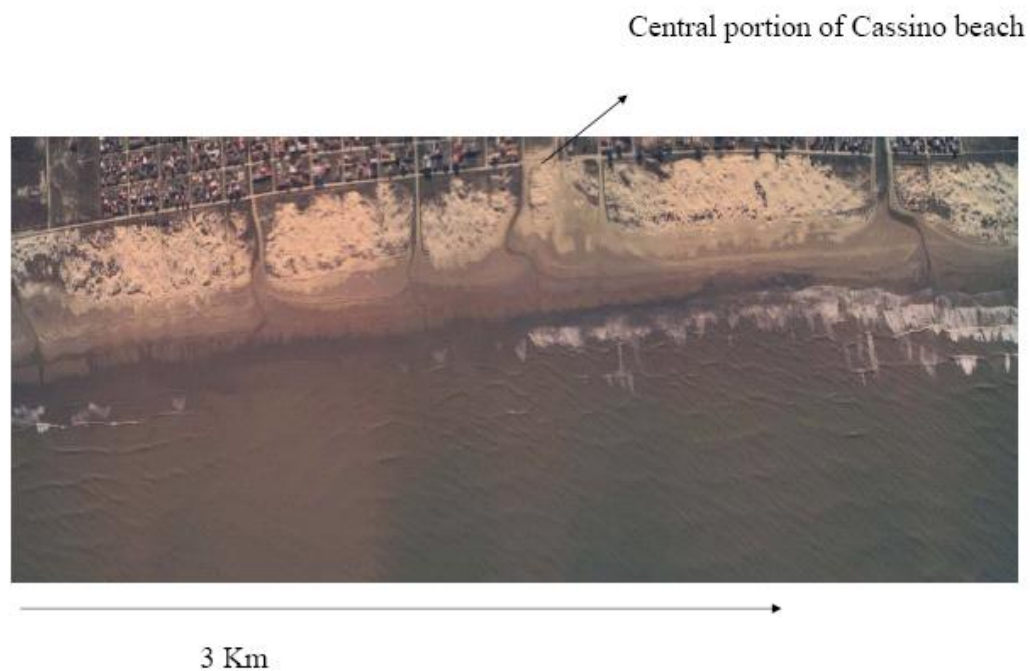
		deze werkzaamheden sluiten aan bij andere programma's en kunnen (gedeeltelijk) vanuit die andere programma's gefinancierd worden mits fasering is af te stemmen		
6	stuurbaarheid kwelders	in hoeverre kan kwelderontwikkeling (aangroei, stabiliteit, verjonging, etc.) gestuurd worden?  hoe kan kweldersturing bijdrage aan veiligheid (golfhoogtes en –lengte) en natuurlijkheid Waddengebied?	k€80 – 130	2013 – 2014
3B	inventarisatie slibvelden	waar zijn nu slibvelden, en hoe stabiel/dynamisch zijn deze, en kan hieruit fluid mud gevormd worden?  in welke mate hebben slibvelden (fluid mud velden) stabiliserende invloed op dijklichamen?  wat is relatie tussen slibvelden (fluid mud voorkomens) en natuurwaarden en –herstel in Waddengebied?	k€50 – 100  ca 2 manweek per jaar over aantal jaren	2012
7	fluid mud Waddenzee	kan fluid mud gevormd worden in het Waddengebied, en zo ja, volgens welk mechanisme?	k€100 – 150	2012
8	stuurbaarheid slibvelden	kan locatie en gedrag slibvelden (fluid mudvelden) gestuurd worden?  hoe verhoudt eventuele sturing van slibvelden (fluid mudvelden) zich tot natuurdoelstellingen Waddengebied?	k€80 – 130	2013 – 2014
data	benodigde data	data t.b.v. gedrag slibvelden (fluid mudvelden)  data t.b.v. golfontwikkeling over kwelders en slibvelden (veranderingen in golfhoogtes en –periodes)	p.m.	2011 – 2015

## 10. References

G. Lipari en G.Ph. van Vledder, 2008. Simulation studies for storm winds, flow fields and wave climate in the Wadden Sea. Alkyon, Report A2108R1.

## Appendix: Waargenomen golfdemping over kwelders en slibvelden

De literatuur beschrijft veel waarnemingen van slibgeïnduceerde golfdemping – deze waarnemingen zijn onder meer afkomstig uit India (Kerala modderbanken), Louisiana (Atchafalaya mudflats), de Guyana's (Frans Guiana, Suriname en Brits Guyana), en Zuid-Brazilië (Cassino – Rio Grande do Sul). Ter illustratie tonen wij in Figuur 1 een luchtfoto van de golven voor Cassino Beach (Zuid-Brazilië) – in het linker deel van de foto worden de golven gedempt door sliblagen voor de kust. Figuur 2 toont de gemeten golfdemping voor de kust van Suriname: 88% van alle golfenergie dempt uit over ca. 8 km (merk op dat dit overeenkomt ca. 50 golflengtes). Observaties in Kerala suggereren overigens volledige golfdemping over ca. 5 golflengtes.

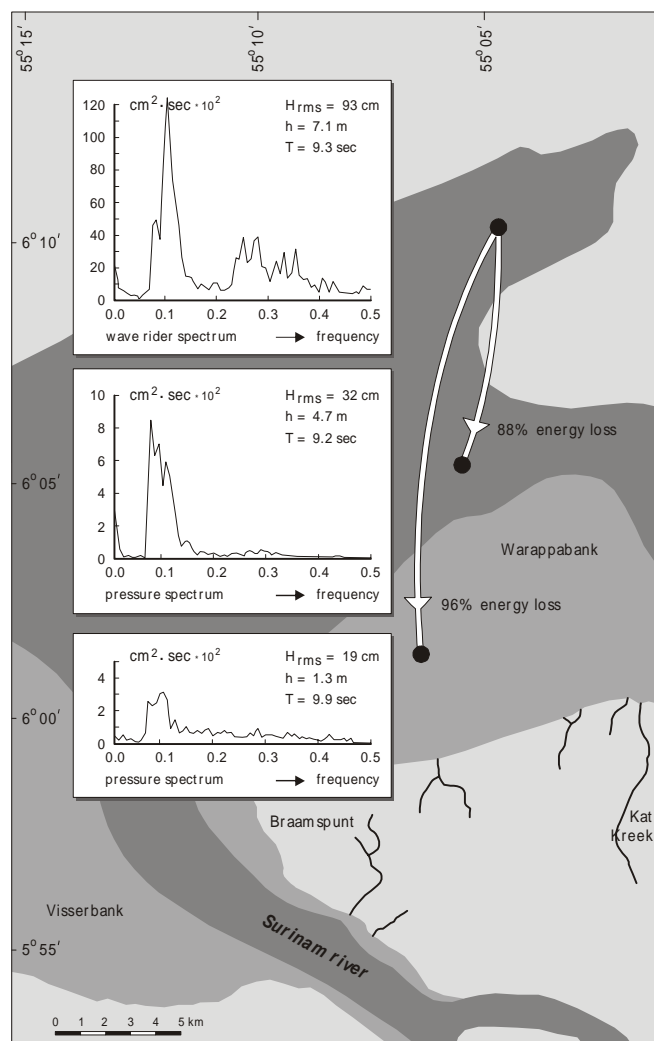


Figuur 1: Slibgeïnduceerde golfdemping bij Cassino Beach (Zuid-Brazilië).

De in Figuur 1 en 2 getoonde golfdemping wordt veroorzaakt door dissipatie van de golfenergie in de zachte, hoog-visceuze slibbodem (fluid mud). De belangrijkste parameters zijn:

- dikte (en ruimtelijke verdeling) van de fluid mud lagen,
- viscositeit en dichtheid van de fluid mud lagen (de relevante viscositeit is een factor 1000 groter dan die van water – “bruin water” zal dus geen golven dempen),
- lokale waterdiepte en golfperiode.

Waarnemingen en theoretische analyses hebben aangetoond dat maximale golfdemping is te verwachten als de fluid mudlagen een paar decimeter dik zijn. Merk op dat de waterdiepte zelf een minder belangrijke parameter is: sterke golfdemping treedt nog steeds op bij waterdieptes van vele meters (5 – 10 m). Het stormpeil in de Waddenzee is dan dus geen belemmering voor dit mechanisme.



Figuur 2. Gemeten golfdemping voor de kust van Suriname (ref: Wells and Coleman, 1986).

Het gangbare beeld van golfdemping over slibvelden is/was het volgende. Inkomende golven verweken de slibbodem. Verweking is een proces waarbij de elektrostatische bindingen in het slib, die het materiaal zijn cohesie en plasticiteit verlenen, worden verbroken door de door de golven opgewekte cyclische belasting. Deze verweking kan erg snel gaan, i.e. we moeten denken aan tijdschalen van minuten. Omdat slib uit erg fijn sediment bestaat, is de doorlatendheid van het materiaal laag. Verweking is dan ook een zogenaamd ongedraineerd proces, hetgeen inhoudt dat tijdens de verweking de dichtheid (watergehalte) van de bodem gelijk blijft. Dit verklaart waarom de viscositeit zo groot kan worden.

Na verweking ontstaat een tweelagen systeem, bestaande uit een bovenlaag met relatief lage slibconcentraties (in dit geval is zelfs 1000 mg/l laag), en een onderlaag, de fluid mud laag met slibconcentraties variërend tussen enkele tientallen tot een paar 100 g/l. De inkomende oppervlakte golven induceren interne golven op het water-slib grensvlak, welke vervolgens dempen in de hoog-visceuze slibbodem. Doordat de oppervlakte- en interne golven uit fase raken, wordt continu energie van de oppervlaktegolf naar de interne golf overgedragen, waardoor ook de oppervlaktegolf uitdempt.

Tenslotte wordt opgemerkt dat de golfdemping niet gelijkmatig over het golfspectrum verdeeld hoeft te zijn – vaak ziet men dat maximale demping of bij de kortere, of bij de langere golven optreedt, afhankelijk van de lokale condities en slibeigenschappen.

Tijdens de storm wordt de fluid-mud laag echter geleidelijk geërodeerd, zodat de dempende werking langzaam verloren gaat.



Voor zover bekend is er één studie uitgevoerd naar de demping van golven in het Waddengebied: het Synergie-project Deltares met een studie naar de golf-slibinteractie in de Waddenzee. Deze studie is uitvoerig beschreven in Deltares-rapporten, en in publicaties in de internationale literatuur en kende de volgende onderdelen:

- Evaluatie van potentiële gebieden in de Waddenzee met voldoende verweekbaar slib op basis luchtfoto's en literatuur.
- Veldbezoek aan deze gebieden, uitvoeren van enige relevante metingen en steken van bodemmonsters voor beproeving in het laboratorium. Op basis van deze voorfase is gekozen voor verdere analyse van het gebied rondom de “Zwarte Haan”, het slibveld langs de dijk bij het Amelander Zeegat – op deze manier kon ook gebruik gemaakt worden van de resultaten van de SBW-studie.
- Uit dit veldbezoek bleek dat sommige slibafzettingen nogal instabiel zijn. Uit beschikbare informatie verwachtten wij dat bij het Moddergat het meeste slib zou worden aangetroffen (de naam suggereert dit al). Echter, de bodem hier was zeer zandig. Bij Wierum daarentegen werd een zeer dik pakket slib aangetroffen, dat daar pas een jaar lag – daarvoor was de bodem zandig.
- Cyclische triaxiaalproeven<sup>2)</sup> in het laboratorium om de verweking van de genomen slibmonsters te onderzoeken als functie van de te verwachten golfbelastingen onder stormcondities.
- Simulaties met SWAN-mud om de slib-geïnduceerde golfdemping te berekenen gebruikmakend van de resultaten van de triaxiaalproeven.

SWAN-mud simulaties voor Amerlander Zeegat condities met een bodem met 10% wrijvingsverliezen, en simulaties met fluid mud karakteristieken zoals die in de literatuur worden vermeld tonen respectievelijk 10% en 90% demping van alle golfenergie aan ter hoogte van de dijk bij Zwarte Haan.

Golfdemping over fluid mud velden treedt ook op tijdens stormvloed – een waterdiepte van 5 m of meer vormt geen beperking voor visceuze dissipatie in de fluid mud laag.

Een belangrijke open vraag is of de slibvelden in het Waddengebied kunnen verweken. Zoals uiteengezet in hoofdstuk 3.1 bleek het niet mogelijk om slibmonsters genomen uit het gebied van de Zwarte Haan te verweken tijdens triaxiaalproeven, bij cyclische belastingen karakteristiek voor stormcondities en zelfs groter. Eén verklaring is dat de proeven niet goed zijn uitgevoerd, dan wel dat de monsternamen en monsterbehandeling niet op orde waren (monsternamen te laat in het seizoen, zodat alleen sterk geconsolideerd slib werd gevonden). In dat geval kan verweking en de daaropvolgende fluid mud vorming, en dus grote golfdemping niet worden uitgesloten. Zoals beschreven was het gangbare beeld tot één à twee jaar geleden dat golven een geconsolideerde sliblagen inderdaad kunnen verweken.

Er is echter heel recent onderzoek uitgevoerd (gebaseerd op veldmetingen) in Zuid-Brazilië en Louissinana waaruit een wat ander beeld volgt: Voor de komst van een storm worden golven met ca. 10% gedempt, waarschijnlijk door de eerder genoemde interne wrijving in de slibbodem. Tijdens de storm wordt de slibbodem vervolgens geërodeerd, waarbij de golfdemping afneemt, en de slibconcentratie in de waterkolom fors toeneemt. Tijdens het tweede deel of na de storm kan het slib weer bezinken, en wordt een fluid mud laag gevormd. Dan vindt forse golfdemping plaats, waarbij soms tot wel 90% van alle golfenergie wordt gedissipeerd.

---

<sup>2)</sup> Triaxiaalproeven zijn standaardproeven die in de grondmechanica gebruikt worden om de sterkte van een grondmonster, dus van de bodem te bepalen. De procedure is dat het grondmonster met steeds grotere krachten belast wordt, tot het bezwijkt. Bij cyclische triaxiaalproeven wordt een cyclische belasting opgelegd, waarmee de door golven geïnduceerde spanningen in de bodem worden gesimuleerd.

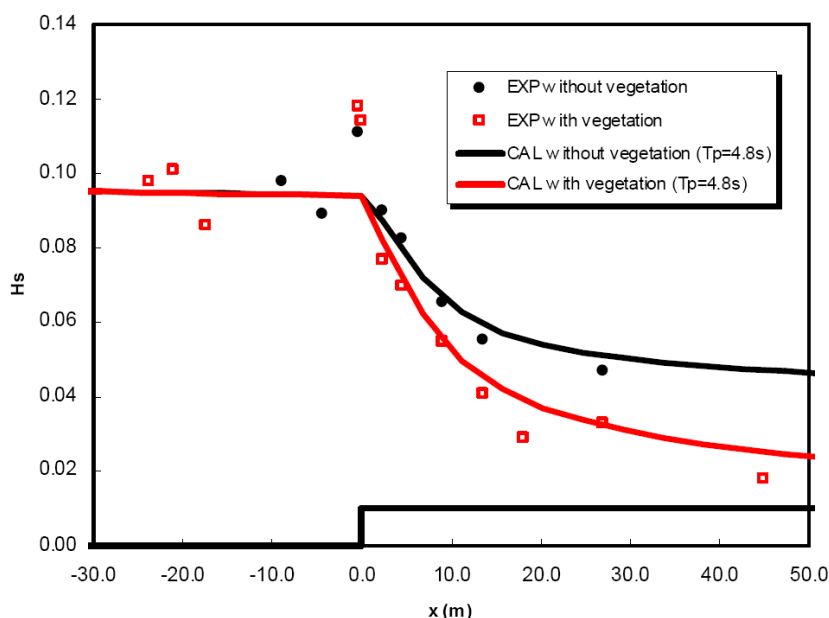
In dit geval ontstaat fluid mud dus niet door verweking van de slibbodem, maar uit depositie van eerder geërodeerd slib. Dit heeft niet alleen invloed op de fasering van golfdemping ten opzichte van de stormperiode, maar ook op de locatie van golfdemping. Immers, uit depositie gevormd slib is in eerste instantie zeer vloeibaar, en kan makkelijk met de waterstroming mee getransporteerd worden. Dit brengt ons tot vraag twee: waarheen wordt tijdens storm geërodeerd slib getransporteerd, en waar bezinkt het om fluid mud te vormen

Tijdens het in hoofdstuk 3.1 beschreven veldonderzoek bleek dat sommige slibafzettingen niet erg stabiel zijn. Momenteel ontbreekt het aan data, inzicht en instrumentatie (modellen) om het gedrag van slibvelden op langere termijn, i.e. met een tijdshorizon van vele jaren, te beschrijven en te voorspellen.

In deze notitie richten wij ons op de golfvoortplanting in het algemeen, en golfdemping in het bijzonder in het Waddengebied – de andere aspecten worden als bekend verondersteld, dan wel worden in ander kader bestudeerd (zie hoofdstuk 3.1 en 6). Wij zullen daarbij de huidige situatie beschouwen, alsmede de effecten van zeespiegelstijging en eventuele andere effecten van een veranderend klimaat. Tevens wordt aandacht besteed aan de mogelijkheden de voor golfvoortplanting relevante parameters te beïnvloeden.

Ook vegetatie kan een belangrijke bijdrage aan de golfdemping leveren. Figuur 3 toont ca. 50% golfdemping (significante golfhogte) over een 6 m lang vegetatieveld gemeten tijdens laboratoriumproeven. De energieverliezen worden nu hoofdzakelijk veroorzaakt door wrijvingsverliezen van de golfgeïnduceerde stroming door het vegetatieveld.

Bij dit dempingsmechanisme zijn de soort van vegetatie (stijfheid, zijtakken, enz.), en de hoogte en dichtheid erg belangrijk. Het zeer buigzame zeegras (*zostra*) dempt bijvoorbeeld heel weinig, terwijl meer stijve vegetatie, zoals engels slijkgras (*spartina*) of zeekraal (*salicornia*) veel meer dempen. De in de literatuur gepubliceerde gegevens zullen verzameld moeten worden. Met betrekking tot vegetatie is de verhouding waterdiepte – vegetatiehoogte wel relevant; zeer waarschijnlijk is vegetatie niet erg effectief tijdens stormomstandigheden.



Figuur 3: Golfdemping over vegetatie in het laboratorium (Suzuki, 2008; zie ook Deltares, 2009, Rapport Z4832).