

Memo

Aan
Delta Programma Wadden

Datum
13 augustus 2014

Kenmerk
1209152-000-ZKS-0011



Aantal pagina's
10

Van
Z.B. Wang

Doorkiesnummer
+31 (0)88 33 58 202

E-mail
zheng.wang@deltares.nl

Onderwerp
Advies LT waterveiligheidsstrategieën Eems Dollard

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
Def.	1-9-2014	Zheng Bing Wang		Han Winterwerp		Frank Hoozemans	

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	2
2	Morfologische ontwikkelingen.....	3
3	Evaluatie maatregelen.....	6
4	Interactie met Eems Rivier.....	7
5	Conclusies.....	9
6	Referenties.....	10

1 Inleiding

Uit de analyse in 2013 is gebleken dat de extreme hoogwaterstanden in de Eems Dollard in de afgelopen decennia significant sneller dan het gemiddelde zeeniveau zijn gestegen (Wang, 2013). Deze ontwikkeling in het Nederlandse deel (stations Eemshaven, Delfzijl en Nieuwe Statenzijl) is erg belangrijk voor de veiligheid tegen overstromingen. Voor de voorkeursstrategie van DPW in dit gebied is het essentieel om te weten hoe deze geconstateerde trend in de toekomst zal voortzetten.

Uit de analyse (Wang en Oost, 2013) is geconcludeerd dat de stijging van de extreme hoogwaterstanden aan drie factoren kan worden toegeschreven: (a) zeespiegelstijging, (b) vergroting getijamplitude in de Noordzee, en (c) versterking van opslingeren (amplificatie) van het getij in het estuarium. De oorzaken (b) en (c) verklaren waarom de extreme hoogwaterstanden sneller dan het gemiddelde zeeniveau stijgen. Hiervan moet oorzaak (b), net zoals oorzaak (a), als gegeven (scenario's) worden beschouwd. Alleen oorzaak (c) is een eigenschap van het beschouwde systeem en hangt samen met de interacties tussen getijbeweging, sedimenttransport en morfologische ontwikkelingen binnen het estuarium. De gestelde vraag kan daarom worden vertaald naar de volgende onderzoeksvragen:

- 1) Wat heeft de versterking van de getijamplificatie in het buitendeel van het estuarium (van Huibergat tot Nieuwe Statenzijl) veroorzaakt?
- 2) Weten wij al voldoende over de oorzaken om voorspellingen voor de toekomstige scenario's te kunnen doen?

Deze vragen worden beantwoord met de volgende aanpak:

Stap 1: Raadplegen uitkomsten andere studies buiten het DPW project. Voor de historische morfologische ontwikkelingen in het buitendeel van het estuarium zijn de studie van Cleveringa (2008) en de studie van Vroom e.a. (2012) geraadpleegd. Verder is de modelstudie naar de invloeden van verschillende maatregelen op de getijbeweging in het estuarium, uitgevoerd door Haskoning (2013) geraadpleegd, om inzicht te krijgen in de invloed van morfologische ontwikkelingen op de getijamplificatie te krijgen.

Stap 2: Een workshop met experts. Dit is gebeurd na stap 1 en een klein aanvullende modellering studie. Behalve de genoemde onderzoeksvragen was daarbij ook aan de orde gekomen de vraag: wat kan verder onderzoek nog leveren?

Stap 3: Rapportage met antwoord op de gestelde vraag. Dit heeft geresulteerd in deze notitie. De morfologische ontwikkelingen in het verleden is samengevat in hoofdstuk 2 aan de hand van de bestaande studies (Cleveringa, 2008, Vroom e.a., 2013). In hoofdstuk 3 zijn de uitkomsten van de modelstudie van Haskoning (2013) samengevat. Hoofdstuk 4 beschrijft een klein aanvullende modellering aan de hand van een sterk geschematiseerd rivier-estuarium systeem. De conclusies zijn samengevat in hoofdstuk 5.

2 Morfologische ontwikkelingen

De oorzaken voor versterking van amplificatie van het getij in het estuarium moeten worden gezocht in het estuarium zelf. Een van de voor de hand liggende verandering die de versterking kan veroorzaken is de morfologische ontwikkelingen binnen het estuarium. Daarom worden de gerapporteerde morfologische ontwikkelingen in het estuarium geïnventariseerd om te bekijken of de geconstateerde ontwikkelingen de versterking van de getijamplificatie kunnen veroorzaken.

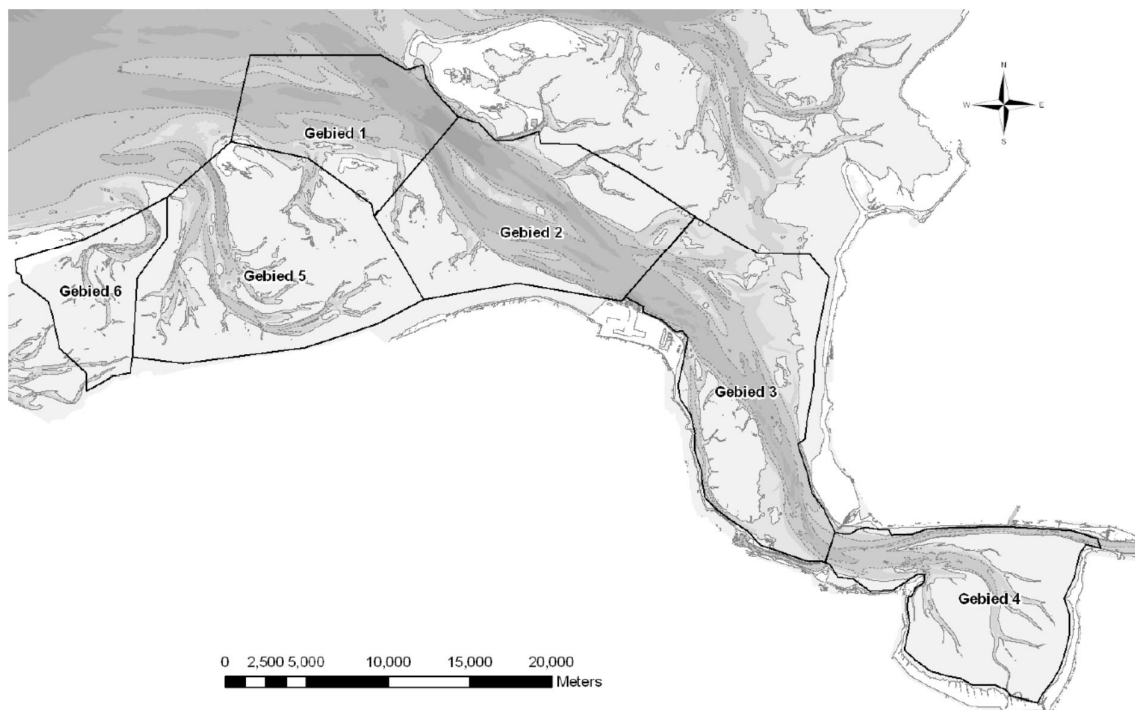


Fig.2.1. Eems-Dollard en gebied verdeling gebruikt in de studie van Cleveringa (2008).

Volgens Cleveringa (2008) is de sedimentatie in Eems-Dollard (gebied 1 t/m 4), met een totaal oppervlak van 520 km², in de periode 1985-2002, ongeveer 2.3 miljoen m³ per jaar. Dit is veel meer dan de hoeveelheid die nodig is om de zeespiegelstijging van ongeveer 2 mm/jaar te compenseren. Gemiddeld gezien is het buitengebied dus ondieper aan het worden.

Meer in detail zijn de veranderingen in de periode 1985-2005 afgebeeld in Fig.2.2, waarin de kenmerkende ontwikkelingen zoals beschreven door Cleveringa (2008) en Vroom e.a. (2012) ook zijn aangeduid. De figuur bevestigt dat er voornamelijk sedimentatie is in het gebied. Van de genoemde ontwikkelingen is alleen de sedimentatie op en rond de Eemshoornplaat (aangeduid met nummer 2), waardoor de uitwisseling van water tussen Eems en Oostereems steeds verder afneemt, een mogelijke oorzaak dat de stormvloed bij wind vanuit noordwest hoger wordt.

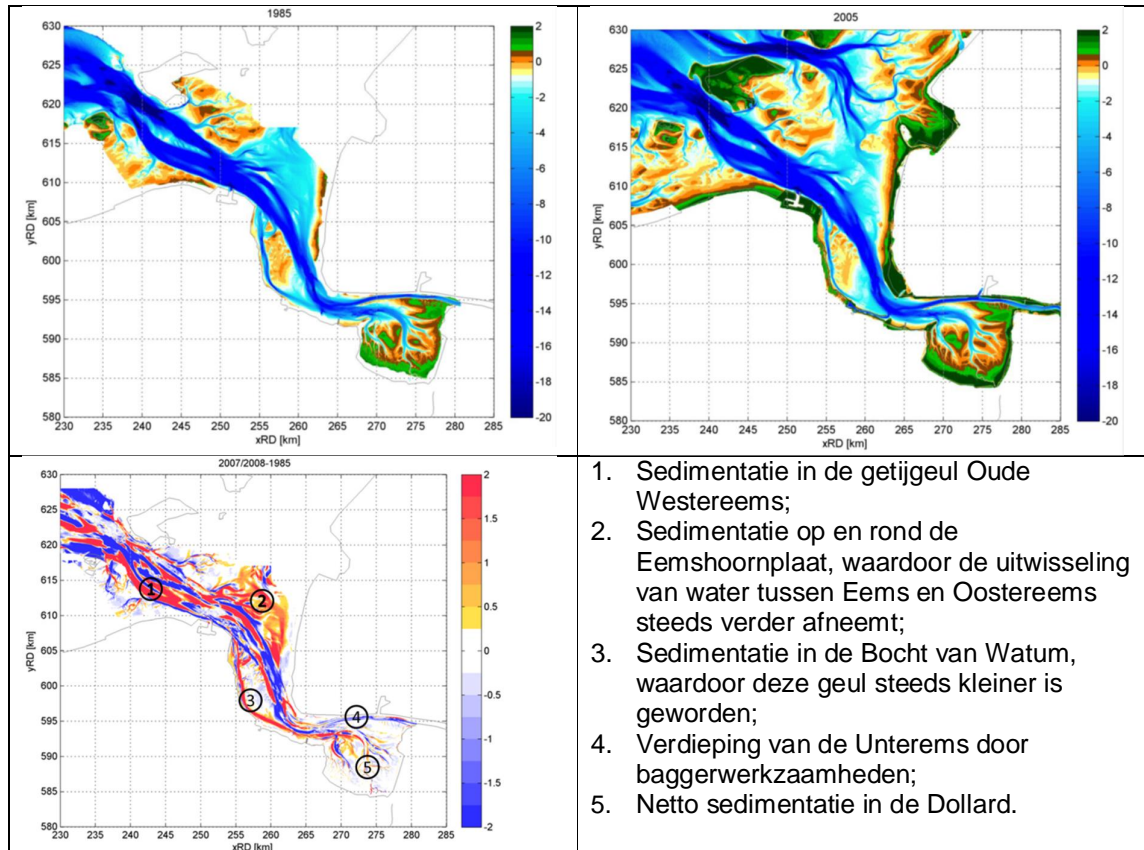


Fig.2.2 Morfologische veranderingen in Eems-Dollard in de periode 1985 – 2005. De kaarten van de bodemligging in 1985 (linksboven) en in 2005 (rechtsboven), en van het verschil tussen de twee komen uit Vroom e.a. (2012). Op de verschilkaart zijn nummers geplaatst voor de aanduiding van de kenmerkende ontwikkelingen zoals kort beschreven in rechtsonder-vak.

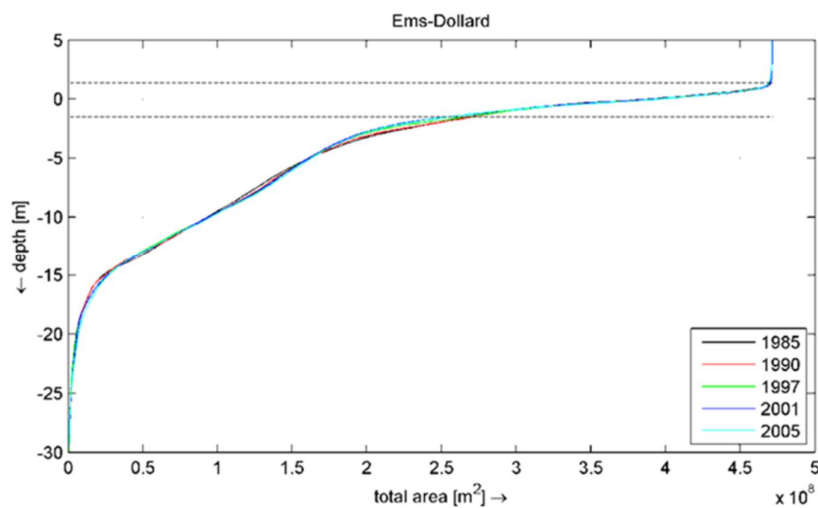


Fig.2.3 Hypsometrische curven van het hele gebied

Door Vroom e.a. (2012) zijn ook de hypsometrische curven van zowel het hele gebied (fig.2.3) als van drie deelgebieden (Fig.2.4) gegeven. De hypsometrische curven geven een goed beeld in welke diepteklassen de veranderingen optreden. Dit is relevant omdat sedimentatie in intergetijdegebied de amplificatie van het getij versterkt terwijl sedimentatie in het sub-getijdegebied de amplificatie van het getij verzwakt. De figuren laten zien dat de grootste veranderingen in het middendeel zijn opgetreden, gekenmerkt met sedimentatie in het (sub-getijde) ondiepe water en lagere intergetijdengebied. In dieper deel van de geulen is er erosie opgetreden. Over het hele gebied bekeken worden de veranderingen gedomineerd door sedimentatie in het sub-getijdegebied.

Alles overwegend kunnen de waargenomen morfologische veranderingen in de Eems-Dollard de versterkte getijamplificatie niet verklaren.

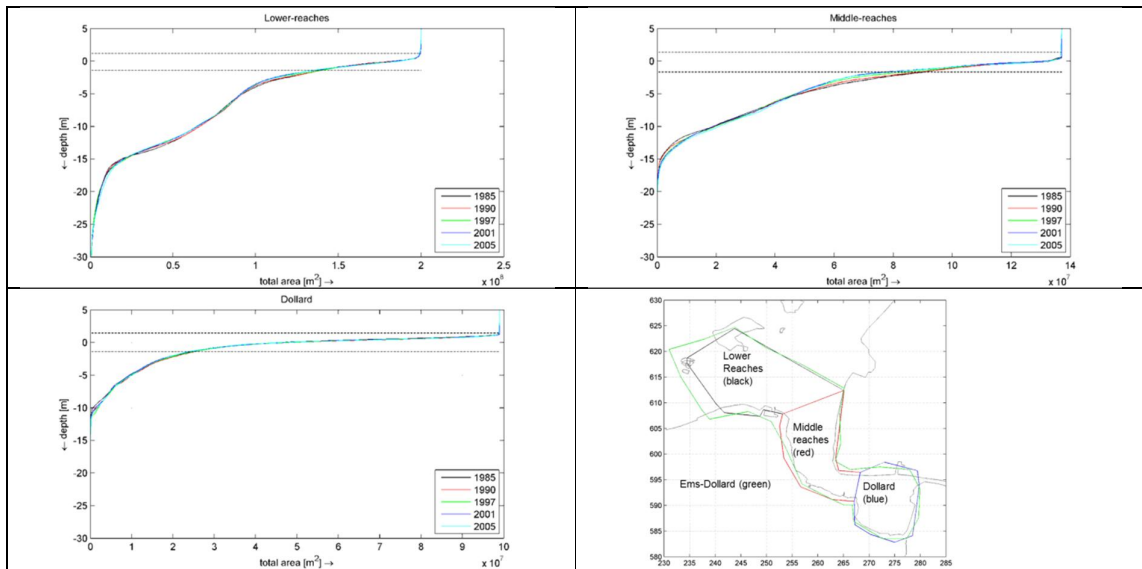


Fig.2.4 Hypsometrische curven van deelgebieden.

3 Evaluatie maatregelen

Door Haskoning (2013) zijn de volgende maatregelen onderzocht aan de hand van hydrodynamische modellering met Delft3D.

- Meergeulensysteem. Twee even grote geulen zijn gemaakt in het gebied tussen Eemshaven en Delfzijl, door de plaat Hond en de Paap in oostelijke richting te verschuiven. Beide geulen hebben een diepte gekregen van minimaal NAP -12 m en een dwarsoppervlak van helft van de huidige dwarsdoorsnede van het Oost Friesche Gaatje.
- Komberging. De Dollard is achterin met 15 km² uitgebreid met dezelfde maaiveldhoogte van de polder uit het plan Braaksma.
- Zoet water. De totale zoetwater-uitstroom bij Delfzijl is verplaatst naar Nieuwe Statenzijl.
- Meander. Een volledig nieuwe meandergeul is aangelegd in de Dollard. De huidige geul in de buurt van Emden is afgesloten. Een dam is aangebracht loodrecht op de meanderbocht.
- Diepzeehaven. De al aanwezige drempels benedenstrooms en bovenstrooms de Eemshaven zijn verhoogd naar respectievelijk NAP -12 m en NAP – 9 m, om de lange-termijn effect van de verplaatsing van de havenactiviteiten naar de diepe zee na te botsen.

De modelresultaten m.b.t. getijslag, zoutgehalte, debieten, stroomsnelheid en bodemschuifspanningen zijn bepaald om de effecten van deze maatregelen op slibhuishouding, ecologie en waterkwaliteit te evalueren.

Met betrekking tot de getijslag laten de modelresultaten zien dat alleen maatregel Meander groot effect lijkt te hebben en de overige maatregelen minimaal tot helemaal geen effect hebben. Dat de meeste maatregelen zeer beperkt effect hebben ondanks hun grote omvang is in overeenstemming met de eerdere beschouwingen (Wang, 2013). Het enigszins verbazingwekkend groot effect van de maatregel meander komt wellicht vooral door de effectieve verlenging van de Eems Rivier (zie Schuttelaars e.a., 2012).

Bovenop de bevestiging van de eerdere uitspraak over de voorkeurstrategieën zijn de uitkomsten van deze studie ook van belang voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag over de oorzaak van de versterking van de amplificatie van het getij in het estuarium. De opgetreden morfologische veranderingen in de afgelopen decennia zijn relatief klein t.o.v. de beschouwde maatregelen. Indirect vertellen deze modelresultaten ons dus dat deze morfologische veranderingen de geconstateerde verandering van de getijamplificatie niet kunnen verklaren.

4 Interactie met Eems Rivier

Het is bekend dat in de Eems Rivier grote veranderingen zijn opgetreden. Samenhangend met de verdieping van de rivier en verhoging van de troebelheid is de amplificatie van het getij sterk toegenomen (Winterwerp e.a., 2013, Wang, 2013). Omdat de waargenomen morfologische veranderingen in het buitendeel van het systeem (Eems-Dollard) geen verklaring van de waargenomen versterking van de getijamplificatie geven wordt de vraag gesteld of de veranderingen in de Eems Rivier (binnendeel van het systeem) ook invloed heeft op de getijamplificatie in Eems-Dollard. Om deze vraag te beantwoorden wordt een eenvoudig model voor getijstroming opgezet dat het systeem bestaande uit Eems-Dollard en de Eems Rivier schematisch weergeeft.

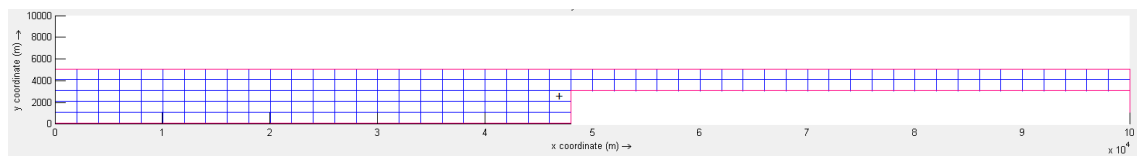


Fig.4.1. De schematisatie van het eenvoudige model (boven aanzicht). Het kruisje geeft aan de positie van het station waar de berekende waterstanden worden geanalyseerd.

De schematisatie van het model is weergegeven in Fig.4.1. Het (linker) brede deel vertegenwoordigt het Eems-Dollard gebied en het (rechter) smalle deel de Eems Rivier. De diepte is constant (= 10 m) over het hele gebied. Het model wordt gedreven door een cyclisch getij aan de linker rand.

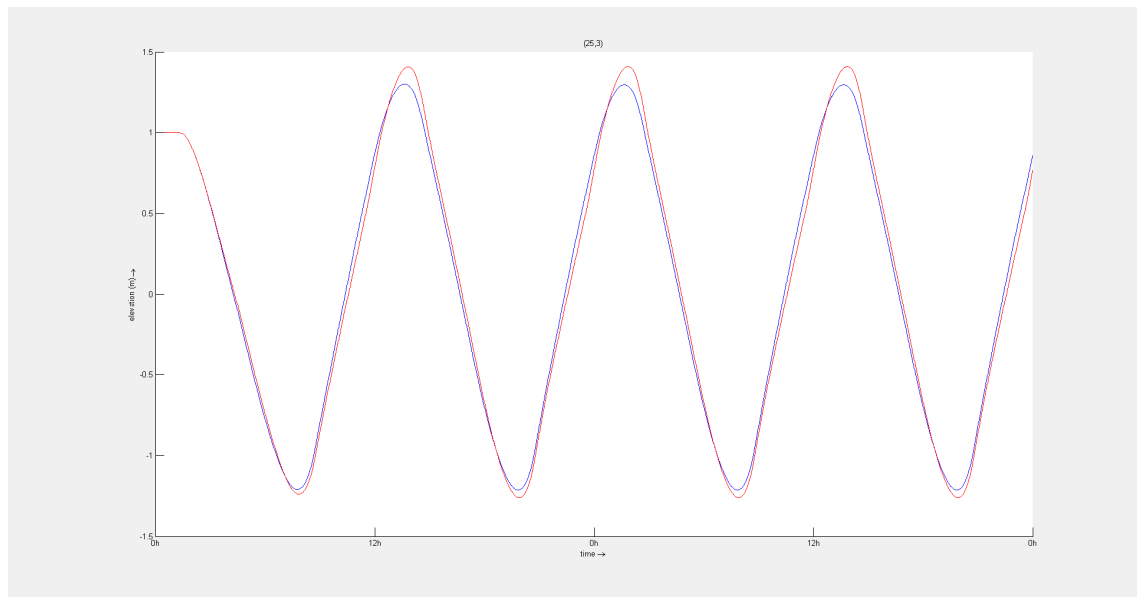


Fig 4.2. Waterstand bij de locatie aangegeven met + in Fig.4.1, resultaten van twee simulaties. Blauw: Chezy constant $65 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$, rood: Chezy= $65 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ in het brede benedenstrooms deel en $=100 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ in het nauwe bovenstrooms deel.

Figuur 4.2 laat de waterstand uit twee berekeningen zien, op een locatie net benedenstrooms van het nauwe deel zien. In het geval dat het nauwe bovenstrooms deel gladder wordt is de getijslag duidelijk groter geworden, niet alleen in het gladde bovenstroomse deel, maar ook in het benedenstroomse deel waar de ruwheid hetzelfde blijft.

Vertaald naar het Eems-Dollard geval betekent het dat de afname van hydraulische ruwheid in de Eems Rivier in samenhang met de toename van de troebelheid ook de versterking van getijamplificatie in het benedenstroomse Dollard gebied (Delfzijl, Nieuwe Statenzijl) kan veroorzaken. Dit is verbazingwekkend. In eerste instantie is er niet aan zo'n verklaring voor de versterkte getijamplificatie in de Dollard gedacht. Men kan zelfs redeneren dat het effect ook omgekeerd zou kunnen zijn. Vanuit het benedenstroomse deel geredeneerd kan de Eems Rivier als een kombergingsgebied achterin worden gezien. Deze extra komberging heeft een verzwakkende werking voor de getijamplificatie. Als de rivier zou worden afgesloten dan zou de getijslag in het Dollard gebied groter worden, net zoals bij de andere gevallen van afsluitingen (bijvoorbeeld Lauwers Zee). Een afname van hydraulische ruwheid leidt tot grotere getijslag in de Eems Rivier, dus tot extra grote komberging die weer tot verlaging van de getijslag in het benedenstroomse deel zou kunnen leiden. Deze paradox kan worden opgelost door te redeneren vanuit de energiedissipatie. Of de getijslag omhoog of omlaag gaat hangt af van de totale energiedissipatie. Als de rivier worden afgesloten is de stroming in de rivier verdwenen en er is dan geen dissipatie van energie meer. De totale energiedissipatie neemt dan af als de getijslag dezelfde zou blijven. Daarom neemt de getijslag toe. Dit geldt ook voor het geval als de bovenstroomse rivier veel gladder wordt. De stroomsnelheid in de rivier neemt weliswaar toe door de versterkte getijindringing, maar de energiedissipatie neemt juist af door de lagere ruwheid. De in mindere mate verhoogde energiedissipatie in het benedenstroomse deel door verhoogde stroomsnelheid kan blijkbaar niet verhinderen dat de totale energiedissipatie afneemt. Dit verklaart dat de verlaagde ruwheid door verhoogde troebelheid in de Eems Rivier ook tot versterking van de getijamplificatie in het Dollard gebied heeft geleid.

Uit deze analyse blijkt dat het systeem nog complexer is dan wij in de eerste instantie hebben gedacht. Dit maakt verder onderzoek noodzakelijk om voorspellingen te doen voor de toekomstige ontwikkeling van de getijamplificatie en van de extreme waterstanden. Ten eerste, de kennis over de wisselwerking tussen slibtransport en getijstroming is nog onvoldoende. Deze wisselwerking is aangemerkt als oorzaak van de ontwikkeling van zwak getij met laag slibgehalte tot sterk getij met hoog slibgehalte in de Eems Rivier (Winterwerp en Wang, 2013, Winterwerp e.a., 2013). Ten tweede, er kan op dit moment weinig gezegd worden of er in het buitendeel van het estuarium dezelfde ontwikkeling zoals in het binnendeel is opgetreden zal optreden. Zo'n ontwikkeling zou grote consequentie hebben voor de getijamplificatie en hoogwaterstanden bij extreme condities (stormen). Extra onderzoek is nodig, gericht op het begrijpen van de opgetreden ontwikkelingen in de Eems Rivier, en op voorspellingen in de toekomst met betrekking tot wisselwerking tussen slibtransport en getijstroming in het buitendeel van het estuarium.

5 Conclusies

De versterkte amplificatie van het getij in het benedenstroomse deel van het estuarium (stations Eemshaven, Delfzijl en Nieuwe Statenzijl) is zeer waarschijnlijk niet het gevolg van de morfologische veranderingen in dit gedeelte van het estuarium zelf. De morfologische veranderingen in de afgelopen decennia zijn relatief klein en kenmerken zich door meer sedimentatie dan erosie. Bovendien is het merendeel van de sedimentatie in de geulen (ondiep subtidal), wat eerder tot verzwakking dan versterking van de amplificatie van getij veroorzaakt.

De versterkte amplificatie van het getij, ook in het benedenstroomse deel van het estuarium, kan worden verklaard door de veranderingen in het bovenstroomse deel van het estuarium, de Eems Rivier, waar verdieping heeft plaatsgevonden en de hydraulische ruwheid is afgenomen door de verhoogde troebelheid.

De sedimentatie achter het eiland Borkum leidt tot ontwikkeling van een wantij en heeft mogelijk gevolg gehad op de verhoging van de hoogte van de stormvloed vanuit Noordwest. Hoe sterk dit effect is dient nader te worden onderzocht.

De studie van Haskoning, waarbij de effecten van de verschillende maatregelen voor de reductie van de amplificatie van het getij worden geëvalueerd aan de hand van berekeningen van waterbeweging met Delft3D, bevestigt dat de effecten van maatregelen in het benedenstroomse deel van het estuarium relatief beperkt zullen zijn. Met andere woorden, erg ingrijpende maatregelen zijn nodig om merkbare verlaging van de getijslag in het estuarium te bereiken.

Geconcludeerd is dat de huidige kennis niet voldoende is om de toekomstige ontwikkelingen van hoge waterstanden goed te voorspellen. Aanbevolen is onderzoek gericht op het begrijpen van de opgetreden ontwikkelingen in de Eems Rivier, en op voorspellingen in de toekomst met betrekking tot wisselwerking tussen slibtransport en getijstroming in het buitendeel van het estuarium, uit te voeren.

6 Referenties

- Cleveringa, J., 2008, Ontwikkeling sedimentvolume Eems-Dollard en het Groninger wad; Overzicht van de beschikbare kennis en gegevens, Alkyon rapport, A2269.
- Haskoning, 2013, Maatregelstudie Eems-Dollard, Economie en Ecologie in balans, Hydrodynamisch berekeningen en effectbepaling herstel maatregelen Eems- Dollard. Rapport BC4649-100/R0002/MvH/JEBR/Nijm.
- Schuttelaars, H.M., De Jonge, V.N., Chernetsky, A., 2012, Improving the predictive power when modelling physical effects of human interventions in estuarine systems, Ocean & Coastal Management, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2012.05.009.
- Vroom, J., Van den Boogaard, H.F.P. en D.S. Van Maren, 2012, Mud dynamics in the Ems-Dollard, Research phase 2, Analysis existing data, Deltares report, 1205711-001.
- Wang, Z.B., 2013, Kansrijke lange termijn veiligheidstrategieën Ems-Dollard, Notitie voor Delta Programma Wadden.
- Wang, Z.B. and A.P. Oost, 2013, Analysis of water level data for the Ems-Dollard Estuary, Notitie voor Delta Programma Wadden.
- Winterwerp, J.C. and Z.B. Wang, 2013, Man-induced regime shifts in small estuaries – I: theory, Ocean Dynamics, DOI 10.1007/s10236-013-0662-9.
- Winterwerp, J.C., Wang, Z.B., Van Braeckel, A., Van Holland, G., and F. Kösters, 2013, Man-induced regime shifts in small estuaries, II: a comparison of rivers, Ocean Dynamics, DOI 10.1007/s10236-013-0663-8.