

24173-69

**Morfologische effecten van
een getijdecentrale in de
Brouwersdam**

concept



**Morfologische effecten van een
getijdecentrale in de Brouwersdam**

Zheng Bing Wang

1201650-000

Titel

Morfologische effecten van een getijdecentrale in de Brouwersdam

Opdrachtgever

MIRT Verkenning
Grevelingen

Project

1201650-000

Pagina's

26

Trefwoorden

Grevelingen, Getijdecentrale, Morfologie

Samenvatting

De morfologische effecten van het gedeeltelijk herstellen van het getij in het Grevelingenmeer door middel van een getijdecentrale worden geanalyseerd. De veranderingen in de morfologische ontwikkelingen die de getijdecentrale kan veroorzaken zijn geëvalueerd voor zowel binnen als buiten de Brouwersdam. Het gaat om een eerste analyse op basis van literatuur, velddata en resultaten van stromingsberekeningen met een bestaand model.

Uit de analyse is geconcludeerd dat het onwaarschijnlijk is dat de werking van de getijdecentrale in gevaar zal komen door sedimentatie in de geulen. Wel zijn een aantal zorgpunten m.b.t. de effecten van de centrale geconstateerd:

- Verruiming van de kortsluitgeul dicht bij de getijdecentrale aan de binnen zijde van de Brouwersdam door erosie.
- Mogelijke afname in omvang van de Bollen van Ooster.
- Erosie van geulen dichtbij de getijdecentrale buiten de Brouwersdam, waardoor het afgezette slib vrij kan komen.
- Mogelijk heroriëntatie van geulen in het mondinggebied die gepaard gaat met bijvoorbeeld sterk lokale erosies.

Referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	Aug. 2010	Zheng Bing Wang		John de Ronde		Johan Boon	

Status

concept

Dit document is een concept en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doelstelling	1
1.3 Aanpak	1
2 Mogelijke effecten	3
2.1 Inleiding	3
2.2 Autonome ontwikkelingen	3
2.3 Mogelijke effecten van een getijdecentrale	7
3 Evaluatie van de effecten	9
3.1 Gehanteerd scenario	9
3.2 Methoden van evaluatie	10
3.3 Effecten in de Grevelingenmeer	13
3.3.1 Sedimentatie / erosie van de geulen	13
3.3.2 Veranderingen m.b.t. erosie van de oevers en ondiepe gebieden	15
3.3.3 Ontwikkelingen rondom de gaten in de vooroeverdammen	16
3.4 Effecten in het mondinggebied	16
3.4.1 Algemeen	16
3.4.2 Verandering m.b.t. erosie van de vooroever en sedimentatie in het binnendeel van het mondinggebied	17
3.4.3 Verandering in de ontwikkeling van de Bollen van Ooster	17
3.4.4 Verandering m.b.t. sedimentatie-erosie van de geulen	17
3.4.5 Verandering m.b.t. ontwikkeling van de platen / ondiepten	18
3.4.6 Heroriëntatie van de geulen	18
3.5 Samenvatting effecten	18
4 Conclusies en aanbevelingen	20
4.1 Samenvatting van conclusies	20
4.2 Aanbevelingen	21
5 Referenties	23
Bijlage(n)	
A Dwarsprofielen	A-1

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

MIRT Verkenning Grevelingen onderzoekt de mogelijkheid van het bouwen van een getijdecentrale dat duurzame energie wint uit de getijstrooming door de Brouwersdam bedoeld voor verbetering van de waterkwaliteit in de Grevelingenmeer. Gedacht wordt aan een getijdebiet van orde 5000 m³/s. Verwacht wordt dat deze ingreep morfologische veranderingen aan beide kant van de Brouwersdam zal veroorzaken. Een van de zorgpunten van MIRT is dat sedimentatie in de geulen in het Grevelingenmeer kan optreden door de zandhonger. De vraag is hoe snel de sedimentatie zal optreden en of het een gevaar kan zijn voor de werking van de getijdecentrale. De huidige studie is bedoeld om deze morfologische veranderingen te analyseren op basis van een bureaustudie ondersteund door enkele simulaties van getijstroomingen met bestaande modellen.

1.2 Doelstelling

De analyse heeft de volgende doelen:

- Inventarisatie te geven van de verwachte morfologische veranderingen als gevolg van de getijdecentrale.
- Advisering in hoeverre de sedimentatie in de nabij gelegen geulen de werking van de centrale kan beïnvloeden.
- Aanbevelingen te geven over verder benodigd onderzoek.

1.3 Aanpak

Het is de bedoeling dat een eerste advies wordt gegeven en nog niet alle verwachte veranderingen nauwkeurig en kwantitatief worden bepaald. Daarom beperkt de huidige analyse zich tot een bureau studie. Er worden dus geen numeriek morfologische modellen ingezet om de veranderingen te simuleren. Wel worden bestaande stromingsmodellen voor het gebied gebruikt om de relevante hydrodynamische parameters te bepalen. Voor het binnengebied kunnen wij het model dat voor de waterkwaliteitsstudie is opgezet gebruiken. Voor het buitengebied kunnen wij gebruik maken van de modellen opgezet in het Building with Nature project. Maar deze modellen blijken na een evaluatie niet geschikt voor de analyse op dit stadium. Daarom kan de bureaustudie voor het buitengebied niet gesteund worden door numerieke modellen.

De bureaustudie baseert zich op bestaande kennis, literatuur en analyse van velddata samen met resultaten van stromingsberekeningen. Eerst wordt een inventarisatie van de mogelijke morfologische veranderingen gemaakt. Aan de hand van bestaande kennis en literatuur wordt een overzicht gemaakt van alle mogelijke morfologische veranderingen ten gevolge van de bouw van de centrale (hoofdstuk 2). Hierbij wordt goed gekeken naar de morfologische ontwikkelingen sinds de bouw van de Brouwersdam. Vervolgens worden de effecten nader geëvalueerd door analyse van velddata en de resultaten van stromingsberekeningen (hoofdstuk 3). Dit is bedoeld om meer inzicht te krijgen in de relevante veranderingen. Speciale aandacht wordt besteed aan de veranderingen die de werking van de centrale kan beïnvloeden, met name de sedimentatie van de geulen rondom de centrale. Hiervoor wordt de zandhonger in de geulen geëvalueerd aan de

hand van empirische relaties en de resultaten van de stromingsberekeningen. Vervolgens wordt de snelheid van de sedimentatie geschat door de verschillende bronnen van sediment en het sediment transport van de bronnen naar de geulen te beschouwen. De conclusies van de analyse worden samengevat in hoofdstuk 4 samen met de aanbevelingen.



Figuur 1.1 Het mondinggebied van Grevelingen in 1968 en 2004 (Postma e.a., 1990)

2 Mogelijke effecten

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden alle mogelijke effecten van een getijdecentrale geïnventariseerd, zonder ze te kwantificeren / beoordelen. Om dit te doen wordt eerst de morfologische ontwikkelingen van het gebied sinds de bouw van de Brouwersdam beschreven op basis van een literatuuronderzoek. Dit noemen we de autonome ontwikkelingen. Effecten van een getijdecentrale zijn in feite alle verstoringen die de centrale veroorzaakt t.o.v. deze autonome ontwikkelingen. Het bouwen van een getijdecentrale dat voor een verbinding tussen het Grevelingenmeer en de Noordzee zorgt, kan in zekere zin worden beschouwd als gedeeltelijk herstel van de situatie voor de bouw van de Brouwersdam. Verwacht wordt dat dit tot omkeren van de ontwikkelingen die door de Brouwersdam in gang gezet zijn kan leiden. Daarom is het belangrijk om de ontwikkelingen na de afsluiting te inventariseren.

2.2 Autonome ontwikkelingen

De bouw van de Brouwersdam heeft Grevelingen afgesloten van de Noordzee in 1971. Dit was een grote verstoring voor zowel het binnengebied (het Grevelingenmeer) als het buitengebied (de ebdelta).

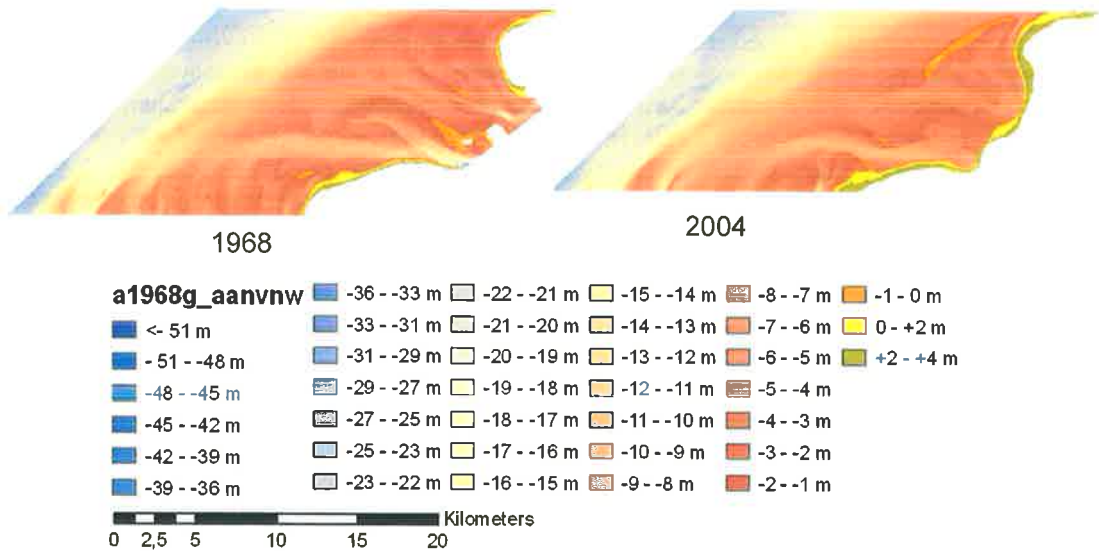
In het binnengebied is de grootste verandering het wegvallen van het getij. Vóór de afsluiting was de getijslag in Grevelingen ongeveer 2 m. Na de afsluiting wordt het waterpeil op ongeveer 0.2 m onder NAP bijna constant gehouden. Het wegvallen van de getijstroming betekent dat er grote sedimenthonger is ontstaan in de geulen. Maar door gebrek aan bron van sediment treden er nauwelijks sedimentatie op in de geulen. De geulen in het binnengebied veranderen dus weinig. De meeste opvallende morfologische verandering in het binnengebied is de oevererosie, doordat de opbouwende werking van de getijstroming voor de platen en slikken zijn weggefallen, en doordat de eroderende werking van golven op een plek is geconcentreerd door het vaste waterpeil. Daarom zijn de meeste oevers tegenwoordig beschermd, vaak door vooroeverdammen met een afstand van maximaal 100 m vanaf de oever en een kruinhoogte van rondom het NAP (Rijkswaterstaat, 1989, Tanczos en Crosato, 2003). Openingen in de dammen zijn aanwezig voor de verversing van het water tussen de dammen en de oevers.

In het buitengebied is het verticale getij niet weggefallen maar er is grote verandering opgetreden in het horizontale getij. Door de afsluiting valt de kustdwarse getijstroming grotendeels weg en de afgezwakte getijstroming krijgt veel van een circulerend karakter. De naar noord gerichte vloedstroming concentreert zich meer langs het binnendeel van het gebied en de naar zuid gerichte ebstroming concentreert zich meer langs de vooroever. Hierdoor treedt er een serie morfologische veranderingen op (zie Figuren 2.1 - 2.5):

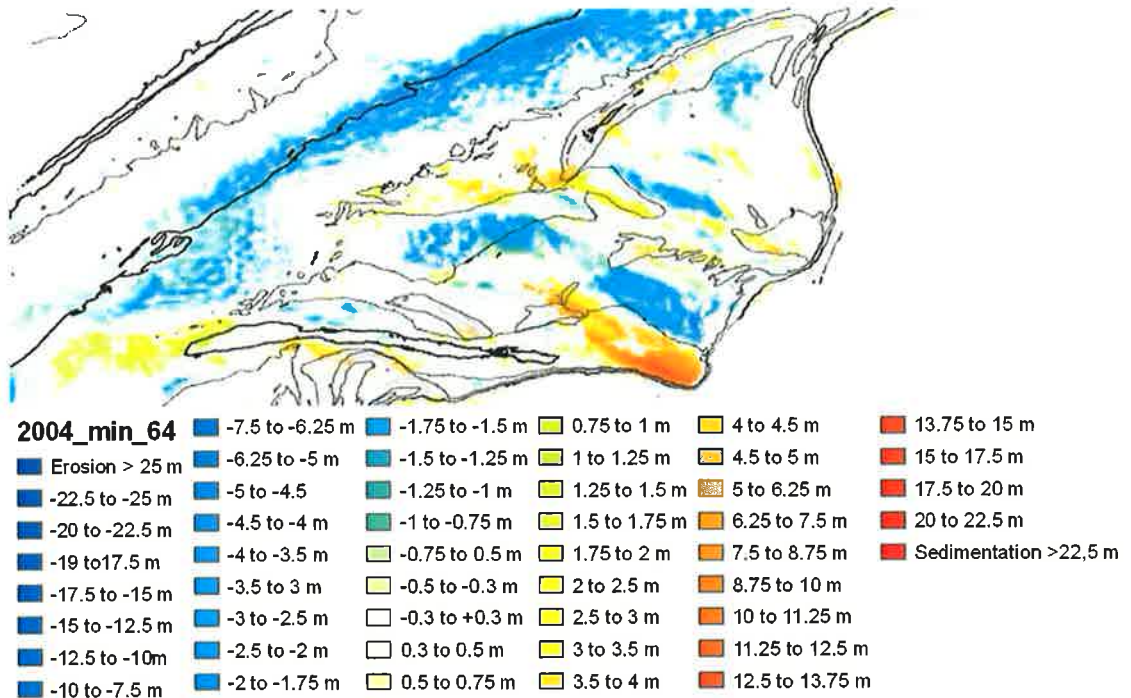
- Erosie van de vooroever en sedimentatie in het binnendeel van het mondinggebied. De zandbanken Bollen van Ooster is de scheiding tussen de vooroever (buideldeel van de ebdelta) en het binnendeel van de buitendelta. Na de afsluiting treedt er vooral erosie op in het vooroevergebied (Figuur 2.2 en 2.3) en sedimentatie in het binnendeel van het mondinggebied (Figuur 2.2 en 2.4) (van der Spek, 1987, 1988). Dit kan worden beschouwd als het inkrimpen van de ebdelta door het wegvallen van de getijstroming van en naar Grevelingen. De grootste veranderingen zijn opgetreden

in de eerste 10 jaar na de bouw van de Brouwersdam (van der Spek, 1987), hoewel de ontwikkeling is voortgezet ook in de jaren daarna (Cleveringa, 2008).

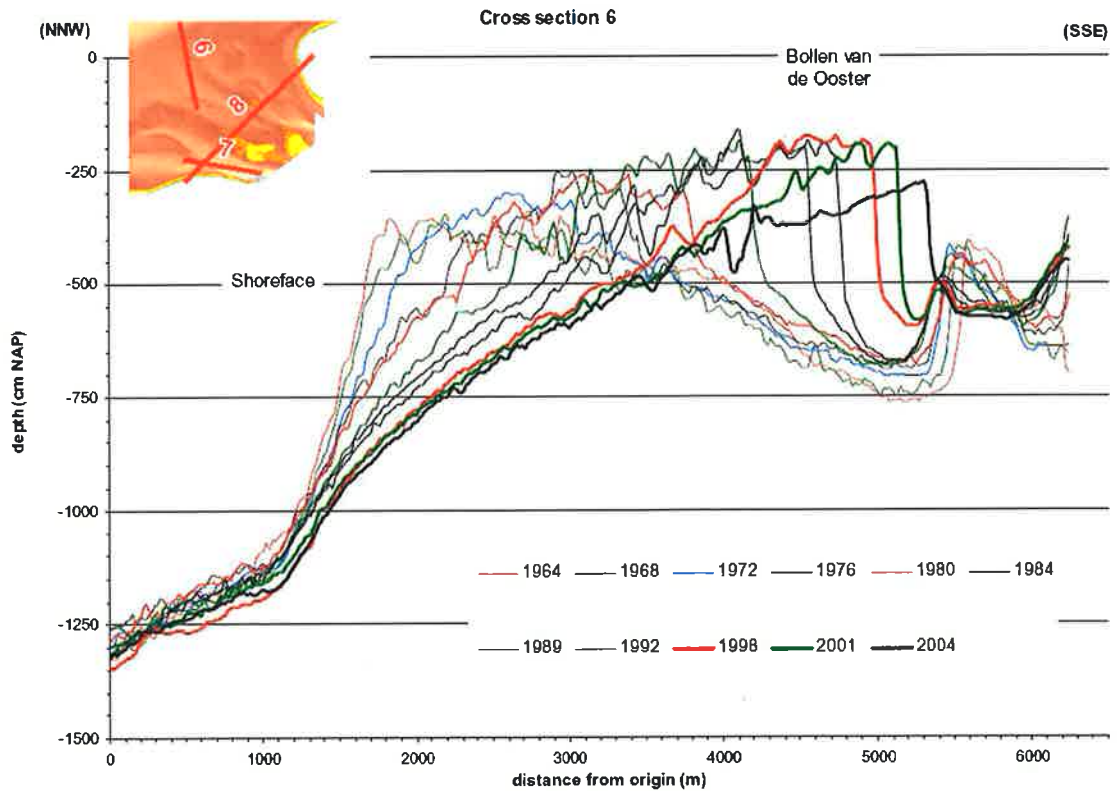
- Ontstaan van kustparallelle zandbanken, de Bollen van Ooster. In 1970 was er maar een bank aan de rand van de ebdelta dichtbij Goeree. In 1974 en 1980 ontstaan respectievelijk tweede en derde banken (van der Spek, 1987). Deze drie platen zijn vervolgens weer toegenomen tot één grote plaat in 1992/1994 (Sniijders, 1998). Het plaatgebied is gedraaid tot vrijwel evenwijdig aan de vooroever en het oppervlak ervan neemt nog steeds toe. Zie Figuur 2.5.
- Uitvlakken door erosie van platen en sedimentatie van geulen in het binnendeel van het mondinggebied (Figuur 2.2 en 2.4). Zowel de plaat voor het voormalige stroomgat van het Springersdiep als de ondiepte tussen het Brouwershavense Gat en het Kous (Middelplaat) nemen in hoogte af (Van der Spek, 1987, Sniijders, 1998). Het geërodeerde sediment komt terecht in de naast gelegen geulen (Lazar, 2007). Samen met het materiaal geërodeerd van de vooroever en slib afkomstig van de zee zorgt het voor dat de voormalige geulen ondieper worden. De waargenomen erosie van het strand Brouwersdam is mogelijk een onderdeel van dit proces (Lazar, 2007). Opgemerkt wordt dat vooral dichtbij de dam een grote hoeveelheid slib is afgezet in de geulen.
- Schuiven van de platen / ondiepe gebieden naar het oost (Figuur 2.4). Zowel de Middelplaat als de plaat voor het voormalige stroomgat van het Springersdiep schuiven naar het oost terwijl ze in hoogte zich afnemen (Van der Spek, 1987, Sniijders, 1998).



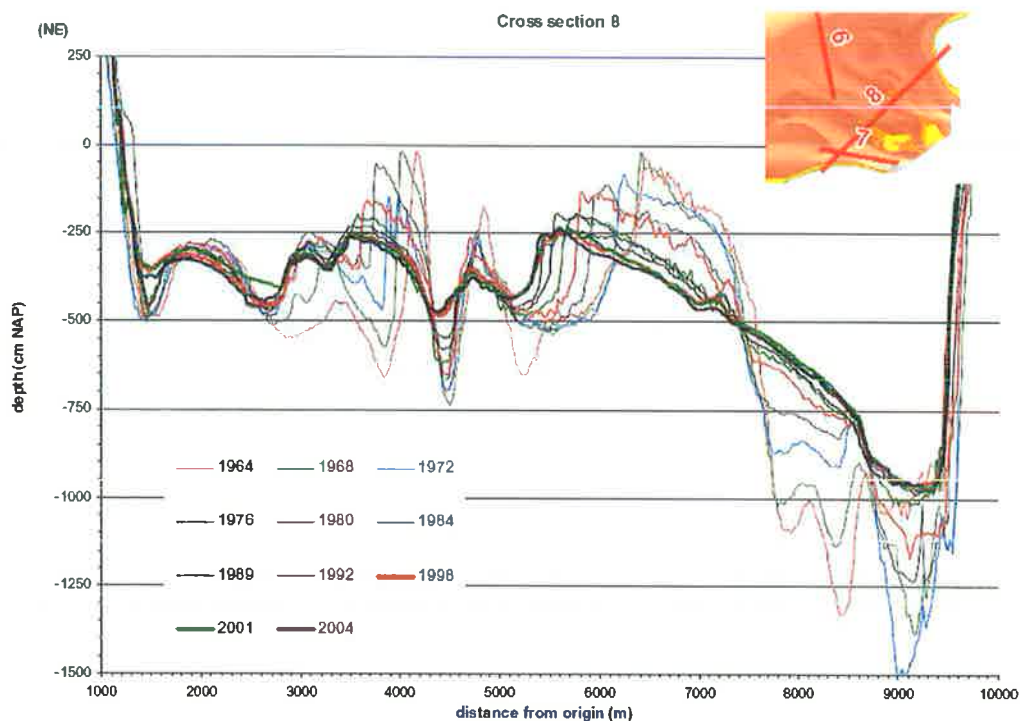
Figuur 2.1 Bodemhoogte van het mondinggebied van Grevelingen in 1968 en 2004 (Cleveringa, 2008)



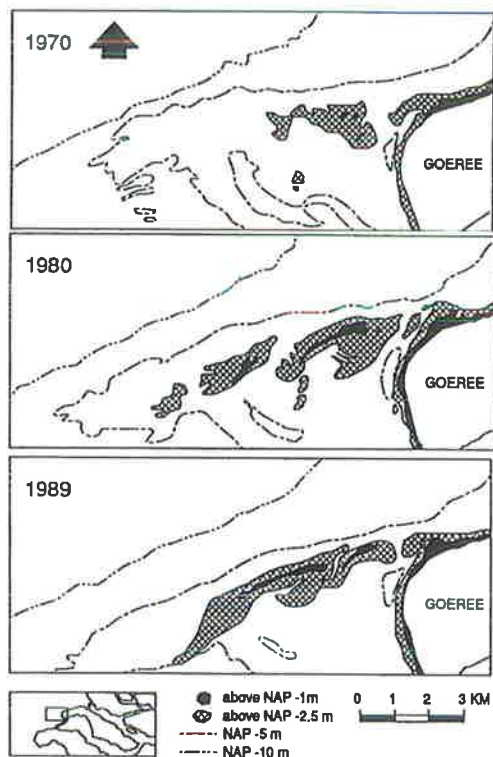
Figuur 2.2 Sedimentatie – erosie in de periode 1964 – 2004 (Cleveringa, 2008)



Figuur 2.3 Doorsnede van een raai over de vooroever en de Bollen van Ooster: Erosie van de vooroever en ontwikkeling van de Bollen van Ooster (Cleveringa, 2008)



Figuur 2.4 Doorsnede van een raai dwars over het binnendeel van het mondinggebied: erosie en platen en sedimentatie geulen, schuiven van platen naar het noordoost (links) (Cleveringa, 2008)



Figuur 2.5 Ontwikkeling van de Bollen van Ooster (Postma e.a., 1990)

2.3 Mogelijke effecten van een getijdecentrale

Het bouwen van een getijdecentrale zal het getij gedeeltelijk terugbrengen in het Grevelingenmeer, een verbinding maken tussen de Noordzee en het Grevelingenmeer die uitwisseling van water en misschien ook van sediment mogelijk maakt. Daardoor kan er zowel binnen als buiten de dam trendbreuk in de morfologische ontwikkelingen, zoals beschreven in de vorige paragraaf, optreden. Hier wordt eerst een inventarisatie gemaakt van de mogelijke veranderingen t.g.v. het (gedeeltelijk) terugbrengen van het getij in Grevelingen en de verbinding tussen binnen en buiten, zonder ze te kwantificeren / beoordelen. Opgemerkt wordt dat het terugbrengen van getij in Grevelingen door een verbinding met de Noordzee is in de eerste instantie bedoeld voor de verbetering van de waterkwaliteit in het meer. Dus ook zonder het plaatsen van een getijdecentrale zullen de genoemde effecten optreden.

Voor het binnengebied (Grevelingenmeer) kunnen de volgende effecten worden genoemd:

- **Sedimentatie / erosie van de geulen.** Er zijn twee redenen waarom morfologische veranderingen in de geulen in het binnengebied kunnen optreden. Ten eerste zal er weer getijstroming in de geulen optreden, wat tot een verandering van de sedimenthonger zal zorgen. Ten tweede, de verbinding met de Noordzee kan mogelijk tot sedimentuitwisseling tussen binnen en buiten leiden, die bijvoorbeeld het wegwerken van sedimenthonger in de geulen mogelijk maakt.
- **Veranderingen m.b.t. erosie van de oevers en ondiepe gebieden.** Het wegvallen van het verticale en horizontale getij heeft tot erosie van de ondiepe gebieden en vooral de oevers geleid. Daarom zijn de meeste oevers nu beschermd. De gevolgen van het gedeeltelijk herstellen van de getijbeweging voor de nieuw ontstane situatie moet nader worden beschouwd.
- **Ontwikkelingen rondom de gaten in de vooroeverdammen.** In de vooroeverdammen tegen oevererosie zijn gaten aanwezig voor de verversing van het water tussen de dammen en de oevers. Deze gaten zijn echter ontworpen voor de situatie zonder getij. Als het getij weer terugkomt zullen deze gaten grotendeels van het vullen en het ledigen van het gebied achter de dammen door getij zorgen. Daardoor kan er sterke stroming door deze gaten ontstaan. De vraag is of de sterkere stroming voor erosie kan zorgen wat bijvoorbeeld tot probleem kan leiden voor de stabiliteit van de dammen.

In het buiten gebied kunnen de volgende relevante veranderingen optreden:

- **Verandering m.b.t. erosie van de vooroever en sedimentatie in het binnendeel van het mondinggebied** ofwel het inkrimpen van de ebdelta. Het inkrimpen van de ebdelta is een gevolg van de afname van het getijprisma. Het gedeeltelijk herstellen van de getijstroming door de Brouwersdam zal leiden tot een toename van het getijprisma. Daarom wordt een trendbreuk in de erosie van de vooroever en de sedimentatie in het binnendeel van het mondinggebied verwacht. Of de erosie van de vooroever zal veranderen in sedimentatie bijvoorbeeld moet nader worden geanalyseerd.
- **Verandering in de ontwikkeling van de Bollen van Ooster.** De uitbreiding van deze zandbanken is een gevolg van de verandering van de patroon en sterkte van de getijstroming. Het gedeeltelijke terugbrengen van het getij in Grevelingen zal de getijstroming in het mondinggebied in sterkte laten toenemen en van patroon veranderen. Daarom zullen er veranderingen in de ontwikkelingen van de Bollen van Ooster optreden na het in werking stellen van de getijdecentrale.

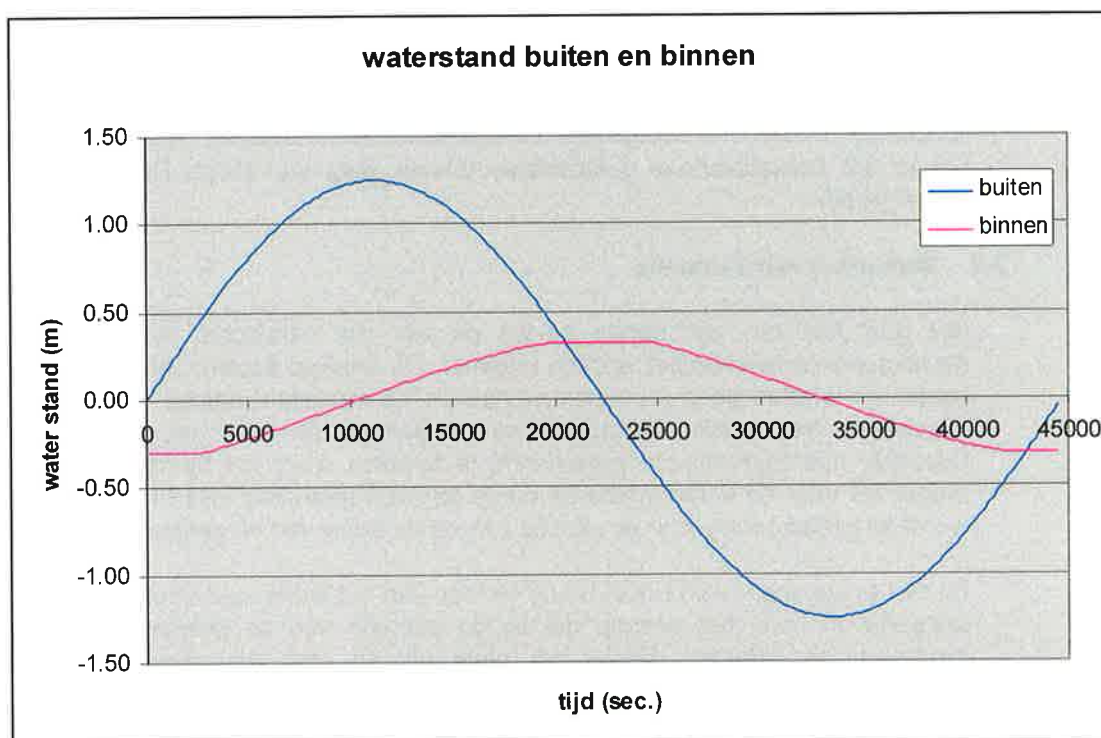
- **Verandering m.b.t. sedimentatie-erosie van de geulen.** Vooral in de geulen in het noordelijke deel van het mondinggebied zullen de getijstroming sterker worden. Dit zal tot vermindering van sedimentatie of zelfs tot erosie in deze geulen leiden. Vooral het eroderen van het afgezette slib eist wat aandacht, omdat het verspreiden van het slib tot milieu probleem kan leiden.
- **Verandering m.b.t. ontwikkeling van de platen / ondiepten.** Samenhangende met de verandering m.b.t. de ontwikkelingen van de geulen zal er ook veranderingen op de ontwikkelingen van de ondieptes, platen en de stranden kunnen optreden. Vooral de ontwikkelingen van de stranden Brouwersdam en Ouddorp zijn in de belangstelling.
- **Heroriëntatie van de geulen.** Het gedeeltelijke herstellen van het getij gaat alleen via de noordelijke geulen. Het stromingspatroon zal daarom anders zijn t.o.v. de situatie voor de bouw van de Brouwersdam. Dit kan mogelijk tot heroriëntatie van de geulen leiden omdat de huidige oriëntaties van de geulen nog afgestemd zijn op het stromingspatroon van toen.

3 Evaluatie van de effecten

3.1 Gehanteerd scenario

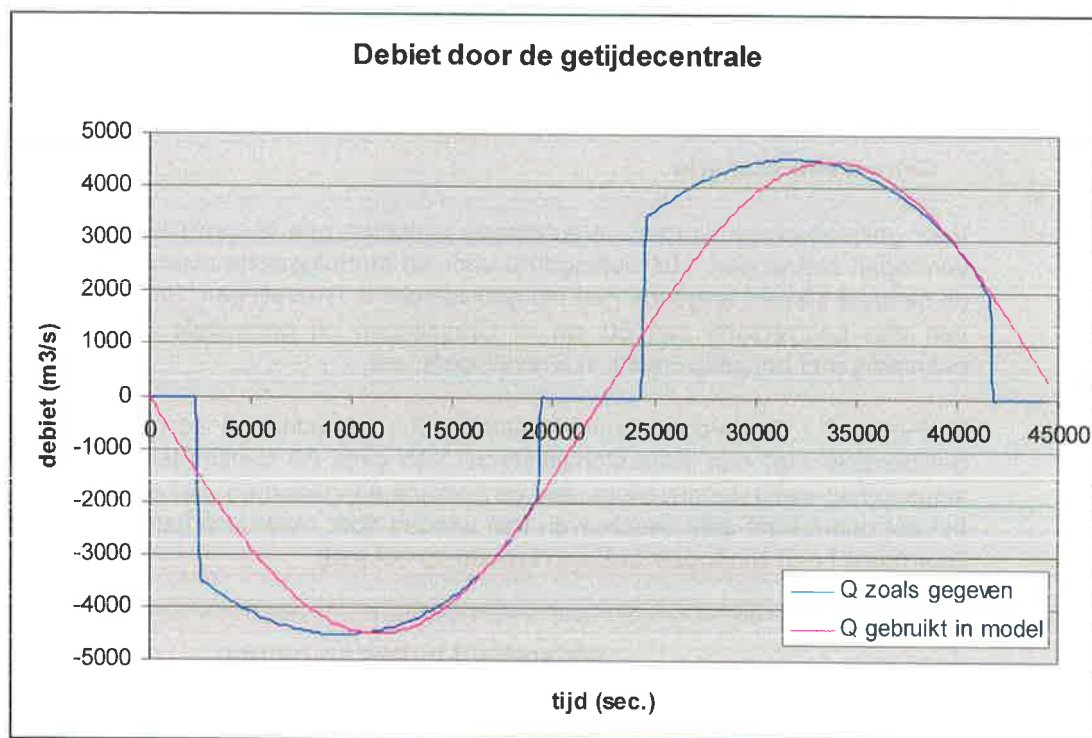
Voor getijdecentrale worden verschillende varianten qua te gebruiken techniek, ontwerp en vermogen overwogen. Het belangrijkste voor de morfologische evaluatie is de debieten door de centrale samenhangende met het getijverschil in Grevelingen. Bij de analyse is uitgegaan van een getijverschil van 60 cm in Grevelingen bij gemiddeld getij. Vele effecten zijn evenredig met het getijverschil in Grevelingenmeer.

In Figuur 3.1 is getoond welke waterstanden optreden bij een tweezijdig turbinerende getijcentrale met een waterstandsverschil van circa 60 centimeter. In deze figuur is een sinusvormig waterstandsverloop aan de zeezijde aangenomen. Bekend is dat in werkelijkheid het astronomische getij beschreven kan worden door meerdere harmonische componenten. Daarnaast heeft windopzet ook een invloed op het getij.



Figuur 3.1 Waterstandsverloop in Grevelingenmeer en Noordzee met getijcentrale (Databron: Royal Haskoning)

Op basis van een sinusvormig waterstandsverloop op de Noordzee en een getijcentrale met 106 turbines met een diameter van 3,5 meter wordt een debietverloop verkregen zoals in Figuur 3.2 (blauw lijn). Het debiet wanneer de operatie start is 3400 m³/s. Dit wordt maximaal 4500 m³/s en is minimaal 1800 m³/s aan het eind. Met de rode paars lijn is het debietsverloop gegeven zoals is gehanteerd in het Delft3D model.



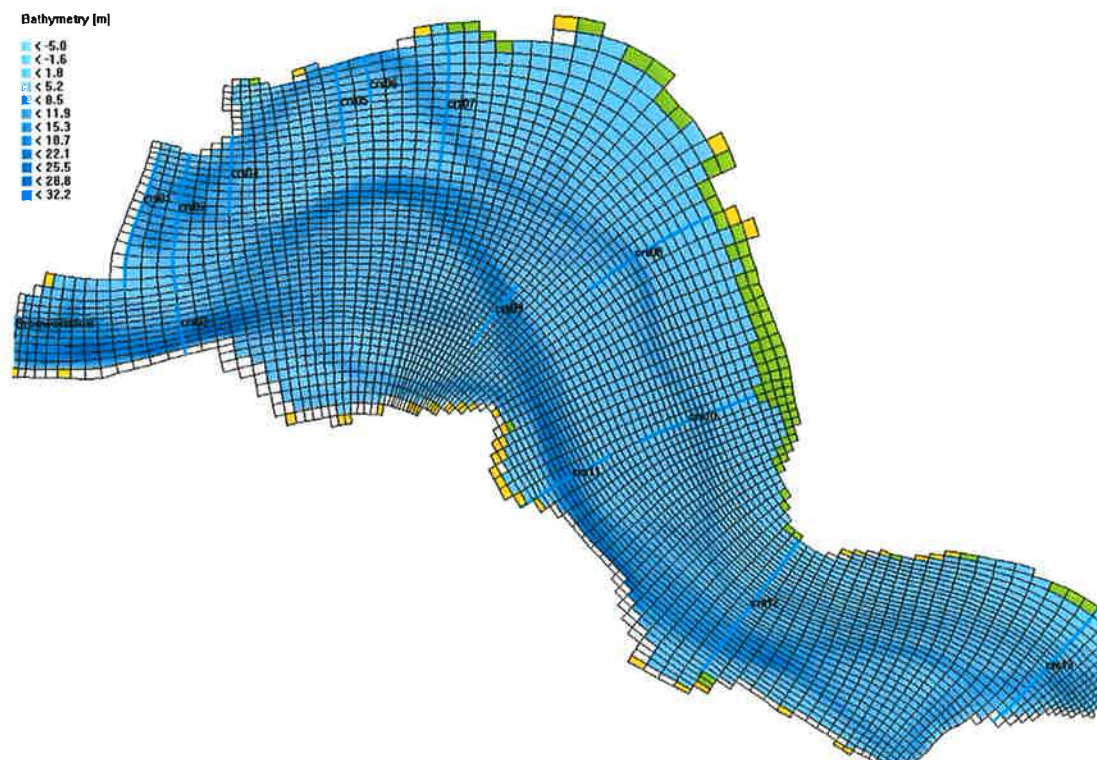
Figuur 3.2 Debietsverloop getijdecentrale (blauw, data van Royal Haskoning) en in Delft3D model (rood)

3.2 Methoden van evaluatie

Het gaat hier om een eerste advies en niet alle verwachte veranderingen kunnen nu nauwkeurig en kwantitatief worden bepaald. De analyse beperkt zich vooral tot een bureau studie. Er worden geen numeriek morfologische modellen ingezet om de veranderingen te simuleren. Wel worden bestaande stromingsmodellen voor het gebied gebruikt om de relevante hydrodynamische parameters te bepalen. Voor het binnengebied kunnen wij het model dat voor de waterkwaliteitsstudie is opgezet gebruiken (zie Figuur 3.3). Met dit model wordt de getijstroming voor de situatie van na de bouw van de getijdecentrale berekend.

Bij de berekening is een sinusvormig verloop van het debiet gehanteerd zoals in Figuur 3.2 is aangegeven i.p.v. het verloop dat bij de operatie van de getijdecentrale hoort. Voor de morfologische effecten maakt het niets uit en met een sinusvormig verloop is het massabehoud in het modelgebied automatisch goed (Het model bevat alleen debietranden waardoor een kleine fout in het debietverloop tot continue stijgende of dalende waterstand in het modelgebied zorgt).

Bij de waterkwaliteitsstudie (Zijl en Nolte, 2006, Nolte e.a., 2008, 2009) wordt het model gebruikt om 3D stromingen gedurende een lange periode van orde een jaar te berekenen. In de huidige studie wordt alleen 2DH berekeningen uitgevoerd voor een korte periode van een paar dagen, omdat alleen de resultaten van een getijperiode na het inspelen nodig zijn. Processen zoals windaandrijvingen, temperatuurverandering door zonstraling enz. worden uitgeschakeld.

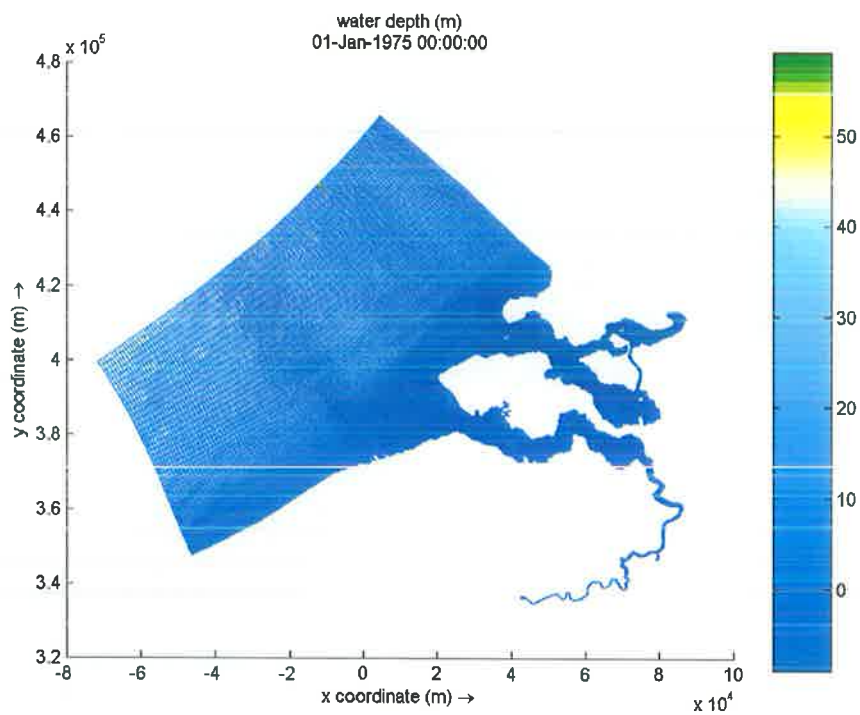


Figuur 3.3 Delft3D model voor het Grevelingenmeer

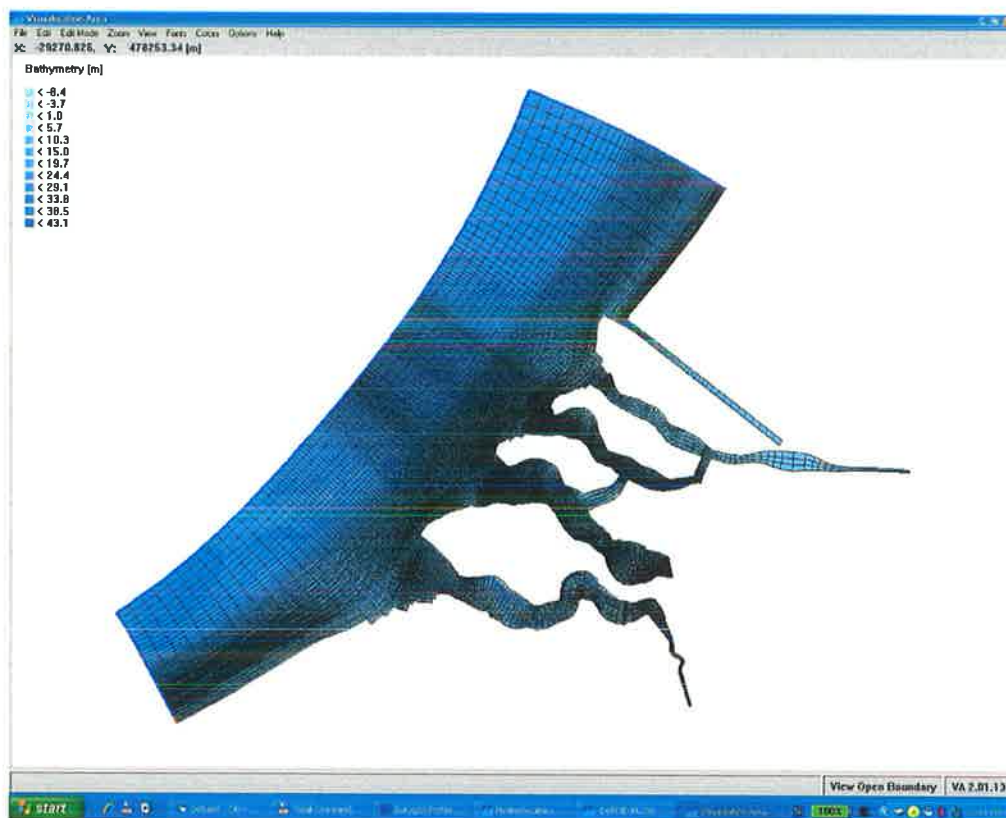
Voor het buitengebied is het de bedoeling dat wij gebruik maken van de modellen opgezet in het Building with Nature (BwN) project. In het BwN project wordt het Kustzuid model gebruikt (Figuur 3.4), om het probleem rondom de Oostschelde te onderzoeken. Het model bevat net het buitengebied van Grevelingen, maar is niet geschikt voor de huidige studie om drie redenen. Ten eerste is de openrand aan de noordkant te dichtbij het interessegebied. Ten tweede is de resolutie van het model in het interessegebied niet voldoende. Te derde zijn de randvoorwaarden van het model gebaseerd op astronomisch getij, wat een betere weergave van de werkelijkheid geeft maar moeilijk te combineren is met het gegeven debietverloop dat op een geschematiseerd getij is gebaseerd.

Een ander model voor het gebied is het Voordelta model opgezet in de studie door Jeuken e.a. (2000), zie Figuur 3.5. Ook dit model is aangedreven door astronomisch getij bij de openranden in de zee en kan daarom niet worden gebruikt in de huidige analyse. Het model kan wel een basis vormen voor een op te zetten model in de toekomst om de effecten van de getijdecentrale beter te bestuderen.

Zonder een geschikt model worden de effecten in het buitengebied alleen gebaseerd op een bureaustudie.



Figuur 3.4 Het Kustzuid model



Figuur 3.5 Het Voordelta model

3.3 Effecten in de Grevelingenmeer

3.3.1 Sedimentatie / erosie van de geulen

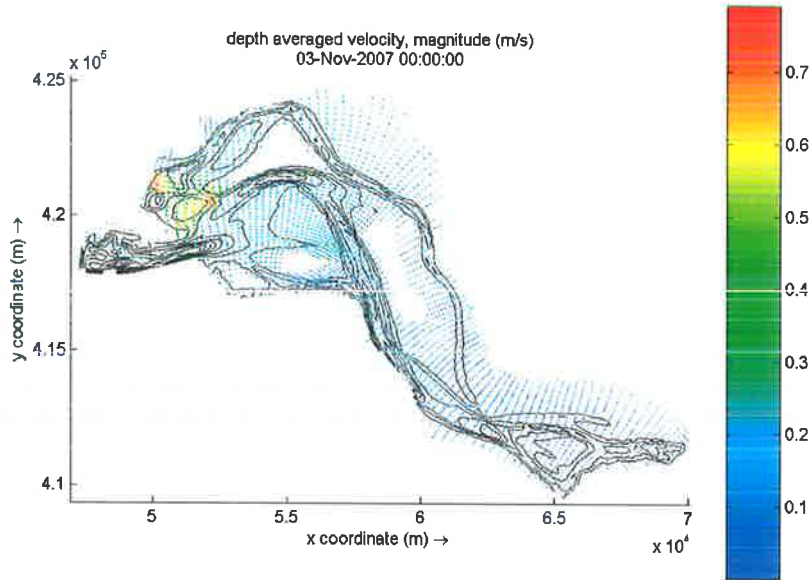
Of er in de geulen sedimentatie / erosie optreedt hangt af van de veranderde stromingscondities en van de eventueel benodigde sediment bronnen. De stromingscondities met de getijdecentrale in operatie worden beschouwd aan de hand van de modelresultaten. Voor de stromingscondities op grote schaal wordt eerst de zandhonger beschouwd aan de hand van de verhouding tussen getijprisma en oppervlak van de dwarsprofielen van de geulen. Hiervoor is een aantal dwarse raaien gedefinieerd zoals aangegeven in Figuur 3.3 (De dwarsprofielen van deze raaien zijn in Appendix A gegeven). De m-n coördinaten van de uiteinden van deze raaien zijn gegeven in Tabel 3.1, samen met het oppervlak A onder NAP en het getijprisma P (bepaald als ebvolume). In de tabel is ook de verhouding P/A gegeven. Voor geulen in evenwicht onder natuurlijke omstandigheden is de waarde van P/A in de orde van 10 km (typische waarden in de Westerschelde is ongeveer 12 km). De waarden in de tabel zijn duidelijk veel lager. Dit betekent dat er ook na de bouw van de getijdecentrale zandhonger in de geulen binnen het Grevelingenmeer aanwezig zal zijn, ofwel sedimentatie in de geulen moet optreden om morfologisch evenwicht te bereiken. Verder is te zien dat de P/A verhouding afneemt van west naar oost, ofwel de zandhonger achterin het meer is hoger dan dichtbij de Brouwersdam.

Tabel 3.1 Definitie van de dwarse raaien en de modelresultaten

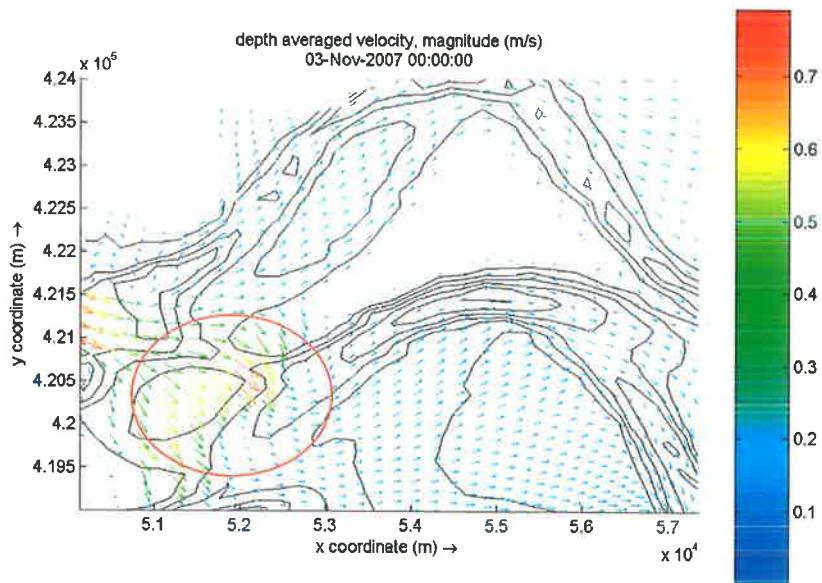
dwarsraai	m1	n1	m2	n2	A (m ²)	P (m ³)	P/A (m)
crs01	12	24	12	39	13045	61537100	4717
crs02	15	23	15	40	22654	60384500	2666
crs03	15	12	15	20	12470	2588262	208
crs04	19	43	19	33	11960	23245250	1944
crs05	28	51	28	41	7360	15100650	2052
crs06	30	51	30	46	6051	14681000	2426
crs07	35	52	35	38	9669	13160470	1361
crs08	53	49	53	33	4709	5839650	1240
crs09	47	15	47	26	12883	20666410	1604
crs10	67	47	67	30	2993	2370520	792
crs11	67	7	67	24	13352	22909200	1716
crs12	84	42	84	8	15597	15688940	1006
crs13	105	49	105	28	11777	1874700	159

Of sedimentatie in bepaalde delen van de geulen met zandhonger inderdaad kan optreden hangt af van sediment bronnen. De volgende bronnen kunnen worden onderscheiden: gebied buiten de Brouwersdam, ondiepe gebieden (slikken en platen, oevers), en elders in de geulen (herverdeling). Of er sediment door de getijdecentrale van buiten naar binnen kan komen hangt af van gedetailleerd ontwerp van de centrale en de bijbehorende bodembeschermingen af. De ervaring van de Oosterschelde kering is dat zand moeilijk door dergelijk constructie kan worden getransporteerd. Op dit moment is het gedetailleerde ontwerp van de constructie niet beschikbaar. Maar de inschatting is dat het sedimenttransport door de centrale beperkt zal zijn als het überhaupt zal optreden. Het Grevelingenmeer als geheel zal met de getijdecentrale in werking ook nog steeds zandhonger hebben en blijven hebben. Erosie van de ondiepe gebieden zal ook maar zeer beperkte bron zijn voor de benodigde sediment in de geulen (zie 3.3.2 en 3.3.3). Wat de herverdeling van sediment binnen de geulen betreft is te verwachten dat netto sedimenttransport in de richting van de gradiënt van zandhonger optreedt. Erosie van geuldelen met minder zandhonger zorgt voor sedimentatie in geuldelen

met meer zandhonger. Globaal zal dit betekenen erosie in het westelijk deel en sedimentatie in het oostelijke deel van het meer. Maar als dit optreedt zal het zeer langzaam gaan door de zwakke getijstrooming.



Overall beeld



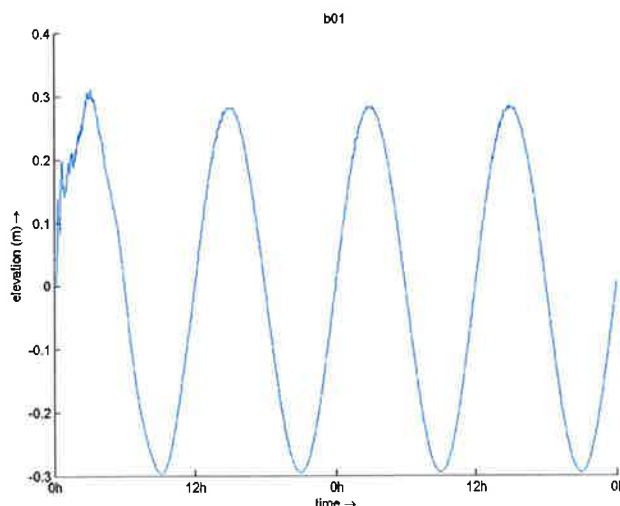
Detail net achter de dam

Figuur 3.6 Stroomsnelheden bij maximale vloed. De pijlen geven het stromingspatroon aan en hun kleuren geven de sterkte van de stroming aan. De contourlijnen zijn diepte contouren.

Behalve de grootschalige ontwikkelingen worden eventuele lokale ontwikkelingen beschouwd door naar het snelheidsveld te kijken. Figuur 3.6 laat het snelheidsveld rondom de maximale vloedstroming zien. In deze figuur wordt een gebied geconstateerd waar waarschijnlijk erosie zal optreden. Het is het gebied rondom de kortsluitgeul tussen de zuidelijke en de noordelijke hoofdgeul (aangegeven met de rode cirkel in het detail plaatje). De stroomsnelheid hier kan tot 0.8 m/s worden. Verwacht wordt dat deze kortsluitgeul zal eroderen tot een grotere geul. Dit komt door dat verder achterin het bekken de getijstroming vooral door de zuidelijke hoofdgeul gaat terwijl bij de dam het hele getij-debiet door de noordelijke hoofdgeul moet gaan. Daarom moet deze kortsluitgeul vlakbij de dam in omvang toenemen. Het geërodeerde materiaal zal sedimenteren in de omliggende diepe geulen. Dit kan in principe aan beide kant van de kortsluitgeul gebeuren, maar meer aan de oostkant dan aan de westkant omdat de stroming aan de oostkant zwakker is. Als deze veranderingen ongewenst zijn kan men overwegen de kortsluitgeul van te voren te verruimen door baggeren.

3.3.2 Veranderingen m.b.t. erosie van de oevers en ondiepe gebieden

De gevolgen van het gedeeltelijk herstellen van de getijbeweging in de nieuw ontstane situatie wordt hier nader beschouwd. In de huidige situatie wordt het waterpeil in het Grevelingenmeer bijna constant op ongeveer NAP-0.2 m gehouden. Dit betekent dat de windgolven aanvallende werking kunnen uitoefenen op de oever op eenzelfde hoogte. De getijdecentrale zal het getij gedeeltelijk terugbrengen in het meer. Figuur 3.7 laat de berekende waterstand in het Grevelingenmeer zien. Het getijverschil is inderdaad ongeveer 0.6 m. In de werkelijkheid zal de waterstand meer uitzien zoals Figuur 3.1 is aangegeven. Een gevolg van de waterstandvariatie is dat de golfwerking minder geconcentreerd is op een hoogte van de oever. Dit is op zich gunstig tegen de oevererosie. Maar de oevers zijn grotendeels beschermd. De oeverbescherming zijn ontworpen voor de huidige min of meer vast waterpeil (NAP-0.2 m). De vraag is of de oeverbescherming nog voldoende blijft werken bij de variërende waterstand. De verwachting is dat dit wel zo is. De vooroeverdammen hebben bijvoorbeeld een kruinhoogte op ongeveer NAP. Bij hoogwater zullen de dammen 0.3 m onder water staan. Ze zullen nog effectief werken voor de demping van de grotere golven. Voor de zekerheid wordt aanbevolen de oeverbeschermingen beter te bekijken, waarvoor gedetailleerde informatie over de oeverbescherming nodig is.



Figuur 3.7 Berekende waterstand in het Grevelingenmeer.

In theorie heeft de getijstroming een opbouwende werking voor de ondiepere gebieden. De relatief zwakke getijstroming die in de nieuwe situatie zal optreden zal dus in principe positief werken hoewel het effect klein zal zijn.

3.3.3 Ontwikkelingen rondom de gaten in de vooroeverdammen

Door het terugkomen van het getij zullen er sterkere stroming optreden door de gaten in de vooroeverdammen. De vraag is of de sterkere stroming voor erosie kan zorgen. Het getijdebiet door zo een gat kan worden geschat aan de hand van een kombergingsbeschouwing:

$$Q = BL \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3.1)$$

Waarin

- Q = Debiet door het gat
- B = Afstand tussen de vooroeverdam en de oever
- L = Afstand tussen de gaten
- h = Waterstand
- t = Tijd

De stroomsnelheid door het gat kan dan vervolgens worden berekend als de grootte van de het gat bekend is.

De waterstandvariatie is nu goed bekend, maar de gedetailleerde informatie over de dammen en de gaten daarin ontbreekt. Bekend is dat de afstand tussen de dam en de oever maximaal 100 m is. Aan de hand van Google Earth kan worden gezien dat de afstand tussen twee gaten in de dammen typisch enkel honderd meter is en niet meer dan 500 m. Hieruit kan worden berekend dat het debiet door zo een gat niet meer dan 2 m³/s kan worden bij een getij verschil van 0.6 m. Ook te zien is dat gaten typisch enkele tientallen meter breed zijn, maar de diepte van de gaten zijn niet bekend. Waarschijnlijk zal er niet veel probleem zijn. Bij een waterdiepte van 0.5 m (bij NAP) zal de stroomsnelheid maximaal enkele decimeters per second worden. Aanbevolen wordt meer gedetailleerde informatie over deze gaten verzamelen en analyseren voor de zekerheid.

3.4 Effecten in het mondinggebied

3.4.1 Algemeen

De evaluatie van de effecten buiten de Brouwersdam wordt niet ondersteund door resultaten van numerieke modellen. Aan de hand van simpele berekeningen worden de in hoofdstuk 2 genoemde mogelijke effecten nader geanalyseerd.

De getijdecentrale zorgt voor een gedeeltelijk herstel van het getij in Grevelingen en getijstroming door de Brouwersdam. Het is belangrijk de hydrodynamische conditie te vergelijken met de situatie van vóór de bouw van de Deltawerken. Hiervoor veronderstellen wij dat de getijdebieten en het getijprisma evenredig is met het getijverschil. Het getijverschil in Grevelingen was voor de bouw van de Deltawerken ongeveer 2 m. Uitgaand van een getijverschil van 0.6 m met de getijdecentrale in operatie, zal het getijprisma bij de dam ongeveer 30% van dat vóór de Deltawerken zijn. Daartegenover moet het totale debiet door de geul aan de noordkant worden gevoerd.

3.4.2 Verandering m.b.t. erosie van de vooroever en sedimentatie in het binnendeel van het mondinggebied

Het inkrimpen van de ebdelta is een gevolg van de afname van het getijprisma. De Brouwersdam heeft het getijprisma praktisch helemaal laten verdwijnen. Als de huidige situatie voortzet zal de ebdelta helemaal worden opgeruimd. Alleen dan zal de erosie van de vooroever ophouden. Met de getijdecentrale in operatie zal ongeveer 30% van het getijprisma worden hersteld. Volgens de empirische relatie zal het nieuwe evenwichtsvolume van de ebdelta ongeveer 20% van dat voor de Deltawerken zijn (volume ebdelta evenredig met macht 1.23 van getijprisma). Verwacht wordt een trendbreuk in de erosie van de vooroever en de sedimentatie in het binnendeel van het mondinggebied door deze toename van het getijprisma ten opzicht van de huidige situatie. Of de erosie van de vooroever zal alleen verminderen, stoppen of zelfs omslaan tot sedimentatie hangt af van in hoeverre de opruiming van de oude ebdelta al voltooid is. Als ongeveer 80% van de oude ebdelta al opgeruimd is zal het straks omslaan naar sedimentatie. Anders zal de erosie voortzetten maar dan met verminderde snelheid. De inschatting is dat het laatste het geval is. Hoe dan ook, geen negatieve gevolgen zijn gekoppeld aan deze verandering in de morfologische ontwikkeling.

3.4.3 Verandering in de ontwikkeling van de Bollen van Ooster

De uitbreiding van deze zandbanken is een gevolg van de verandering van de patroon en sterkte van de getijstroming. De operatie van de getijdecentrale zal de getijstroming in het mondinggebied in sterkte laten toenemen en van patroon veranderen. Dit zal leiden tot veranderingen in de ontwikkelingen van de Bollen van Ooster. Hoe deze veranderingen precies zijn is moeilijk aan te geven. Dit komt niet alleen doordat de verandering van het stromingsveld niet goed aan te geven is zonder de benodigde numerieke modellen. Het komt ook door dat de invloed van het stromingsveld op de ontwikkeling van deze zandbanken niet precies bekend is. Voor de verandering van het stromingspatroon moet men ook rekening houden dat de getijstroming alleen door het noordelijke deel van de Brouwersdam zal gaan, wat wezenlijk anders is dan vroeger. Als negatief effect kan niet worden uitgesloten dat de operatie van de getijdecentrale tot vermindering van de omvang van de Bollen van Ooster zal leiden. Een uitgebreide studie is nodig als men dit effect goed wil evalueren.

3.4.4 Verandering m.b.t. sedimentatie-erosie van de geulen

Vooraf in de geulen in het noordelijke deel van het mondinggebied zullen de getijstroming sterker worden. De vraag is hoe de sterkte van de stroming t.o.v. de situatie voor de Deltawerken is. Het getijprisma is ongeveer 30% van vroeger maar gaat straks alleen door de geul aan de noordkant. De geul aan de noordkant (Kous) was kleiner dan die aan de zuidkant (Brouwershavense Gat) maar de verhouding tussen de twee was groter dan 3:7. Daarom zal het getijdebiet in de noordelijke geul kleiner zijn dan vroeger. Dit beeld wordt ook bevestigd door de resultaten van het stromingsmodel binnen de Brouwersdam. De geulen in het Grevelingenmeer zullen zandhonger blijven hebben. Buiten de Brouwersdam kan de geul echter wel omslaan van zandhonger naar zandoverschot. Dit komt door dat de geulen daar in omvang zijn afgenomen sinds de bouw van de dam. Dit kan leiden tot erosie in de geul, zeker in het deel dichtbij de dam. De verruiming van de geul op zich is geen probleem. Maar het eroderen van het afgezette slib eist wel aandacht, omdat het verspreiden van het slib tot milieu probleem kan leiden als het om vervuild slib gaat. Het afgezette slib heeft een mariene oorsprong. Daarom is de kans klein dat het om vervuild slib gaat. Voor de zekerheid wordt wel aanbevolen de kwaliteit van het slib dat geërodeerd kan worden te onderzoeken. Ook

wordt aanbevolen de zandhonger van de geulen beter te evalueren aan de hand van numerieke modellen.

3.4.5 Verandering m.b.t. ontwikkeling van de platen / ondiepten

Samenhangende met de verandering m.b.t. de ontwikkelingen van de geulen zal er ook veranderingen op de ontwikkelingen van de ondieptes, platen en de stranden kunnen optreden. Vooral de ontwikkelingen van de stranden Brouwersdam en Ouddorp zijn in de belangstelling.

De ondiepe gebieden in het binnendeel van het mondinggebied (dus niet de Bollen van Ooster) zijn sinds de bouw van de Brouwersdam geërodeerd. Dit heeft te maken met het wegvallen / verzwakken van de opbouwende werking van de getijstroming in de geulen. Ook de erosie van het Strand Brouwersdam heeft mogelijk hiermee te maken (Lazar, 2007). De operatie van de getijdecentrale zal de getijstroming in de geulen versterken. Dit zal de erosie van de ondiepten verminderen of zelfs ombuigen tot sedimentatie. Het effect zal dus positief zijn en geen negatief effect met betrekking tot de ontwikkeling van de ondiepten, inclusief de **Stranden Brouwersdam en Ouddorp** wordt verwacht.

3.4.6 Heroriëntatie van de geulen

Het gedeeltelijke herstellen van het getij gaat alleen via de noordelijke geulen. Het stromingspatroon zal daarom anders zijn t.o.v. de situatie voor de bouw van de Brouwersdam. Dit kan mogelijk tot heroriëntatie van de geulen leiden omdat de huidige oriëntaties van de geulen nog afgestemd zijn op het stromingspatroon van toen. Wat voor veranderingen er gaan optreden in het geulenpatroon is op dit moment moeilijk te zeggen. Men moet denken aan bijvoorbeeld verruimen van kortsluitgeulen tussen de hoofdgeulen zoals in het Grevelingenmeer is geconstateerd. Nader onderzoek naar dit aspect kan worden gedaan wanneer geschikte numeriek modellen voor het gebied beschikbaar zijn.

3.5 Samenvatting effecten

De evaluatie van de mogelijk effecten worden in de volgende tabel kort samengevat. Effecten die zorgpunten vormen zijn aangegeven met cursief tekst.

Binnen de Brouwersdam	
Sedimentatie / erosie van de geulen	De meeste geulen blijven zandhonger hebben. Herverdeling zal erosie in het westelijke deel en sedimentatie in het oostelijke deel kunnen leiden. <i>Een kortsluitgeul dicht bij de dam zal verruimen door erosie.</i>
Erosie van de oevers en ondiepe gebieden	Geen verslechtering van de oevererosie wordt verwacht
Gaten in de vooroeverdammen	Geen ernstige erosie verwacht
Buiten de Brouwersdam	
Erosie van de vooroever	De erosie zal waarschijnlijk voortzetten maar met verminderde snelheid.
De Bollen van Ooster	<i>Verminderen van omvang van deze zandbanken kan niet worden uitgesloten.</i>
Sedimentatie-erosie van de geulen	Erosie van geulen direct na de getijdecentrale

	wordt verwacht. <i>Een deel van het geërodeerde materiaal is slib.</i>
Ontwikkeling van de platen / ondiepten	Geen negatief effect verwacht
Heroriëntatie van de geulen	<i>Aanpassing van geulenpatroon kan worden verwacht hoewel het nu niet kan worden aangegeven hoe.</i>

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Samenvatting van conclusies

Het bouwen van een getijdecentrale zal het getij gedeeltelijk terugbrengen in het Grevelingenmeer. Daardoor kan er zowel binnen als buiten de dam trendbreuk in de morfologische ontwikkelingen optreden. Opgemerkt wordt dat het terugbrengen van getij in Grevelingen is in de eerste instantie bedoeld voor de verbetering van de waterkwaliteit in het meer. Dus ook zonder het plaatsen van een getijdecentrale zullen de genoemde effecten optreden.

Voor het binnengebied (Grevelingenmeer) worden de volgende effecten verwacht:

- **Sedimentatie / erosie van de geulen.** In de huidige situatie is de getijstrooming in de geulen praktisch volledig uitgevallen. De geulen hebben dus grote zandhonger. Maar door gebrek van sedimentbronnen treden er nauwelijks sedimentatie op in de geulen. Ook in de nieuwe situatie met de getijdecentrale zullen de geulen in het Grevelingenmeer zandhonger hebben voor het scenario dat het getijverschil ongeveer 0.6 m wordt. Hoewel het nog onbekend is hoe het gedetailleerde ontwerp van en rondom de getijdecentrale eruit ziet, is de verwachting dat sedimenttransport door de centrale beperkt zal zijn. Dit betekent dat de zandhonger in de geulen zal blijven bestaan. Veranderingen van de geulen kunnen optreden door sediment van gebieden met kleiner zandhonger (dichtbij de centrale) naar gebieden met groter zandhonger (verder van de centrale) te transporteren. Het gaat echter om relatief kleine en langzame veranderingen. Doordat de getijstrooming bij de dam alleen door het noordelijke geulen gaat, zal er lokaal sterkere verandering optreden, namelijk het verruimen van de kortsluitgeul vlakbij de centrale.
- **Veranderingen m.b.t. erosie van de oevers en ondiepe gebieden.** In de huidige situatie zijn de meeste oevers nu beschermd tegen erosie. De erosie is een gevolg van het wegvallen van zowel het verticale als het horizontale getij. Daarom wordt in principe geen negatief effect op de erosie van oevers en ondiepe gebieden verwacht. Wel heeft het terugbrengen van het verticale getij, i.e. variatie van waterstand de nodige aandacht nodig, omdat de huidige oeverbeschermingen ontworpen zijn voor een vast waterpeil van ongeveer NAP-0.2 m. De inschatting is dat de oeverbeschermingen zullen blijven effectief werken.
- **Ontwikkelingen rondom de gaten in de vooroeverdammen.** In de vooroeverdammen tegen oevererosie zijn gaten aanwezig voor de verversing van het water tussen de dammen en de oevers. Deze gaten zijn echter ontworpen voor de situatie zonder getij. Een grove berekening van de strooming door deze gaten geeft aan dat de strooming door het getij niet tot ernstige erosie zal leiden.

Met betrekking tot de eventuele sedimentatie die de werking van de getijdecentrale in gevaar zou brengen hoeft men weinig zorg te maken. In de directe omgeving van de centrale wordt eerder erosie dan sedimentatie verwacht.

In het buiten gebied kunnen de volgende relevante veranderingen optreden:

- **Verandering m.b.t. erosie van de vooroever en sedimentatie in het binnendeel van het mondinggebied.** Sinds de bouw van de Brouwersdam treedt er erosie van

de vooroever (gebied zeewaarts van de Bollen van Ooster) op. Het geërodeerde materiaal wordt deels gesedimenteerd in het binnendeel van het mondinggebied. Deze grootschalige ontwikkeling is in feite het wegruimen van de ebdelta door het wegvallen van de getijbeweging naar en uit Grevelingen. In de nieuwe situatie met de getijdecentrale wordt het evenwichtsvolume van de ebdelta op ongeveer 20% van dat voor de Deltawerken geschat. Geschat wordt dat de oude ebdelta is nog niet voor 80% weggeruimd door erosie. Daarom wordt verwacht dat de erosie van de vooroever met een lagere snelheid zal voortzetten.

- **Verandering in de ontwikkeling van de Bollen van Ooster.** Deze zandbanken zijn sinds de bouw van de Brouwersdam uitgebreid als gevolg van de verandering van de patroon en sterkte van de getijstroming. Hoe deze ontwikkeling zal veranderen in de nieuwe situatie met de getijdecentrale is moeilijk aan te geven. Afname van de omvang van deze zandbanken kan niet worden uitgesloten.
- **Verandering m.b.t. sedimentatie-erosie van de geulen.** Sinds de bouw van de Brouwersdam is er sedimentatie in de geulen in het mondinggebied opgetreden. De sterkere getijstroming in de nieuwe situatie met de getijdecentrale zal leiden tot erosie in deze geulen leiden, vooral dichtbij de getijdecentrale. Door de erosie zal het afgezette slib worden verspreid. De verwachting is dat dit niet tot milieu probleem zal leiden omdat het slib waarschijnlijk niet vervuild is vanwege de marine oorsprong.
- **Verandering m.b.t. ontwikkeling van de platen / ondiepten.** Sinds de bouw van de Brouwersdam worden de platen en ondiepten in het binnendeel van het mondinggebied geërodeerd. Dit is een gevolg van het wegvallen van de getijstroming. In de nieuwe situatie zal de getijstroming sterker worden. Daarom wordt er geen verergering van de erosie van deze ondiepe gebieden verwacht. Dit geldt ook voor de stranden Brouwersdam en Ouddorp.
- **Heroriëntatie van de geulen.** Het stromingspatroon in de nieuwe situatie met de getijdecentrale zal anders zijn t.o.v. de situatie van vóór de bouw van de Brouwersdam. Dit kan mogelijk tot heroriëntatie van de geulen leiden in de vorm van lokale erosie van bijvoorbeeld een kortsluitgeul, hoewel het nu niet kan worden aangegeven hoe dit gaat gebeuren.

Van de bovengenoemde effecten zijn de volgende zorgpunten geconstateerd:

- Verruiming van de kortsluitgeul dicht bij de getijdecentrale aan de binnen zijde van de Brouwersdam door erosie. Als dit negatief worden beschouwd kan men als mitigerende maatregel dit gebied van te voren uitbaggeren.
- Mogelijke afname in omvang van de Bollen van Ooster.
- Erosie van geulen dichtbij de getijdecentrale buiten de Brouwersdam. Ook het vrijkomen van het afgezette slib vraagt aandacht.
- Mogelijk heroriëntatie van geulen in het mondinggebied die gepaard gaat met bijvoorbeeld sterk lokale erosies.

4.2 Aanbevelingen

Met betrekking tot verder onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

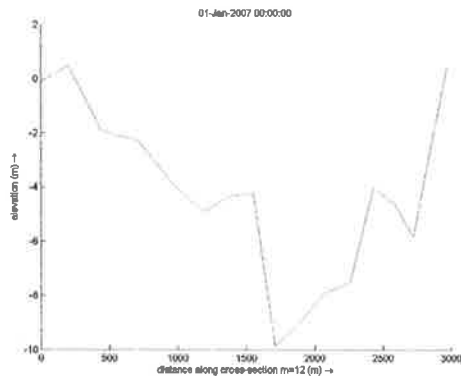
- Voor de zekerheid checken of de oeverbeschermingen in het Grevelingenmeer nog effectief zullen functioneren. Hiervoor heeft men nodig de gedetailleerde informatie van de oeverbeschermingen.

- Voor de zekerheid of de dimensies (breedte en diepte) van de gaten in de vooroeverdammen der bescherming tegen oevererosie voldoende zijn voor de verwachte getijstroming.
- De mogelijkheid van sedimenttransport door de getijdecentrale nader analyseren wanneer het ontwerp van de centrale in detail beschikbaar is.
- Het onderzoek uitbreiden met realistisch getij i.p.v. het sterk geschematiseerde getij met maar één harmonisch component. Hiervoor moet de operatie van de getijdecentrale beter worden gespecificeerd en waardoor het verloop van het debiet door de centrale kan worden bepaald voor het werkelijke getij.
- Numerieke modelleringen voor het buitengebied. Voorgesteld wordt een model speciaal voor het onderzoek voor MIRT Grevelingen op te zetten, om vooral de modellering in het buitengebied mogelijk te maken. Hydrodynamische berekeningen kunnen worden gebruikt om de verdeling van zandhonger – zandoverschot nader te bepalen en om een indicatie te krijgen van de mogelijke veranderingen van het geulenpatroon. Modelling van sedimenttransport en morfologische ontwikkeling onder invloed van stroming en golven zal nodig zijn voor een betere evaluatie van de ontwikkeling van de Bollen van Ooster smanehangende met de vooroevererosie.
- Voor de zekerheid de kwaliteit van het slib dat kan worden geërodeerd onderzoeken.

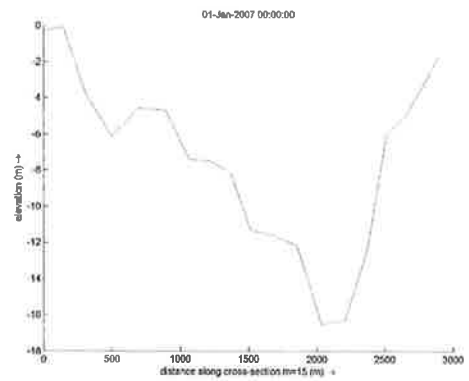
5 Referenties

- Cleveringa, J., 2008, Morphodynamics of the Delta Coast (South-west Netherlands), Report A1881, ALKYON.
- Jeuken, M.C.J.L., Aarninkhof, S.G.J., Bruinsma, R., Van Holland, G. en J.A. Roelvink, 2000, Modelling van de grootschalige bodemveranderingen in de voordelta van Oosterschelde en Grevelingen, rapport Z2422, WL | Delft Hydraulics.
- Lazar, M., 2007, Morfologische ontwikkelingen strand Brouwersdam, Memo AXW-010607, Rijkswaterstaat, Directie Zeeland.
- Nolte, A.J. en C. Spiteri, 2009, Verkenning van de waterkwaliteit en ecologische toestand bij een open verbinding tussen het Grevelingenmeer en een (zout) Volkerak-Zoommeer, Rapport Z4576, Deltares.
- Nolte, A.J., Trost, T., de Boer, G., Spiteri, C. en B. van Wesenbeeck, 2008, Verkenning oplossingsrichtingen voor een betere waterkwaliteit en ecologische toestand van het Grevelingenmeer, Rapport 4576, Deltares.
- Postma, R., Mulder, J., Louters, T. en F.Hallie, 1990, Een prognose van de morfologie van de Grevelingen-buitendelta in 2010, Rapport GEOPRO 1991.08.
- Rijkswaterstaat, 1989, De ontwikkeling van bescherming van oevers in afgesloten zeearmen.
- Snijders, G.H., 1998, Morfologische ontwikkeling Voordelta 1980-1997, Rapport RIKZ-98.019, RIKZ, Rijkswaterstaat.
- Spek, A.J.F. van der, 1989, Confrontatie mathematische modelresultaten-metingen Grevelingen buitendelta, nota GWAO-88.1320, Rijkswaterstaat, dienst getijdewateren.
- Spek, A.J.F. van der, 1987, Beschrijving van de ontwikkeling van de buitendelta's van Haringvliet en Grevelingen, nota GWAO-87.105, Rijkswaterstaat, dienst getijdewateren.
- Tanczos, I.C., en A. Crosato, 2003, Morfologische gevolgen van het introduceren van een getij in het Grevelingenmeer, rapport Z3422, WL | Delft Hydraulics.
- Zijl, F. en A. Nolte, 2006, Effect van ingebruikname Flakkeese spuisluis op de hydrodynamica en waterkwaliteit van het Grevelingen, Rapport Z4161, WL | Delft Hydraulics.

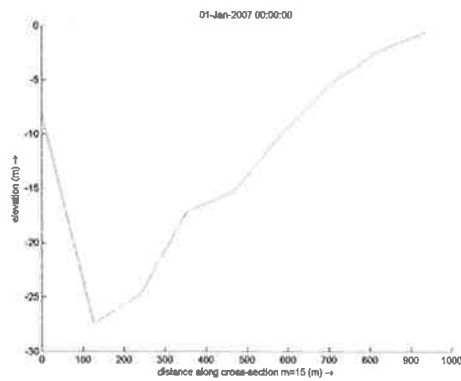
A Dwarsprofielen



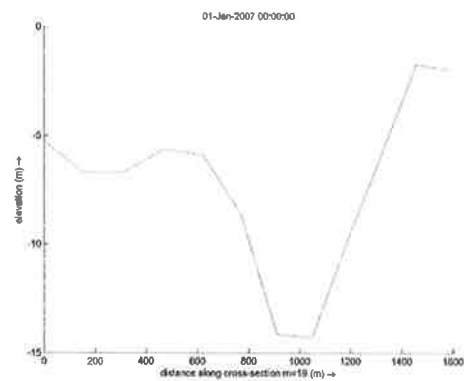
CRS01



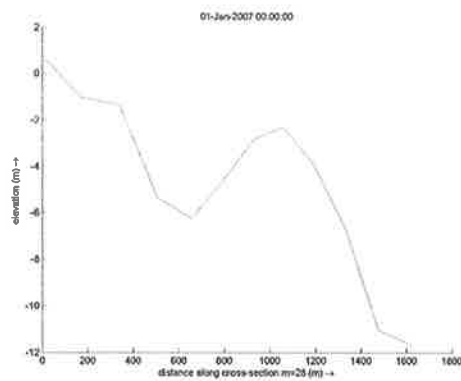
CRS02



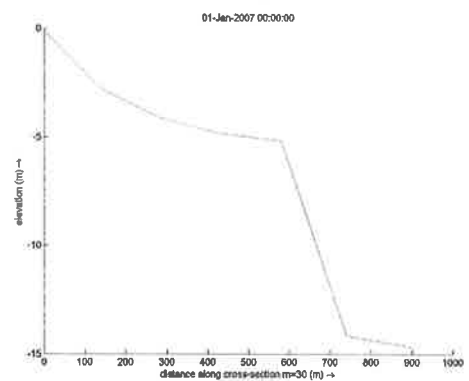
CRS03



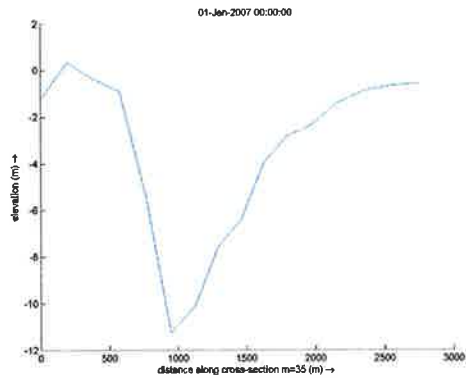
CRS04



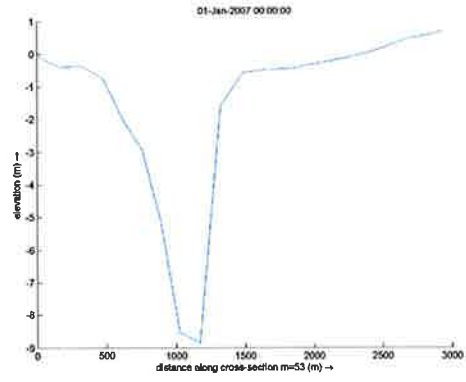
CRS05



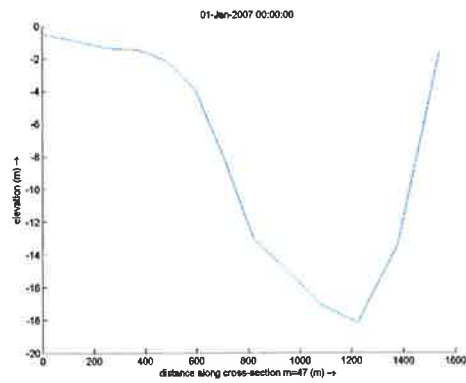
CRS06



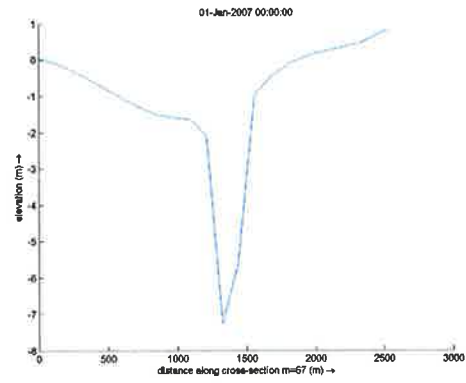
CRS07



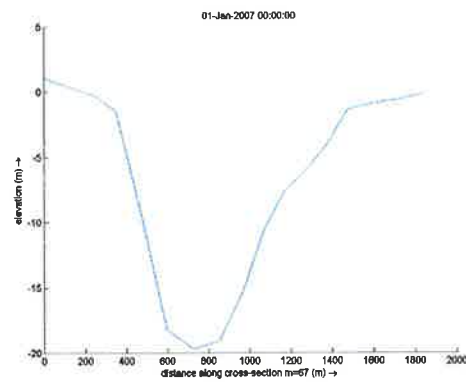
CRS08



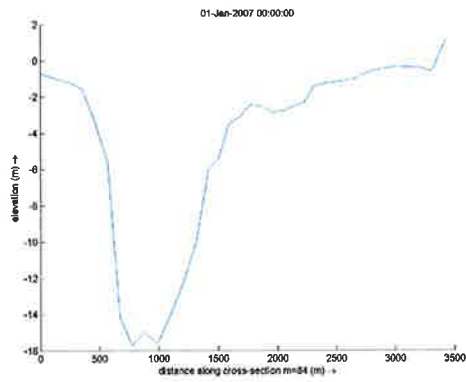
CRS09



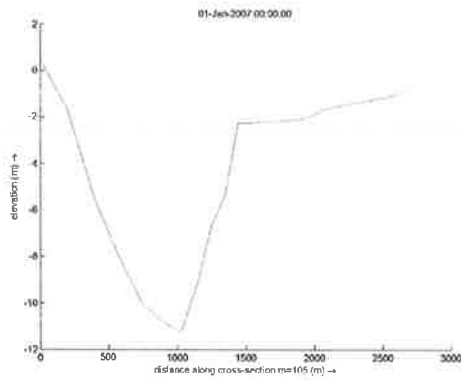
CRS10



CRS11



CRS12



CRS13