

Westerscheldemond 1970 - 2020

een morfologische blik op de toekomst

Bart Kornman
Aline Arends
Daan Dunsbergen
april 2000

Samenvatting

In dit rapport staat de morfologische ontwikkeling van de Westerscheldemond centraal. Met kennis over de ontwikkeling van de afgelopen periode, wordt een prognose gemaakt van de zandhuishouding in de Westerscheldemond tot aan 2020. Die prognose is gebruikt om mogelijke kansen en bedreigingen te signaleren die van belang kunnen zijn bij het optimaliseren van toekomstig beheer van de Westerscheldemond.

In de afgelopen twee eeuwen is het geulenstelsel in de Westerscheldemond veranderd. In het begin van de 19^e eeuw waren nog 3 kenmerkende geulen in de monding aanwezig. Tegenwoordig zijn er nog 2 dominante geulen, namelijk de Scheur/Wielingen en het Oostgat. De derde geul (Deurloo) is veranderd in 2 minder duidelijke doorgangen die gescheiden worden door een bank.

Het morfologische gedrag van de Westerscheldemond wordt veelal in beeld gebracht door middel van een zandbalans. Op basis van kaartmateriaal over verschillende jaren wordt bepaald of een gekozen gebied zand verliest (export) of juist bergt (import). Vervolgens worden de resultaten met elkaar in verband gebracht door de gebieden van erosie en sedimentatie aan elkaar te koppelen. Zo worden uitspraken gedaan over de eventuele zanduitwisseling tussen gebieden in de Westerscheldemond en ook de daaraan grenzende gebieden (Westerschelde, Noordzee, kusten). De zanduitwisseling is ook geïnterpreteerd in termen van veranderingen in dieptelijnen.

Verschillende studies geven aan dat de Westerscheldemond in de periode 1969 - 1993 naast bagger- en stortactiviteiten, zand heeft verloren (115 ± 70 miljoen m^3). Dit netto zandverlies is echter niet constant door de jaren heen. Begin jaren 70 is zelfs een zandtoename geconstateerd, en de grootste afname begin jaren 80 lijkt inmiddels al weer voorbij. Die variaties in de zandbalans blijken afhankelijk van menselijke ingrepen, voornamelijk baggeren/storten en kustverdedigingswerken. Maar ook natuurlijke fluctuaties, bijvoorbeeld een 18,6-jarige cyclus in het getij, of aanwezige zandgolven en erodeerbaarheid van het materiaal op de zeebodem zullen van invloed zijn. Hierdoor zal in deelgebieden van de Westerscheldemond verschillend gedrag optreden. Dat gedrag bepaalt bijvoorbeeld langs de kusten de zandsuppletiebehoefte, in de geulen de baggerbehoefte en op de platen de stortmogelijkheden.

In de Westerscheldemond zijn lokaal van belang de stabiliteit van het platenstelsel, de Raan, en de stabiliteit van het huidige twee-geulenstelsel (Scheur/Wielingen en Oostgat). Voor de kust van Zeeuwsch-Vlaanderen zijn de zandgolven van belang en voor de kust van zuidwest Walcheren moet rekening gehouden worden met stroomresistente lagen. Voor beide kustgedeelten zijn aangebrachte harde constructies (havens, verdedigingswerken) mede bepalend voor het morfologische gedrag.

Een morfologische voorspelling (in dit rapport tot aan 2020) is een interpretatie van de opgestelde zandbalans. Die interpretatie is niet eenvoudig. Het combineert kennis over het waargenomen gedrag van de Westerscheldemond met algemene uitspraken (evenwichtsrelaties) over vergelijkbare morfologische systemen. De moeilijkheid in de interpretatie zit in de beperkte geldigheid van evenwichtsrelaties in systemen die zo door de mens zijn beïnvloed. Bovendien zijn onnauwkeurigheid (en beschikbaarheid) van dieptegegevens, maar ook

verandering in zeespiegelstijging en getij, aanwezigheid van slib, menselijk handelen in en rond het interessegebied van invloed.

Aannames over mogelijk toekomstig menselijk handelen en over natuurlijke processen als zeespiegelstijging zijn noodzakelijk voor het maken van een morfologische voorspelling. Daartoe zijn in dit rapport een vijftal scenario's onderscheiden. Het betreft: i) voortzetting huidig beleid, ii) verandering in autonome aansturing (waaronder verandering in zeespiegelstijging), iii) verandering van ingrepen in de Westerschelde, iv) verandering van ingrepen in de monding en tenslotte v) een specifiek geval, namelijk een algemene verdieping van de vaarweg naar Antwerpen.

Met de huidige kwalitatieve kennis wordt gesteld dat zonder een versnelde zeespiegelstijging de morfologische veranderingen op de zandbalans tot 2020 marginaal blijven. Een ernstige verstoring van de zandhuishouding wordt voor de onderscheiden scenario's dus niet verwacht. Het huidige beleid zal ook in de komende decennia kunnen voldoen, waarbij zich mogelijkheden voordoen bij de uitvoering daarvan. Een verhoogde Paardenmarkt (stortlokatie) biedt bijvoorbeeld bescherming tegen de golfaanval op de kust. Dit kan het aantal zandsuppleties verminderen die nodig zijn om de kust van Zeeuwsch Vlaanderen te handhaven. De aanzanding van het Zwin zal dan tevens afnemen. Als ook zand gestort zou worden in de Appelzak, dan wordt een verdergaande verdieping van die geul tegengegaan en blijft de munitie uit de eerste wereldoorlog begraven. De verwachting is dat deze stortlokaties goed bereikbaar blijven vanuit zee.

Een van de grootste kansen in de Westerscheldemond is om het zand dat afkomstig is uit de verdiepingswerkzaamheden te gebruiken in een onderwatersuppletie. Onderzocht zal moeten worden of dit zand op termijn daadwerkelijk ten goede zal kunnen komen aan het BKL-volume van Zeeuwsch-Vlaanderen. Bij een verdieping zal rekening gehouden moeten worden met de aanwezige kleilagen. Het wegbaggeren van resistente kleilagen, bijvoorbeeld in de Scheur/Wielingen, zal immers geen gunstige morfologische ontwikkeling in gang zetten.

De aanwezige harde constructies voor de kust van zuidwest Walcheren verhinderen de oostwaartse migratie van het Oostgat. Die door de mens beheerde stabiele situatie betekent echter niet dat er in de nabijheid zand gewonnen kan worden. Als ten gevolge van zandwinning op bijvoorbeeld het Bankje van Zoutelande het Bankje doorbreekt, zal dat hinder opleveren voor de scheepvaart.

Afsluitend wordt gesteld dat door de stabiliteit van de Raan er zich mogelijkheden voordoen voor intensiever gebruik van de Raan. Een studie naar de aanleg van een windmolenpark of eiland zal de haalbaarheid echter nog moeten aangeven.

Nog niet alle mogelijkheden en onmogelijkheden van de Westerscheldemond zijn bekend. In dit rapport wordt gesteld dat in geval van een versnelde zeespiegelstijging er waarschijnlijk rekening gehouden moet worden met een extra zandbehoefte in de Westerscheldemond. De consequenties voor het beheer is echter nog niet kwantitatief aangegeven. Hiervoor is het nodig dat de interpretatie van de zandbalans beter wordt onderbouwd. Bij concrete vragen naar de gevolgen van een geulverdieping, zal aandacht besteedt moeten worden aan de ontwikkeling van een modelinstrumentarium dat onder andere de gevolgen van getijdoordringing in de Westerschelde, alsook de interactie met het Oostgat kan aangeven.

Inhoudsopgave

| | |
|---|-----------|
| Samenvatting | ii |
| Inhoudsopgave | iv |
| Voorwoord | v |
| 1 Inleiding | 1 |
| 2 Morfologische ontwikkelingen in de Westerscheldemond | 2 |
| 2.1 Inleiding | 2 |
| 2.2 Ontwikkelingen in de Westerscheldemond vanaf 1800 | 2 |
| 2.3 Kust van België en Zeeuws Vlaanderen | 4 |
| 2.4 Zuidwest Walcheren | 5 |
| 2.5 Scheur/Wielingen | 7 |
| 2.6 Raan | 7 |
| 3 Toekomstige morfologische ontwikkelingen | 9 |
| 3.1 Inleiding | 9 |
| 3.2 Beschrijving scenario's | 9 |
| 3.3 Het maken van een voorspelling | 11 |
| 3.4 Ontwikkeling Westerscheldemond bij voortzetting huidige beleid. | 14 |
| 3.5 Ontwikkelingen bij veranderingen in huidig beleid en autonome aansturing | 16 |
| 3.6 Conclusie | 18 |
| 4 Kansen en bedreigingen | 20 |
| 4.1 Inleiding | 20 |
| 4.2 Kansen en bedreigingen bij voortzetten huidig beleid | 21 |
| 4.3 Kansen en bedreigingen bij verandering randvoorwaarden en ingrepen | 23 |
| 4.4 Conclusie | 24 |
| 5 Kennisbehoefte / witte vlekken | 25 |
| 6 Literatuurlijst | 26 |
| 6.1 Referenties | 26 |
| 6.2 Lijst van verschenen rapporten in het kader van KUST2000: Westerscheldemond | 27 |
| Figuren | 30 |

Voorwoord

Dit rapport is dankzij stimulerende bijdragen van vele personen tot stand gekomen. Zij worden allen hartelijk bedankt voor hun inzet. In het bijzonder worden hier Annemieke van der Slikke (Universiteit Utrecht) en Ad Langerak genoemd voor het verrichten en begeleiden van enkele jaren fenomenologisch onderzoek, Rob Termaat, Piet Roelse en Cornelis Israël voor het meedenken en commentariëren van het rapport en Bram Schouwenaar voor het aanleveren van figuren.

Tevens worden hier diegenen bedankt die zorg hebben gedragen voor alle onderbouwende onderzoeken. Het betreft hier de medewerkers van de Meetinformatiedienst Zeeland, Ingenieursbureau's, Universiteiten en GTI's.

Bart Kornman,
Aline Arends,
Daan Dunsbergen.

1 Inleiding

De morfologie van de Westerscheldemond is aan verandering onderhevig. Aanwezige geulen veranderen in diepte en positie terwijl platen in het mondingsgebied variëren in hoogte en oppervlakte. Ook zijn fenomenen als zandgolven duidelijk waarneembaar in het gebied. Sommige veranderingen treden in korte tijd op, andere veranderingen spelen over perioden van decennia.

De mens gebruikt de Westerscheldemond intensief voor verschillende doeleinden: havens worden door schepen aangedaan, geulen worden voor scheepvaart gebruikt en grote hoeveelheden sediment worden verplaatst. Om het achterliggende land te beschermen zijn de kusten verdedigd. Samen met de natuurlijke invloeden, zoals bijvoorbeeld zeespiegelstijging, beïnvloeden die activiteiten de morfologische ontwikkeling van de Westerscheldemonding en haar omgeving.

Inzicht in de verwachte morfologische ontwikkelingen over een periode van decennia biedt kansen om optimaal gebruik te maken van de Westerscheldemond. Vandaar dat RWS Directie Zeeland aan het RIKZ gevraagd heeft de morfologie van de Westerscheldemond te onderzoeken. Daartoe is een samenhangend RWS-programma, genaamd KUST2000, opgestart dat antwoord probeert te geven op vergelijkbare beheersproblemen langs de gehele Nederlandse kust. Het voorliggende rapport integreert de verkregen onderzoeksresultaten tot een beknopte morfologische beschrijving van de Westerscheldemond toen (1970), "nu" (1995/1997) en in de toekomst (2020). De toekomstvoorspelling is afhankelijk gesteld van mogelijke beïnvloeding van menselijk handelen en verandering in klimaat. Op grond van de morfologische beschrijvingen kunnen de kansen en bedreigingen voor mens en natuur worden geïdentificeerd. Het rapport is daarmee belangrijk voor kustbeheerders omdat het bijdraagt aan de discussie over een optimaal beheer van de Westerscheldemond. Tevens is het relevant voor de kustonderzoeker, omdat het richting geeft aan verder benodigd morfologisch onderzoek.

2 Morfologische ontwikkelingen in de Westerscheldemond

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft op hoofdlijnen een overzicht van de morfologische ontwikkelingen die in de Westerscheldemond hebben plaatsgevonden. Allereerst worden de grootschalige ontwikkelingen vanaf 1800 beschreven. Vervolgens worden de morfologische veranderingen die hebben plaatsgevonden in de periode 1970-1997 beschreven. Daartoe is de Westerscheldemond opgedeeld in 4 deelgebieden, de kust van zuidwest Walcheren, de Scheur/Wielingen, de Raan en de kust van België en Zeeuwsch Vlaanderen. In figuur 2.1 zijn de deelgebieden aangegeven.

De morfologische gegevens zijn, tenzij anders vermeld, ontleend uit van der Slikke (1999). In dat rapport is de ontwikkeling van het gebied gedetailleerd beschreven. Per deelgebied wordt de ontwikkeling van de verschillende morfologische eenheden beschreven en geanalyseerd. De fenomenologische kennis die hiermee opgedaan is, gecombineerd met fysische kennis, vormt de basis voor de prognoses van toekomstige ontwikkelingen die in hoofdstuk 3 worden beschreven.

2.2 Ontwikkelingen in de Westerscheldemond vanaf 1800

Morfologie

In figuur 2.2 is in een aantal schetsen de morfologische ontwikkeling van het gebied gedurende de laatste twee eeuwen weergegeven. Rond 1800 waren er 3 hoofdgeulen in de Westerscheldemonding te onderscheiden, de Wielingen, het Oostgat en de Deurloo. Daarvan zijn nu alleen de Scheur/Wielingen en het Oostgat overgebleven. De Wielingen en het Oostgat hadden begin vorige eeuw een minder uitgesproken rol dan tegenwoordig. De Deurloo speelt in het huidige systeem geen rol meer bij de in- en uitgaande stroming van de Westerschelde. Door het kunstmatig verdiepen van de Scheur/Wielingen is deze geul momenteel de belangrijkste geul in de monding.

Begin 19^e eeuw lag de Wielingen dicht tegen de kust aan en bestond uit een oostelijk en een westelijk deel. Het Scheur was nog niet aanwezig. Het oostelijk deel van de Wielingen had een aantal ebscharen in de Raan en vloedscharen langs de Vlaamse kust. Deze ebscharen zijn inmiddels verdwenen door de baggerwerkzaamheden in de Scheur/Wielingen. De geul Scheur/Wielingen heeft de ebfunctie van de scharen overgenomen.

Eind 19^e eeuw neemt het westelijke deel van de Wielingen sterk in omvang af en ontstaat aan de noordzijde van de geul een ebschaar, het Scheur. De geul ligt ten noorden van de Bol van Heist. De scheepvaartroute liep nog zuidelijk van de Bol van Heist door de Wielingen. Door het dieper baggeren van het Scheur sinds de jaren zestig is een grote doorgaande geul ontstaan, de Scheur/Wielingen. Mede door aanzanden van de zuidelijke geul is dit thans de hoofdscheepvaartroute.

Tot 1930 was de Deurloo één geul en vormde de centrale hoofdgeul van de Westerscheldemonding. In 1930 wordt de aanzet tot splitsing van de Deurloo in een oostelijk en westelijk deel gegeven. Begin jaren '70 is de splitsing voltooid en is er via de Deurloo geen directe verbinding meer tussen de monding en de Noordzee. Wel liggen de Deurloo-Oost en de Geul van de Rassen in elkaars verlengde, evenals de Deurloo-West en de Geul van de Walvischstaart. De twee geulsystemen zijn gescheiden door een bankje. Met de

splitsing van de geul is ook de oriëntatie gewijzigd, van een meer westelijke naar een meer noordelijke oriëntatie.

In figuur 2.3. is in één kaart de morfologische situatie van 1970 en 1997 weer gegeven. In deze figuur kunnen de grootschalige veranderingen in deze periode worden afgelezen. De situatie in 1970 is als uitgangspunt genomen. In de kaart van 1970 zijn de dieptelijnen van 1997 getekend. De morfologische hoofdstructuur van de monding, d.w.z. de grootschalige ligging van de Scheur/Wielingen - de Vlake van de Raan - het Oostgat, is weinig veranderd in de afgelopen 25 jaar. Svasek (1997) heeft met modelberekeningen aangetoond dat de huidige morfologische hoofdstructuur van de monding stabiel is.

Zandbalans

Uit de grootschalige zandbalans van de monding en informatie uit de zandbalans van de Westerschelde komt Van der Slikke (1998, 1997) tot het volgende beeld van veranderingen in het zandvolume (import/export) in de monding tussen 1970 en 1990:

- Tussen 1970 en 1975 neemt het zandvolume in de monding met 64 Mm³ toe. Hiervan komt 35 Mm³ uit de Westerschelde en wordt 12 Mm³ gestort. Dit betekent dat er 17 Mm³ uit de aangrenzende gebieden van de Noordzee is geïmporteerd.
- Tussen 1975 en 1980 neemt het zandvolume in de monding met 41 Mm³ af. De Westerschelde importeert 6 Mm³ en er wordt 12 Mm³ gestort. Dit betekent dat er 47 Mm³ naar de aangrenzende gebieden van de Noordzee is geëxporteerd.
- Tussen 1980 en 1985 neemt het zandvolume in de monding met 80 Mm³ af. De Westerschelde exporteert 10 Mm³ en er wordt 13 Mm³ gestort. Dit betekent dat er 103 Mm³ naar de aangrenzende gebieden van de Noordzee is geëxporteerd.
- Tussen 1985 en 1990 neemt het zandvolume in de monding met 2 Mm³ toe. De Westerschelde exporteert 0 Mm³ en er wordt 27 Mm³ gestort. Dit betekent dat er 25 Mm³ naar de aangrenzende gebieden van de Noordzee is geëxporteerd.

De monding slaat midden jaren zeventig van importerend om naar exporterend, voornamelijk richting aangrenzende gebieden van de Noordzee. Volgens Van der Slikke (1998) vindt export voor een belangrijk deel plaats vanuit de stortplaatsen die aan de rand van de monding en Noordzee liggen. De ingrepen (baggeren en storten) in de monding zijn eind jaren '70 sterk toegenomen. Dit is mogelijk een verklaring voor de import-export omslag. Een tweede aspect dat mogelijk invloed heeft op de hierboven geschetste ontwikkelingen is de 18,6 jarige cyclus in het getij. In paragraaf 3.3 wordt hier nader op ingegaan. In de Westerschelde is eveneens geconstateerd dat in het westelijke deel de natuurlijke processen de morfologische ontwikkelingen bepalen terwijl in het oosten, waar de meeste ingrepen worden gedaan, de ingrepen de morfologische ontwikkelingen sturen (Vroon et al, 1997). In Israël en Huijs (1998) worden inhoudsveranderingen in de Westerschelde ook in verband gebracht met de 18,6 jarige getijcyclus.

Resumé

In het begin van de 19^e eeuw waren drie geulen in de monding aanwezig. Nu zijn er twee geulen, de Scheur/Wielingen en het Oostgat, de derde geul (Deurloo) is veranderd in 2 minder duidelijke doorgangen die gescheiden worden door een bank en meer noordelijk georiënteerd zijn.

Het Westerschelde mondingsgebied wisselt zand uit met haar omgeving: de Westerschelde en de aangrenzende gebieden van de Noordzee. Deze uitwisseling wordt beïnvloed door ingrepen als baggeren en storten en door natuurlijke processen, zoals de 18,6 jarige cyclus. Dit is ook in de Westerschelde geconstateerd. Over hoe deze processen en interacties precies verlopen is weinig bekend.

2.3 Kust van België en Zeeuws Vlaanderen

Het deelgebied "kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen" omvat het gebied ingesloten door de Wielingen, de kusten van België en Zeeuwsch-Vlaanderen en de Pas van het Zand (zie figuur 2.1).

Dit gebied bestaat voornamelijk uit een grote ondiepte, de Paardenmarkt en een kleine geul, de Appelzak. De kustlijn wordt op de grens tussen Nederland en België onderbroken door een klein geultje, het Zwin. Het gebied is in het verleden sterk beïnvloed door de aanleg (1906) en de uitbreiding (1986) van de Haven van Zeebrugge. Momenteel wordt de ontwikkeling van het gebied sterk gestuurd door de baggerwerkzaamheden om de vaargeul (Scheur/Wielingen) en de haven van Zeebrugge te onderhouden. Voor de aanleg van de haven van Zeebrugge liep langs de Belgisch-Nederlandse kust een vloedgeul, de Appelzak. Door aanleg van de havendammen is de vloedstroom onderbroken. In eerste instantie is, om het zandtransport langs de kust niet te onderbreken, een deel van de dam op palen aangelegd. De openingen waren echter onvoldoende groot om de vloedstroom door te laten. Door het brandingsstroomtransport verzandde de haveningang. Tegenwoordig is de Appelzak ebgedomineerd en loopt de geul alleen langs het Belgische deel van de kust. De geul migreert in landwaartse richting, maar wordt door de (verlengde) strandhoofden enkele honderden meters uit de kust gehouden (AWZ, 1994). De resterende ebgeul langs de Nederlandse kust was tot uitbreiding van de haven van Zeebrugge aan sedimentatie onderhevig. Een groot deel van de suppleties op de Belgische kust kwam in de Appelzak terecht. Na uitbreiding van de haven van Zeebrugge is de geul gaan eroderen.

Ten noorden van de havendammen zijn grote ontgrondingskuilen ontstaan. Ten oosten en ten westen van de havendammen is eenzelfde patroon zichtbaar als bij de havendammen in IJmuiden: sedimentatie vlak naast de dammen en erosie verderop. Ten oosten van de havendammen ontstaat een vloedschaar door de Paardenmarkt. De schaar is georiënteerd in de richting van de Appelzak.

Het sediment dat vrijkomt uit de haven van Zeebrugge en de vaargeul wordt deels gestort op de Paardenmarkt. Het fijne materiaal wordt door golven en stroming uitgewassen en komt deels weer in de haven van Zeebrugge terecht (Haecon, 1999). Het grofste materiaal blijft op de Paardenmarkt achter die daardoor in hoogte toeneemt en uitbreidt in noordelijke en oostelijke richting. Een deel van het geërodeerde stortmateriaal wordt in noordoostelijke richting getransporteerd en veroorzaakt een verondieping van de zuidflank van de Scheur/Wielingen, zie figuur 2.4 (Haecon, 1983 in Haecon, 1999). Tevens komt een deel van het sediment in de Appelzak terecht. Dit sediment wordt onder normale omstandigheden in zuidwestelijke richting getransporteerd hetgeen resulteert in aanzanding van het gebied direct ten oosten van de havendammen van de haven van Zeebrugge. Tijdens stormcondities wordt sediment via de brandingsstroom over strand en vooroever in noordoostelijke richting getransporteerd (Haecon, 1999).

Door uitbouw van de haven van Zeebrugge is de stroming in een gebied van ongeveer 100 km² veranderd (Haecon, 1999). In het gebied rondom de Pas van 't Zand is de vloedstroom versterkt, waardoor de Bol van Heist aan het verdwijnen is. Dit zal geen effect hebben op de golfaanval op de Belgische kust. Golven komend vanaf de Noordzee breken namelijk eerst op de Vlakte van de Raan en vervolgens op de Paardenmarkt.

Langs de kust loopt een opgewekte brandingsstroom in noordoostelijke richting. Het Zwin is aan het verlanden, gevoed door deze brandingsstroom. Dit proces is al eeuwen aan de gang. Het verlandingsproces is aanvankelijk vertraagd door de aanleg van de strandhoofden, doch later weer versterkt door de zandsuppleties langs de Belgische kust. Tegenwoordig vormt het Zwin geen barrière meer voor het brandingstransport omdat deze sluffer in een vergevorderd stadium van verlanding verkeert.

De Belgische en Zeeuwsch-Vlaamse kust wordt verdedigd door paalrijen en strandsuppleties. Langs de Belgische en Nederlandse kust komen zandgolven voor die de ontwikkeling op lange termijn sterk beïnvloedt (Roelse en Maranus, 1985). Momenteel vindt langs een deel van de Zeeuwsch-Vlaamse kust aanzanding plaats, waardoor er hier minder gesuppleerd hoeft te worden. Tussen Cadzand en de Zwarte Polder is de kust aan erosie onderhevig. Hier wordt periodiek gesuppleerd. Er kan dus gesteld worden dat lokaties tussen Cadzand en Breskens die positief beïnvloed worden door zandgolven niet gesuppleerd worden.

De Belgische kust is aan erosie onderhevig. Om deze erosie te compenseren zijn veel strandsuppleties uitgevoerd. De meeste suppleties zijn uitgevoerd in samenhang met de uitbreiding van de haven van Zeebrugge en eroderen in de meeste gevallen snel. Een groot deel van het zand komt in de Appenzak terecht. Uit de waargenomen verdieping van de Appenzak in de periode 1986-1993 blijkt dat het zand er niet blijft liggen.

In figuur 2.5 is aangegeven welke processen domineren en daarmee de ontwikkeling van het gebied bepalen.

Resumé

De ontwikkelingen van de kusten van Zeeuwsch-Vlaanderen en België worden gedomineerd door natuurlijke processen zoals zandgolven en door menselijke ingrepen als strandsuppleties en paalrijen. De ontwikkeling van het gebied tussen de kust en de Scheur/Wielingen wordt gedomineerd door de aanleg en de onderhoudswerkzaamheden van de haven van Zeebrugge en de toegangseulen.

2.4 Zuidwest Walcheren

De ontwikkeling in dit gebied is uitgebreid beschreven in Arends et al. (1998). Het gebied omvat de geulen en banken ingesloten door de kust van zuidwest Walcheren en de denkbeeldige lijn door de Geul van de Walvischstaart en de Deurloo-West. De invloed van menselijk handelen is in dit gebied, uitgezonderd de kust, veel minder sterk dan in het zuidelijke deel van de Westerscheldmond. De kust van zuidwest Walcheren is voor het grootste deel beschermd door paalhoofden loodrecht op de kust en harde bolwerken bij Westkapelle, Zoutelande en Vlissingen, die door strandsuppleties onderhouden worden. In figuur 2.6 zijn de migraties van de dieptelijnen weergegeven.

Begin deze eeuw bestond de Rassen uit een grote ondiepte tussen de Deurloo-oost, het Oostgat en de Noordzee. In een getijdesysteem waar geulen en platen naast elkaar aanwezig zijn, blijven platen bestaan door een dynamisch evenwicht tussen afbraak, als gevolg van golven, en opbouw door de getijstroom tijdens rustige omstandigheden. Berekeningen hebben aangetoond dat door het verruimen van de Scheur/Wielingen het getij door het Oostgat is afgenomen (Svasek, 1998). De opbouwende kracht van de Rassen is daardoor afgenomen. Dit proces is mogelijk de oorzaak van de in de loop van de tijd afgenomen omvang van de Rassen. Vanwege de kleinere omvang van de Rassen is een kortsluitgeul ontstaan tussen de Deurloo-oost en het Oostgat: de Geul van de Rassen. Hierdoor is de verbinding van de Rassen met het Bankje van Zoutelande verbroken. De afgelopen twintig jaar is de Rassen in oostelijke en noordelijke richting gemigreerd, waardoor de geul van de Rassen aan de noordzijde is versmald en tevens in de richting van de kust is opgeschoven.

De geulen en banken voor de kust van Walcheren lijken in noordoostelijke richting te draaien rond een punt ten westen van Vlissingen. Het noordelijke deel van het Oostgat, de Rassen, de noordelijke uitloop van de Geul van de Rassen en het bankje van Zoutelande zijn de laatste decennia in duidelijk noordoostelijke richting gedraaid. De Nolleplaat en de Sardijnegeul liggen in de buurt van het draaipunt en zijn minder ver verplaatst. Tevens is deze draaiing sterker naarmate de gebieden verder van de kust liggen.

Deze ontwikkeling heeft mogelijk te maken met de teloorgang van de Deurloo. Begin jaren '70 is de splitsing van de Deurloo in twee geulen, Deurloo-West en Deurloo-oost, voltooid. De Deurloo oost is in noordoostelijke richting gedraaid en sluit aan op de Geul van de Rassen.

De noordelijke uitloop van het Oostgat draait om de vastgelegde kust bij Westkapelle. De noordelijke uitloop van de geul van de Rassen wordt door de Rassen in noordoostelijke richting geduwd en komt "klem" te zitten tussen het Bankje van Zoutelande en het Oostgat aan de ene kant en de Rassen aan de andere kant. De uitloop van de Geul van de Rassen wordt daardoor smaller. Door de druk van de Geul van de Rassen wordt het noordelijke deel van het Bankje van Zoutelande smaller. Het is onbekend waarom de smalle noordelijke punt van het Bankje van Zoutelande in stand blijft, wel is bekend dat op de huidige locatie van het Bankje van Zoutelande sinds twee eeuwen een ondiepte aanwezig is.

Het Bankje van Zoutelande, de Rassen en de Elleboog beschermen de kust doordat golven uit zuidwestelijke richting op deze banken breken.

Het Oostgat wordt in zijn migratie richting de kust sterk belemmerd door de resistente geologische ondergrond. De kustverdedigingen zorgen ervoor dat het Oostgat uit de kust blijft. De geologische laag en de kustverdedigingen zijn er waarschijnlijk de oorzaak van dat de druk van de Geul van de Rassen op het Bankje van Zoutelande niet resulteert in een verplaatsing van het Oostgat naar de kust.

In figuur 2.7 zijn boven beschreven processen weergegeven in een kaart van het deelsysteem.

Resumé

De kust van zuidwest Walcheren is door kustverdedigingen en resistente lagen in de ondergrond vastgelegd. Het banken- en geulengebied ten zuidwesten van de kust van Walcheren is de afgelopen 25 jaar in noordoostelijke richting gedraaid. De migraties zijn in het noordelijke deel en ver van de kust het grootst. Deze draaiing is mogelijk het gevolg van de teloorgang van de Deurloo.

2.5 Scheur/Wielingen

Dit deelsysteem bestaat uit drie geulen, de Wielingen, het Scheur en de Pas van 't Zand, die sterk worden beïnvloed door baggerwerkzaamheden. Deze geulen zijn de belangrijkste toegangsgeulen voor scheepvaart naar de haven van Zeebrugge en de Westerschelde. In figuur 2.8 zijn de migraties weergegeven.

De morfologische ontwikkelingen die optreden in dit geulensysteem worden gedomineerd door baggerwerkzaamheden. Sinds deze begin jaren 60 in het Scheur gestart zijn, is de geul Scheur/Wielingen ebgedomineerd. Na het tot stand komen van verbinding van de Wielingen met Het Scheur is het westelijke deel van de Wielingen noordelijker komen te liggen. De migratie van het Scheur in het westelijk deel van de Wielingen worden vertraagd door de resistente onderlaag van Boomsche Klei van ca. 3 m dik (van der Spek, 1997). Het oostelijke deel van de Wielingen migreert in zuidelijke richting, waardoor het lijkt of de geul een lichte meandering vertoont. Oorzaak hiervan zijn mogelijk de baggerwerkzaamheden in de Wielingen. Omdat het centrale deel van de Wielingen wordt verdiept, wordt het debiet door de geul groter waardoor de geulomvang toeneemt. De laatste decennia is een verdieping en verbreding van de Wielingen zichtbaar in het deel westelijk van de Paardenmarkt. Ter hoogte van de Paardenmarkt is een versmalling van de geul zichtbaar als gevolg van de stortingen op de Paardenmarkt. De verdieping van het Scheur is volledig toe te schrijven aan de uitgevoerde verdiepingswerkzaamheden.

Modelberekeningen geven een vervroeging van het getij bij Vlissingen van 25 sec per 10 jaar ten gevolge van de verdieping van de Scheur/Wielingen. Dit komt overeen met de gemeten gegevens, een vervroeging van het getij bij Vlissingen van ca. 2 minuten sinds 1971/1972 (Svasek, 1997).

De Pas van 't Zand is uitgegraven na uitbreiding van de haven van Zeebrugge. De oude geul door de ondiepte 't Zand, had onvoldoende diepgang voor de scheepvaart. Het merendeel van het vrijgekomen sediment (75%) is gestort op de Droogte van Schooneveld. Door uitbreiding van de haven en uitdiepen van de geul is de resultante van het sedimenttransport in het gebied voor de haven veranderd van een eb- naar een vloedoverschot (Haecon, 1983 in Haecon, 1999). Dit is waarschijnlijk de oorzaak geweest van de afbraak van de Bol van Heist (zie paragraaf 2.2).

Resumé

De ontwikkelingen van de geulen in dit deelgebied van de Westerscheldemonding worden volledig gestuurd door baggerwerkzaamheden.

2.6 Raan

De Raan is het grootste deelsysteem in de monding. Het bevat de Vlake van de Raan, inclusief de Droogte van Schooneveld en de geulen Spleet, Geul van de Walvischstaart en de Deurloo West. Aan de noordwest rand wordt het gebied begrensd door de Noordzee (-20 m NAP lijn). De Vlake van de Raan is in de laatste 30 jaar stabiel. De geulen Deurloo-West en Walvischstaart vormen na 1985 één geul (zie figuur 2.1). Deze twee geulen zijn in noordwestelijke richting gemigreerd door splitsing van de Deurloo. De grootste veranderingen van deze geulen zijn vorige eeuw en begin deze eeuw opgetreden. Daarna zijn alleen veranderingen opgetreden in de ligging van de Spleet. Deze zijn te zien in figuur 2.8.

De huidige Spleet is het restant van de oude, omvangrijkere geul. Door het verdiepen van de Wielingen is de Spleet minder stroom gaan trekken en is de geul sterk in omvang afgenomen. De stroomtrekkende functie is overgenomen door het Scheur. Voor zover gesproken kan worden over een meergeulensysteem in de Raan (Scheur/Wielingen en Spleet), neigt dit deel van het systeem naar een één-geulsysteem door de teloorgang van de Spleet.

De noordwest rand van de Raan, met uitzondering van de zuidwest punt, erodeert als gevolg van golfaanval vanuit de Noordzee. De zuidwest punt bouwt uit door het storten van sediment uit de haven van Zeebrugge en de scheepvaartgeulen.

De functie van het bankengebied de Raan als golfbreker is erg belangrijk voor de achterliggende kusten en de ingang van de Westerschelde.

Resumé

De Raan met de bijbehorende geulen is de laatste decennia een stabiel gebied. De belangrijkste veranderingen treden op in de zuidwestelijke punt en zijn het gevolg van stortingen in dat gebied. De stroomtrekkende functie van de Spleet is overgenomen door de verdiepte Scheur/Wielingen.

3 Toekomstige morfologische ontwikkelingen

3.1 Inleiding

Op de schaal van de gehele Westerscheldemond bekeken, is over de afgelopen 25 jaar, de Westerscheldemonding stabiel te noemen. De ligging van de grootste geulen en ondiepere delen, Scheur/Wielingen - Vlake van de Raan - Oostgat, is slechts in zeer geringe mate veranderd. De geconstateerde morfologische veranderingen in de Westerscheldemond zijn zowel door menselijk handelen als natuurlijke processen bepaald.

In dit hoofdstuk wordt een prognose gedaan van de toekomstige morfologische ontwikkelingen van de Westerscheldemond. Als uitgangspunt bij deze voorspelling is gekozen voor de morfologische situatie in 1995, omdat gegevens tot rond 1995 gebruikt zijn voor de fenomenologische studies naar historische ontwikkelingen in de Westerschelde (Van der Slikke, 1999, 1998, 1997). Voor het maken van prognoses, die een periode beslaan van 25 jaar (1995 - 2020), zijn vijf ontwikkelingsscenario's bekeken:

- voortzetting huidig beleid.
- verandering autonome aansturing.
- verandering ingrepen in de Westerschelde.
- verandering ingrepen monding.
- algemene verdieping.

Deze scenario's worden in paragraaf 3.2 besproken. In paragraaf 3.3 wordt nader ingegaan hoe de voorspellingen tot stand zijn gekomen en welke haken en ogen er aan vastzitten. De ontwikkelingen bij voortzetting van het huidige beleid worden in paragraaf 3.4 gegeven. De voorspellingen voor de andere scenario's worden in paragraaf 3.5 besproken.

3.2 Beschrijving scenario's

Voortzetting huidig beleid

In dit scenario worden de ontwikkelingen beschreven die optreden bij continuering van de menselijke ingrepen en ontwikkelingen in de autonome aansturing zoals die de afgelopen decennia zijn gedaan of waargenomen. Het getij is de motor voor de morfologische processen. Veranderingen in het getij zullen daarom doorwerken in de morfologie. Het getij in de monding is een interactie tussen het getij op de Noordzee en het getij in de Westerschelde. Daarom moeten ontwikkelingen in zowel de Noordzee als de Westerschelde in beschouwing worden genomen. Verwacht wordt dat het getij op de Noordzee verandert als gevolg van een algemene zeespiegelstijging van 20 cm/eeuw, een stijging van 5 cm over 25 jaar. In de getijstations Cadzand en Westkapelle is in de afgelopen 100 jaar bijna geen verandering in getijslag geconstateerd. De toename van de getijslag bedraagt in deze stations respectievelijk 0% en 1% (Witteveen en Bos, 1999). In Vlissingen is een toename van 3% per eeuw opgetreden. Dit is echter vooral het gevolg van morfologische veranderingen in de Westerschelde. De verwachting voor de monding is dat de toename van de getijslag niet meer dan 1% per eeuw zal bedragen. Bij dit scenario wordt uitgegaan van het vaargeulonderhoud van de 48'/43' verruiming van de Westerschelde, gecombineerd met het huidige stortbeleid

(storten van baggerspecie in het midden en westelijk deel) en een zandwinning van 2,6 Mm³/jaar in de Westerschelde.

De huidige ingrepen in de monding worden voortgezet: storten op de huidige locaties, Paardenmarkt en Vlake van Schooneveld, met hoeveelheden zoals die in de afgelopen 6 jaar hebben plaatsgevonden en onderhouden van de kust door zowel zachte (suppleren) als harde verdedigingen. In tabel 3.1 is een overzicht gegeven van de beschouwde scenario's. De gearceerde vakken geven de wijziging ten opzichte van het huidige beleid aan.

Veranderingen autonome aansturing

Klimatologische modellen geven aan dat in het meest extreme geval rekening gehouden moet worden met een versterkte zeespiegelstijging van 80 cm/eeuw ("Keerzijde van ons Klimaat" en Rijkswaterstaat 1990). De zeespiegelstijging verloopt enigszins exponentieel zodat voor de hier beschouwde periode van 25 jaar een stijging van 15 cm verwacht mag worden.

In het huidige beleid is de toename van de getijslag voor de gehele monding op 1% gezet. Omdat de herkomst van de toename niet bekend is zal een extra toename van de getijslag als een apart scenario worden meegenomen. Bekeken is een toename van 4% per eeuw, evenals bij de zeespiegelstijging een verviervoudiging.

Verandering ingrepen Westerschelde

Bij deze scenario's wordt het morfologische effect van een verandering in zandwinning en een verdere verdieping van de Westerschelde op de monding bekeken. Momenteel wordt een nieuw zandwinbeleid opgesteld. Bij de prognose worden twee extreme varianten meegenomen: stoppen met zandwinning en een verdubbeling van de huidige zandwinhoeveelheid tot 5 Mm³/jaar. Daarnaast wordt een verdere verdieping van de hoofdvaargeul in de Westerschelde tot NAP -18 m bekeken. De vrijkomende baggerspecie wordt in de Westerschelde gestort.

Verandering ingrepen monding

Ook in de monding zullen in de toekomst ingrepen gedaan worden. Deze studie beperkt zich tot de mogelijkheden van verdieping van de geul Scheur/Wielingen tot NAP -20 m, het jaarlijks storten van 1 Mm³ sediment voor de kust van Zeeuwsch-Vlaanderen en de aanleg van een driehoekig eiland ter grootte van 18 km² op de Raan. De oriëntatie van die driehoek komt overeen met de oriëntatie van de Raan.

Algemene verdieping

Het gecombineerde effect van een verdieping van de Westerschelde tot NAP -18 m en van de Scheur/Wielingen tot NAP- 20 m is voor dit scenario onderzocht. Een deel van de vrijkomende baggerspecie (jaarlijks 1 Mm³) wordt voor de kust van Zeeuwsch-Vlaanderen gestort.

Tabel 3.1: Scenario's kwantitatief samengevat (arcering geeft wijziging t.o.v. het huidige beleid weer)

| Scenario's voor prognose 2020. | Relatieve zss. (m/eeuw) | Toename getijslag in monding (%/eeuw) | Zandwin. WS (Mm ³ /j.) | Vaargeul Westerschelde | Storten in monding NL (Mm ³ /j.) | Vaargeul monding | Eiland in zee (km ²) |
|--|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|---|------------------|----------------------------------|
| Uitgangssituatie beleid eind 1998, na verdieping '48/'43 van de WS. | | | | | | | |
| Voortzetting huidig beleid | | | | | | | |
| Uitgangssituatie* | 0.2 | 1** | 2.6 | - | - | - | - |
| Veranderingen autonome aansturing | | | | | | | |
| Toename zeespiegelstijging | 0.8 | 1 | 2.6 | - | - | - | - |
| Toename getijslag | 0.2 | 4 | 2.6 | - | - | - | - |
| Verandering ingrepen Westerschelde | | | | | | | |
| Geen zandwinning WS | 0.2 | 1 | 0 | - | - | - | - |
| Toename zandwinning WS | 0.2 | 1 | 5 | - | - | - | - |
| Verdiepen WS | 0.2 | 1 | 2.6 | tot 18 m -NAP | - | - | - |
| Verandering ingrepen monding | | | | | | | |
| Storten langs kust Z. Vlaanderen | 0.2 | 1 | 2.6 | - | 1 | - | - |
| Verdiepen Wielingen | 0.2 | 1 | 2.6 | - | - | tot 20 m -NAP | - |
| Eiland op de Raan | 0.2 | 1 | 2.6 | - | - | - | 18 |
| Algemene verdieping | | | | | | | |
| Monding en Westerschelde | 0.2 | 1 | 2.6 | tot 18m -NAP | 1 | tot 20m -NAP | - |

*Onderhoud Westerschelde (Mm³/jaar) bij verdieping '48/'43: 13 (Mm³/jaar)

** Getijslag bij Vlissingen hydraulische toestand begin 1991: 3.90 (m)

3.3 Het maken van een voorspelling

Aanpak

Het maken van een morfologische voorspelling voor het Westerschelde mondingsgebied is geen eenvoudige zaak. Hiervoor kunnen verschillende redenen worden aangedragen:

- Er vindt sedimentuitwisseling plaats tussen de monding en de aangrenzende gebieden. Ingrepen en ontwikkelingen in aangrenzende gebieden kunnen gevolgen hebben voor de monding: getij verandering en zeespiegelstijging in de Westerschelde hebben invloed op de ontwikkelingen in de monding. Baggeren en storten in de Westerschelde heeft gevolgen voor de ontwikkelingen in de monding. De kennis over het verloop van deze interacties tussen de monding en aangrenzende gebieden is nog beperkt.
- De morfologische ontwikkelingen zijn het gevolg van een interactie tussen de waterbeweging, het sedimenttransport en de bodemligging. Dit zijn complexe processen en spelen zich af op verschillende tijd- en ruimteschalen. Aanpassing van de morfologie als gevolg van geleidelijk veranderende autonome aansturingen en/of abrupte menselijk ingrepen zijn daarom niet makkelijk te onderscheiden. De proceskennis ontbreekt nog en een procesmodel is dan ook nog niet operationeel voor het berekenen van morfologische ontwikkelingen.

De voorspellingen zijn daarom beperkt gebleven tot kwalitatieve beschrijvingen, uitspraken die meer de richting of orde grootte van de ontwikkelingen geven dan exacte of kwantitatieve ontwikkelingen.

De volgende aanpak is gekozen: scenario 1, voortzetting huidige beleid, is gemaakt door de ontwikkelingen die in de verschillende fenomenologische studies zijn beschreven te extrapoleren op basis van expert judgement. De beschrijving beslaat dan ook de verschillende subsystemen zoals beschreven in hoofdstuk 2. Ook zijn de gevolgen voor de zandbalans in kaart gebracht. Dit laatste is mede gebeurd op basis van een (empirische) evenwichtsrelatie. In onderstaande subparagraaf wordt hier nader op in gegaan. Hierdoor is het maar heel beperkt mogelijk om rekening te houden met de gevolgen van menselijk handelen en interacties tussen aangrenzende gebieden voor de zandbalans. De getallen die genoemd worden geven alleen indicatie van mogelijke gevolgen en moeten zeker met de benodigde voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. De voorspellingen voor de ander scenario's zijn gemaakt op basis van expert judgement en de evenwichtsrelatie.

Evenwichtsrelaties

Evenwichtsrelaties kunnen gebruikt worden om de gevolgen van een veranderende autonome aansturing voor de zandbalans in te schatten.

Het zandvolume in een buitendelta is afhankelijk van het getijvolume. Een toename in getijvolume resulteert in een toename van het zandvolume van de buitendelta en visa versa (Eysink, 1990). Hierbij moet opgemerkt worden dat de onderliggende empirische relatie opgesteld is op basis van buitendelta's die veel kleiner zijn dan het mondingsgebied van de Westerschelde. De buitendelta zal dus sediment gaan importeren als het getijvolume toeneemt en exporteren als het getijvolume afneemt. Dit is tegengesteld aan de te verwachten ontwikkelingen in de Westerschelde bij veranderend getijvolume. Voor geulen in een estuarium geldt dat de inhoud van de geulen toeneemt als het getijvolume toeneemt en visa versa (Eysink, 1990). Als het getijvolume toeneemt zal de Westerschelde sediment exporteren en sediment importeren als het getijvolume afneemt, afhankelijk van de hoeveel sediment die het intergetijdengebied kan bergen of leveren. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de monding en de Westerschelde als communicerende vaten kunnen werken bij veranderingen in het getijvolume. Hoe dit precies verloopt en de invloed van menselijk handelen hierop is niet bekend.

Het hierboven beschreven 'proces' zal zichtbaar moeten zijn in de zandbalansen van de monding en Westerschelde omdat er als gevolg van de 18,6 jarige getijcyclus een variatie in de getijslag is en daarmee ook in het getijvolume. In de grootschalige zandbalans en waterinhoud van de monding komen fluctuaties voor in het volume (Van der Slikke, 1997 en 1998; De Jong, 2000). Van der Slikke (1998) beschrijft tussen 1970 en 1975 een toename in het zandvolume van de monding, tussen 1975 en 1985 een sterke afname van het zandvolume en tussen 1985 en 1990 geen verandering in het zandvolume (zie § 2.2). In De Jong (2000) worden van enkele lodingsvakken in de monding de verandering in volume bekeken. Deze komen overeen met het beeld dat Van der Slikke (1998) schetst. Gegevens over de 18,6 jarige cyclus (Witteveen en Bos, 1999) laten een maximum in deze cyclus zien rond 1978 en een minimum rond 1969 en 1987; Tussen '69 en '78 neemt de getijslag toe en tussen '78 en '87 neemt de getijslag af. Het beeld uit de zandbalans voor de monding sluit hier bij aan. De Jong (2000) rapporteert dat het volume tussen '87 en '95 weer toeneemt. De monding lijkt daarmee te voldoen aan de empirische relatie. Informatie over de volume veranderingen in Westerschelde (De Jong, 2000; Israël en Huijs, 1998) geven aan dat de evenwichtsrelaties gelden voor het

Westerschelde estuarium. Toenames in de zandinhoud van de Westerschelde vallen samen met afnames van het zandvolume in de monding en visa versa. Hierbij moet duidelijk gesteld worden dat de menselijke ingrepen invloed hebben op de zandbalans en dit beeld verstoren, zeker als afzonderlijke gebieden en periodes worden bekeken. Nader onderzoek hierna is wenselijk.

Het is niet bekend hoe een toe/afname in getijverschil a.g.v. de 18,6 jarige cyclus exact doorwerkt in het getijvolume in de monding en Westerschelde. De getijslag varieert met 4 % a.g.v. deze cyclus. Getijvolume metingen ontbreken of zijn te onnauwkeurig om een getijslag verandering te vertalen in een bepaalde getijvolume verandering. Israël en Huijs (1998) stellen dat het getijvolume (TV) bij Vlissingen ongeveer met hetzelfde percentage fluctueert als de getijslag. Uitgaande van deze laatste veronderstelling kan m.b.v. de empirische relatie uit Eysink (1990) berekend worden met welke ordegrootte het zandvolume (V_{zand}) van de monding zal veranderen. De relatie luidt:

$$V_{\text{zand}} = 6.57 * 10^{-3} * TV^{1.23}$$

Het getijvolume op de lijn Zeebrugge-Westkapelle (raai 14), dit is ongeveer het midden van de buitendelta, bedraagt ongeveer 4750 Mm³. Bij een verandering van 2% in de getijslag/volume blijkt de verandering in zandvolume ongeveer 45 Mm³ te zijn. Dit komt in orde grootte goed overeen met de getallen die Van der Slikke (1998) geeft. Het zandvolume neemt tussen 70-75 met 64 Mm³ toe. Bij een afname van 4% zou de buitendelta ongeveer 100 Mm³ sediment kwijt willen raken en zal export optreden. In de periode 75-85 neemt het zandvolume van de buitendelta af met 120 Mm³, qua orde grootte vergelijkbaar met de voorspelde hoeveelheid op basis van empirie. In die periode gaan we van een maximum naar een minimum in de 18,6 jarige cyclus en dus een afname in het getijvolume.

De gevolgen van een zeespiegelstijging voor het getijvolume in de monding zijn niet duidelijk. De gevolgen van een zeespiegelstijging voor het getijvolume in de Westerschelde is afhankelijk van de ontwikkeling van het intergetijdengebied (Eysink, 1990). Indien het intergetijdengebied de zeespiegelstijging niet bij kan houden dan zal een toename van het getijvolume optreden en als gevolg daarvan zullen de geulen ruimer worden. Dit resulteert in een export van de Westerschelde naar de monding. Indien de platen de zeespiegelstijging wel kunnen bijhouden dan treedt er geen toename van het getijvolume op. Dan zijn de geulen te ruim omdat de gemiddelde waterstand is toegenomen. Dit zou dan resulteren in een import van sediment van de monding naar de Westerschelde. Hoe de Westerschelde in werkelijkheid zal reageren is nog niet bekend. Mogelijk kan het intergetijdengebied bij een geringe zeespiegelstijging de stijging wel bijhouden en zal import plaatsvinden. Bij een extreme stijging misschien niet en zal dit resulteren in export.

Aannames

De volgende uitgangspunten zijn gebruikt bij de berekeningen voor de zandbalans.

De monding beslaat het gebied tussen de Walcherse kust en Westkapelle, de Vlaamse kust tot Blankenberghe en verder begrensd door de lijn Vlissingen-Breskens en op de Noordzeerand is de lijn van NAP-20 m genomen. Het totale oppervlak van de monding is dan ongeveer 580 km².

Het is niet mogelijk om zeespiegelstijging in een getijvolume verandering om te rekenen. Voor de monding wordt daarom gesteld dat de gehele bodem (geulen en ondiepe gebieden) de zeespiegelstijging wil compenseren. Als de gemiddelde

waterstand 5 cm stijgt in 25 jaar dan zal de bodem ook 5 cm omhoog willen komen. De gevraagde hoeveelheid zand wordt bepaald door de oppervlakte van de monding en de grootte van de zeespiegelstijging.

Een getijslag toename van $x\%$ resulteert in een toename van $x\%$ van het getijvolume. De verandering in zandvolume is berekend op basis van de relatie zoals door Eysink (1990) gegeven. Het getijvolume in 1995 voor de monding is op 4750 Mm^3 gesteld.

In de empirische relatie van Eysink (1990) wordt geen onderscheid gemaakt tussen geulen en ondiepere delen op de buitendelta. Op basis van de empirische relaties voor geulen zouden de geulen moeten verruimen bij een toename van het getijvolume. In deze studie is er van uitgegaan dat de hele monding de relatie van Eysink (1990) volgt. De geulen beslaan slechts 15% van het totale oppervlak.

3.4 Ontwikkeling Westerscheldemondbij voortzetting huidige beleid.

Per deelgebied worden de verwachte morfologische ontwikkelingen beschreven. In figuur 3.1 zijn met plussen (toename c.q. vooruitgang) en minnen (afname c.q. achteruitgang) de verwachte ontwikkelingen in 2020 weergegeven.

Kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen

De ontwikkeling van de kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen wordt sterk gestuurd door de activiteit rondom de haven van Zeebrugge. Door uitbreiding van de havendammen is de stroming in het gebied sterk veranderd. De ontwikkelingen die hierdoor in gang gezet zijn, zullen zich de komende decennia voortzetten. Dit betekent dat de erosie van de Appenzak zal doorgaan waardoor de Belgische kust aan erosie onderhevig blijft. De erosie van de Belgische kust wordt tevens beïnvloed door het onderbroken sedimenttransport langs de kust (a.g.v. aanleg van de havendammen). Afwisseling in erosie en sedimentatie langs de kust wordt bepaald door de aanwezige zandgolven. Dit zandgolfgedrag is door zandsuppleties echter minder herkenbaar. De Bol van Heist zal naar verwachting geheel verdwijnen door de veranderde hydraulische condities.

Behalve de veranderde stromingscondities zijn ook de storthoeveelheden van invloed op de ontwikkeling van het gebied. Er van uitgaande dat de storthoeveelheden op de Paardenmarkt gelijk zullen zijn aan die van de afgelopen 6 jaar ($6 \text{ Mm}^3/\text{j}$), zal in de periode 1995-2020 150 Mm^3 sediment op de Paardenmarkt gestort zijn. Ter vergelijking, over de periode 1960-1996 is 162 Mm^3 sediment gestort. Verwacht wordt dat de ontwikkelingen die de afgelopen 25 jaar gesignaleerd zijn zich voort zullen zetten. De Paardenmarkt zal in hoogte toenemen en vormt zo een bescherming tegen golfaanval op de kust. Daarnaast zal de uitbreiding in noordelijke en oostelijke richting zich voortzetten. Dit resulteert in een toename van de sedimentatie van de zuidflank van de Wielingen. Een deel van het gestorte sediment zal via de Appenzak in zuidwestelijke richting getransporteerd worden en sedimenteren in de oostelijke oksel van de havendam.

Het is niet duidelijk of de ontgrondingskuilen voor de haven verder zullen groeien. Waarschijnlijk hebben deze hun maximum bereikt. Het is wel mogelijk dat de vloedgeul door de Paardenmarkt verder uitbreidt en mogelijk aansluiting vindt bij de Appenzak. Als dat gebeurt zal de stroming door de Appenzak sterk

veranderen. Dit zal ook zeker invloed hebben op de erosie van de Belgische kust.

Het Zwin zal verzanden indien de hoofdgeul niet door menselijk ingrijpen wordt open gehouden door bijvoorbeeld baggeren. Ook het achterliggende gebied zal dan verzanden. De aanzanding is de afgelopen tijd toegenomen waardoor verwacht mag worden dat de benodigde baggerinspanning om de geul open te houden zal toenemen.

Zuidwest Walcheren

Langs de zuidwestkust van Walcheren hebben zich in de afgelopen decennia -met name door de vorming van de Geul van de Rassen- enkele belangrijke veranderingen voltrokken. In tegenstelling tot de ontwikkelingen voor de Vlaamse kust zijn deze voornamelijk het gevolg van natuurlijke processen. Uitzondering hierop is de kust van zuidwest Walcheren. Deze is vastgelegd door verdedigingswerken. Door de verdedigingswerken, de periodieke zandsuppleties en de harde geologische ondergrond zullen hier weinig morfologische veranderingen in optreden. De geconstateerde draaiing van het deelgebied in noordoostelijke richting zal voortzetten. Van noord naar zuid betekent dit, dat de uitloop van de Geul van de Rassen in noordoostelijke richting geduwd wordt door migratie van de Rassen. De doorsteek van de Geul van de Rassen tussen de Rassen en het Oostgat zal blijven bestaan en zal waarschijnlijk iets naar het zuiden verplaatsen. Het Oostgat kan vanwege de kustverdediging niet verder kustwaarts migreren waardoor de migratie van het Bankje van Zoutelande in noordoostelijke richting tegengehouden wordt. De Nolleplaat zal eveneens in noordoostelijke richting migreren, maar zal naar verwachting de Sardijngeul niet dicht duwen.

Hoofdgeul

De baggerinspanningen in de Scheur/Wielingen domineren de ontwikkelingen in dit gebied. Onderdeel van de 48'/43'verruiming is het verruimen van de Scheur/Wielingen. In tegenstelling tot de Westerschelde, waar alleen drempels verdiept moeten worden, moet bij een verruiming van het Scheur de geul over de hele lengte verruimd worden. Dit heeft grote consequenties voor de hydraulica in het gebied. Modelberekeningen van Svasek (1998) hebben aangetoond dat verondieping van het Scheur resulteert in een vertraging van het getij bij Vlissingen van 25 seconden in 10 jaar. Door het omgekeerde, een verdieping, zal het getij versnellen. Andere berekeningen geven aan dat de stroomsnelheden zullen toenemen bij een verdieping (Arends et. al., 1999), waardoor de geul een erosieve geul wordt. Dit beeld wordt bevestigd door het feit dat momenteel geen onderhoudsbaggerwerk in het Scheur plaatsvindt. Het Scheur snijdt een kleilaag aan waardoor de erosie naar verwachting traag zal verlopen. Dit proces kan versnellen als bij een verdere verruiming deze kleilaag wordt weggebaggerd.

Het effect van de verdieping van de Scheur/Wielingen op het Oostgat is onbekend. Berekeningen van Svasek geven aan dat bij een verdieping van het Scheur, de snelheden in het Oostgat zullen afnemen. Deze zelfde berekeningen geven aan dat door verruiming van de Westerschelde de snelheden in het Oostgat zijn toegenomen waardoor netto de stroomsnelheden in het Oostgat gelijk gebleven zijn. De berekeningen door Arends et. al. (1999) geven het tegengestelde aan. Snelheidstoename in de Scheur/Wielingen gaan gepaard met snelheidstoename in het Oostgat. Door deze toename neemt het debiet door het Oostgat toe waardoor mogelijk de druk op de kust versterkt wordt, met kusterosie als gevolg.

Door de verruiming van het Scheur zal de geul Scheur/Wielingen het gebied gaan domineren. De Spleet zal verder in omvang afnemen en zal uiteindelijk verdwijnen.

Raan

De Raan is het meest stabiele deelsysteem in de Westerscheldemonnd. De veranderingen die hier zullen optreden zijn waarschijnlijk traag. Over het platengebied is geen dominante stroomrichting aanwezig zodat het ontstaan van grote geulen onwaarschijnlijk lijkt. De geulen Deurloo-West en de Geul van de Walvischstaart nemen waarschijnlijk niet in omvang toe en zullen net als het deelsysteem Zuidwest Walcheren in oostelijke richting migreren. De veranderingen langs de zuidelijke rand van het bankengebied zullen sterk afhangen van de ontwikkelingen in de aangrenzende Scheur/Wielingen. Verwacht wordt dat de scherpere afbakening door de geulverdieping zich voortzet, waardoor de interactie minder wordt. De kans op de vorming van ebscharen lijkt daarom af te nemen.

Continuering van onderhoudsbaggerwerken zal ook in dit deelsysteem veranderingen teweeg brengen. Door sedimentstortingen zullen de stortlocaties verhogen. Het gestorte sediment zal door de golven en het getij getransporteerd worden en zal uiteindelijk grotendeels weer in de geulen en de havens worden afgezet. De Droogte van Schooneveld zal verder uitbreiden. Door verdieping van de Scheur/Wielingen is de functie van de Spleet verdwenen. Deze geul zal waarschijnlijk verdwijnen. Speciestortingen ter plaatse kunnen dit proces versnellen.

Zandbalans

Bij het huidige vaarwegonderhoud in de Westerschelde wordt in model berekeningen voorspeld dat de Westerschelde in de komende 25 jaar zo'n 35 Mm³ sediment (ongeveer 1,5 Mm³/j) naar de monding exporteert (Helvert, 1999). Hierbij is **geen** rekening gehouden met de mogelijke gevolgen van zeespiegelstijging of een toename van de getijslag in de Westerschelde op de grootte van deze export. In 25 jaar zal door zeespiegelstijging de gemiddelde waterstand in de monding met 5 cm omhoog gaan. Dit resulteert in een zandvraag in de monding (geulen en ondiepe gebieden vragen sediment) van ongeveer 30 Mm³. Een getijslag toename van 0,25% in 25 jaar resulteert in een zandvraag in de monding van ongeveer 5 Mm³. Theoretisch volgt hieruit dat er netto geen zandvraag zal ontstaan in de monding. Export vanuit de Westerschelde compenseert de zandvraag in de monding. Hierbij is nog geen rekening gehouden met effecten van de natuurlijke variatie in de getijslag waardoor ook een niet te verwaarlozen aanbod en vraag van zand in de tijd ontstaat en andere onzekerheden zoals aangegeven in § 3.3.

3.5 Ontwikkelingen bij veranderingen in huidig beleid en autonome aansturing

De ontwikkelingen bij voortzetting van het huidige beleid dienen als referentie situatie. Alleen verschillen of veranderingen in morfologische ontwikkeling t.o.v. dat scenario zullen hier worden aangegeven. Indien niets wordt vermeld zullen de morfologische ontwikkelingen zoals in § 3.4 beschreven plaatsvinden.

Verandering autonome aansturing

In dit scenario worden de gevolgen van een extreme stijging van de zeespiegel van 80 cm/eeuw en een extreme toename van de getijslag van 4 % per eeuw ieder afzonderlijk beschreven. Voor de beschouwde periode van 25 jaar betekent dit een zeespiegelstijging van 15 cm en getijslagtoename van 1 %.

Alle andere aspecten van het huidige beleid blijven constant en dus ook de daarmee samenhangende sedimentvraag en -aanbod.

Zeespiegelstijging

Door een zeespiegelstijging van 15 cm ontstaat in de hele monding (geulen en ondiepe gebieden) een zandvraag van ongeveer 90 Mm³. Vanuit de Westerschelde komt ongeveer 35 Mm³ (Helvert, 1999). De toename van de getijslag met 0,25% levert een vraag van 5 Mm³ op (huidige beleid, zie tabel 3.1). Netto resulteert dit in een vraag van 60 Mm³ sediment.

Bij een dergelijke sterke stijging van de zeespiegelstijging zal de kusterosie toenemen. Dit leidt tot een verhoogt kustonderhoud.

Getijslag

Door de getijslag toename van 1% in 25 jaar ontstaat een vraag van ongeveer 25 Mm³. De zeespiegelstijging van 5 cm levert een vraag van 30 Mm³. Met een import van 35 Mm³ vanuit de Westerschelde resulteert dit in een netto vraag van 20 Mm³ sediment in de monding.

Verandering ingrepen Westerschelde.

In dit scenario wordt gekeken wat de effecten zijn voor de zandvraag en aanbod in de monding indien de zandwinning in de Westerschelde wordt stopgezet, dan wel verdubbeld of indien er een verdere verdieping wordt uitgevoerd.

Het stoppen van de zandwinning had volgens ESTMORF-berekeningen slechts een lichte toename van de export uit de Westerschelde tot gevolg (Helvert, 1999). De baggerinspanning domineert de morfologische ontwikkeling op deze termijn. De ontwikkelingen zoals beschreven in § 3.4 (voortzetten huidige beleid) zullen niet veel veranderen.

Het verdubbelen van de zandwinning zal naar verwachting eveneens een klein effect hebben. De export uit de Westerschelde naar de monding zal licht afnemen. Hoeveel is niet bekend. De ontwikkelingen zoals in § 3.4 beschreven zullen op deze termijn ook bij dit scenario optreden.

Bij een nieuwe verdieping van de Westerschelde en continuering van het '48/'43 stortbeleid zal naar verwachting de export toenemen. Door een verdere verruiming van de vaargeul wordt het systeem ruimer omdat de geuldelen tussen de drempels zullen uitruimen. Hierdoor ontstaat een overschot. Door de huidige verdieping ontstaat een overschot van ca 80 Mm³ (Dekker, 1994). Dit zal deels in het systeem geborgen worden (ophogen van platen en nevengeulen) en zal deels door zandwinning verwijderd worden. Het restant zal op termijn naar de monding exporteren. Hierdoor zal er een sedimentoverschot in de monding ontstaan. Hoeveel is niet bekend. Aanvullende modelberekeningen zouden een orde van grootte kunnen geven.

Verandering ingrepen Westerscheldemonding

Beschouwd zijn de gevolgen van het storten van 1 Mm³/j zand langs de kust van Zeeuws Vlaanderen, een verdieping van de Scheur/Wielingen met 2 m, en de aanleg van een driehoekig eiland op de Raan met zijden van 6 km.

Bij het storten van materiaal voor de kust van Zeeuwsch Vlaanderen zullen de prognoses zoals gedaan voor scenario 1 niet veel veranderen. Het storten zal afhankelijk van de keuze van de locatie, de kusterosie kunnen compenseren. Indien het materiaal niet afkomstig is vanuit de monding betekent dit een overschot op de zandbalans van 25 Mm³. In principe zou het systeem dat weg

willen werken maar gezien de natuurlijke fluctuaties in de getijslag en zandbalans is dit maar een kleine hoeveelheid.

Bij een verdieping van de Scheur/Wielingen met 2 m moet de hele geul over een lengte van 35 km en 0,5 km breedte gebaggerd worden. Hierdoor ontstaat een sedimentaanbod van 35 Mm³ sediment. Dit moet gestort worden in de monding. Een deel kan mogelijk verdwijnen door export naar de omringende gebieden, een ander deel zal terugstromen naar de geul en door onderhoudsbaggerwerk weer weggehaald moeten worden en bij storten op de Paardemarkt zal dat gebied zich meer kunnen ophogen en/of uitbreiden.

De ontwikkelingen in de zandbalans komen over een met de situatie zoals beschreven in 3.4. Het zand dat door de verdieping in het Nederlandse deel van de Wielingen wordt gewonnen kan bij het kustonderhoud van Zeeuwsch-Vlaanderen worden gebruikt.

De effecten van een eiland op de Raan zijn moeilijk te kwantificeren. Afhankelijk van de locatie mag in meer of mindere een verhoogde weerstand voor de getijstrooming worden verwacht. De gevolgen voor de monding en Westerschelde zijn niet bekend. Nader onderzoek is hiervoor nodig.

Algemene verdieping

Als gevolg van een nieuwe verdieping van de Westerschelde zal een sedimentoverschot in de monding ontstaan t.o.v. de situatie bij voortzetting huidige beleid (geen overschot of tekort) omdat verwacht wordt dat de export vanuit de Westerschelde zal toenemen. Hoe groot het overschot zal worden is niet bekend. Alleen nader onderzoek kan hier een antwoord opgeven.

Bij een verdieping van de Scheur/Wielingen ontstaat een sedimentaanbod van 35 Mm³ sediment. Dit moet gestort worden in de monding. Een deel kan mogelijk verdwijnen door export naar de omringende gebieden, een ander deel zal terugstromen naar de geul en door onderhoudsbaggerwerk weer weggehaald moeten worden en bij storten op de Paardemarkt zal dat gebied zich meer kunnen ophogen en/of uitbreiden.

Het storten van materiaal voor de kust van Zeeuwsch Vlaanderen kan de kusterosie compenseren, afhankelijk van de keuze van de locatie. Het materiaal dat bij de verdieping van de Wielingen vrijkomt kan hier eventueel voor gebruikt worden.

Het verdiepen van Wielingen en Westerschelde heeft waarschijnlijk grote invloed op de voortplanting van het getij. Dit heeft gevolgen voor de morfologische ontwikkelingen. Deze zijn echter nog niet gekwantificeerd.

3.6 Conclusie

De voorspelling van de morfologische ontwikkelingen tot 2020, bij voortzetting van de huidige ingrepen en autonome aansturing, zijn gemaakt door de uitkomsten van fenomenologische studies op basis van expert judgement te extrapoleren en door een (empirische) evenwichtsrelatie te gebruiken. Geconcludeerd wordt dat er tot 2020 geen andere morfologische ontwikkelingen zullen plaatsvinden of beheersproblemen ontstaan dan diegene die in de afgelopen 25 jaar (1970-1995) aan de orde zijn geweest.

Voor de andere onderzochte scenario's zijn de ontwikkelingen vergelijkbaar met die bij voortzetting van het huidige beleid. Met de huidige inzichten en kennis

ontstaat alleen bij een versnelde zeespiegelstijging een significant grote vraag naar zand in de monding. Nader onderzoek is nodig om de bedreiging hiervan in kaart te brengen. De kusterosie zal bij versnelde zeespiegelstijging eveneens toenemen. Meer onderhoud is dan zeer waarschijnlijk.

Het maken van voorspellingen van de morfologische ontwikkeling voor de lange termijn is moeilijk gebleken. Natuurlijk processen en menselijk ingrepen interfereren met elkaar, morfologische processen zijn complex en er vindt sedimentuitwisseling tussen monding en aangrenzende gebieden plaats waarvan de grootte en richting onzeker is. Tevens is onze kennis van het mondingssysteem nog te beperkt; er zijn weliswaar veel fenomenologische studies gedaan, waardoor historische ontwikkelingen bekend zijn, maar proceskennis die voorspellingen beter mogelijk maken is nog maar in beperkte mate aanwezig. In een poging dit laatste op te vangen is een empirische relatie gebruikt om de voorspelling voor de zandbalans tot 2020 te maken. Deze empirische relatie lijkt goed op te gaan omdat de invloed van de 18,6 jarige getijcyclus tot uiting lijkt te komen in de zandbalans van de monding tussen 1970 en 1990. Maar ook het baggeren en storten heeft invloed op de zandbalans ontwikkelingen. Empirische relaties zijn geldig voor systemen die in een natuurlijk evenwicht verkeren en ingrepen zoals baggeren en storten verstoren de natuurlijke processen.

De fenomenologie van de Westerscheldemond vormt de basis van onze kennis over de toestand van dat morfologische systeem. Die kennis is noodzakelijk, maar niet voldoende gebleken om kwantitatieve voorspellingen te kunnen doen. Er zal meer aandacht besteed worden aan het relateren van menselijke ingrepen (baggeren-storten) aan natuurlijke variaties in getijvolume (18,6 jarige getijcyclus). In de toekomst zal verdere proceskennis moeten worden ontwikkeld, voornamelijk gericht op de uitwisseling van sediment tussen aangrenzende gebieden.

4 Kansen en bedreigingen

4.1 Inleiding

In het beleid van Directie Zeeland voor de Westerschelde en monding staan drie thema's centraal: *Varen*, *Veiligheid* en *Natuurlijkheid*. Rode draad binnen *Varen* is het garanderen van een veilige en vlotte doorvaart naar de havens. Binnen *Veiligheid* is dit het waarborgen van de veiligheid tegen overstromen. Binnen *Natuurlijkheid* staat het behouden of versterken van natuurlijke processen en het ecosysteem voorop, onder voorwaarde dat de beleidseisen binnen *Varen* en *Veiligheid* gewaarborgd blijven. Voor de termen *Varen* en *Natuurlijkheid* worden respectievelijk ook wel de termen *Toegankelijkheid* en *Veerkracht* gebruikt.

In het voorgaande hoofdstuk zijn, voor een vijftal scenario's, prognoses van de morfologische ontwikkelingen tot 2020 gemaakt. Deze voorspellingen zijn nader bekeken om te bezien of er kansen en bedreigingen te identificeren zijn voor deze drie beleidsthema's. Tevens is bekeken of er kansen en bedreigingen op socio-economisch vlak zijn aan te wijzen. Morfologische ontwikkelingen hebben invloed op de beheersaspecten. Deze kunnen zowel positief als negatief worden ervaren. Als een morfologische ontwikkeling zich gunstig ontwikkelt, of als daartoe een menselijke ingreep voorhanden is, dan wordt gesproken van een kans. Een negatieve ontwikkeling wordt als bedreiging geïdentificeerd. In paragraaf 4.2 worden die kansen en bedreigingen, per morfologisch deelsysteem en voor de gehele monding, bij voortzetting van het huidige beleid gegeven. In paragraaf 4.3 worden de kansen en bedreigingen beschreven voor de situatie waarin wel veranderingen optreden in het huidige beleid of in de randvoorwaarden. Ter verduidelijking zal echter eerst nog worden ingegaan op beheersaspecten binnen deze thema's en worden voorbeelden gegeven van wat mogelijke kansen en bedreigingen zijn.

De belangrijkste beheersingreep binnen *Varen* is het baggeren en storten om een vaargeul op diepte te brengen en te houden. Bij het identificeren van kansen en bedreigingen moet gekeken worden of de vlotte en veilige doorvaart wordt bedreigd en of er bijvoorbeeld kansen zijn om het baggeren en storten te optimaliseren. Voorbeelden van kansen zijn: het krijgen van efficiëntere stortplaatsen of gebruik maken van natuurlijke processen om de vaargeul op diepte te houden. Bedreigingen zijn ontwikkelingen waarbij de aanzanding in vaargeulen en/of ankerplaatsen zal toenemen of het ontstaan van dwarsstromingen voor de schepen.

Het in goede staat houden van de primaire waterkering (bv. strand en duinen) stuurt het beheer binnen het thema *Veiligheid*. Het voorkomen van een sterke stijging van de hoogwaterstanden bij deze waterkeringen speelt ook een rol. Voor het in stand houden van stranden en duinen in de Westerscheldemonding wordt op veel plaatsen gebruik gemaakt van zandsuppleties. Voorbeelden van kansen zijn: gebaggerd materiaal als goedkoop suppletiemiddel inzetten, het verminderen van de erosieve werking van golven op de kust, of het gebruik maken van natuurlijke processen, bv. golfwerking, om gestort of gesuppleerd zand naar eroderende stranddelen te krijgen. Bedreigingen zijn een versnelde stijging van de waterstanden (zeespiegelstijging) en het toenemen van de stroomsnelheden van een geul die dicht langs de kust loopt (bijvoorbeeld in het Oostgat) waardoor de kusterosie toeneemt.

Het streven van het beheer binnen *Natuurlijkheid* is om de natuurlijke ontwikkelingen en processen, onder bepaalde voorwaarden, zoveel mogelijk vrijheid te geven. Hierbij kan worden gestuurd op het behouden of verkrijgen van een bepaald areaal of variatie in fysiotopen zoals geulen, platen, ondiepe gebieden en intergetijdengebieden of het duurzaam handhaven van de duinenkust. Het benutten van kansen om de diversiteit van een ecosysteem te behouden of te bevorderen en om de morfologische processen zoveel mogelijk hun gang te laten gaan, staat voorop.

Op socio-economisch gebied kan gedacht worden aan gevolgen of mogelijkheden voor de recreatie (bijvoorbeeld op het strand), de economische ontwikkeling (bijvoorbeeld door het bouwen van een eiland in zee of door het commercieel zandwinnen) of de gezondheid (bijvoorbeeld door het vrijkomen van vervuilde bodems).

4.2 Kansen en bedreigingen bij voortzetten huidig beleid

Kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen

In dit deel van de monding zijn in de afgelopen 25 jaar veel ingrepen gedaan (bijvoorbeeld uitbreiding van de haven van Zeebrugge). Dit heeft tot sterke veranderingen in de hydraulica geleid waardoor veel morfologische veranderingen zijn opgetreden. Mede door kennis van die waargenomen veranderingen konden voor dit deelsysteem een groot aantal kansen en bedreigingen geïdentificeerd worden.

De Appenzak, een geul gelegen tussen de Paardenmarkt en de Belgische kust, verdiept zich. Dit vormt een bedreiging voor de recreatie en veiligheid omdat er mogelijk een sterkere kusterosie zal optreden. Behalve door de strandversmalling kan de recreatie ook worden bedreigd door vrijkomende munitie, dat, in dat deel van de Belgische kust na de 1^e Wereldoorlog, veel is gedumpt. Door erosie komt dit mogelijk bloot te liggen. Door het benutten van de Appenzak als stortlocatie kan men voorkomen dat de munitie bloot komt te liggen en mogelijk kan het gestorte materiaal als onderwatersuppletie gaan fungeren zodat dit een vermindering van de kusterosie tot gevolg heeft.

Het gebied tussen de Paardenmarkt en de Haven van Zeebrugge zal zich verdiepen waardoor dit gebied als een nieuwe, gemakkelijk te bereiken stortlocatie gebruikt kan worden voor materiaal uit de Pas van het Zand.

Door stortingen zal de Paardenmarkt zich verhogen en uitbreiden richting het oosten (Cadzand). Dit biedt de kans dat de kusterosie in België vermindert omdat er meer golfdemping zal plaatsvinden waardoor de brandingsstroming kleiner wordt. Door deze uitbreiding kan dus het benodigde onderhoud voor de handhaving van de kustlijn van Zeeuwsch-Vlaanderen verminderen. Echter, een deel van het onderhoud wordt medebepaald door het verloop van de zandgolven langs deze kust. Volgens Lambeek (1991) heeft de uitbouw van de haven van Zeebrugge in 1985 veel invloed op het zandgolfmechanisme omdat de stroming in de Appenzak is veranderd. De effecten hiervan voor de zandgolven zijn onduidelijk. De gevolgen voor het kustonderhoud blijven daarmee ook onzeker.

Het Zwin is de laatste decennia sterk verzand. Hier hebben zandsuppleties langs de Belgische kust een belangrijke rol in gespeeld. Het kunstmatig aangebrachte zand is in de richting van het Zwin getransporteerd door de brandingsstroming. Het Zwin wordt opengehouden door het wegbaggeren van het ingevangen zand. Het trachten te verminderen van de suppleties, zonder de veiligheid in het gedrang te laten komen, kan de verzanding van het Zwin verminderen.

Zuidwest Walcheren

De morfologische ontwikkelingen tot 2020 zullen niet veel anders zijn dan de ontwikkelingen in de afgelopen 25 jaar. Er konden geen kansen en bedreigingen geïdentificeerd worden. Het baggeren van sediment aan de oostzijde van het Bankje van Zoutelande om de druk van het Oostgat op de kust van Walcheren te verminderen wordt niet als kans aangemerkt. Zelfs na een storm (seizoen '97/'98) waren slechts zeer geringe hoeveelheden zand ten oosten van het Bankje van Zoutelande gesedimenteerd (Van der Slikke, 1999a). Indien tijdens stormen zand wordt afgezet dan ruimt de getijstroom het sediment kennelijk weer snel op. Bij het winnen of baggeren van zand bij het bankje van Zoutelande moet zelfs goed opgepast worden. Bij zandwinning in 1993 is te veel zand gewonnen waardoor een doorbraak van het Bankje kon plaatsvinden omdat zich een stroomgeul ontwikkelde (RWS, 1997). Dit kan dwarsstromingen genereren die een bedreiging zijn voor de scheepvaart in het Oostgat.

Raan

Dit gebied kan als het meeste stabiele in de afgelopen 25 worden betiteld, de omvang van het gebied en de ligging van de dieptelijnen veranderen slechts in geringe mate. Tot 2020 zal dit ook zo blijven. Dit biedt de mogelijkheid een studie naar de aanleg van een windmolenpark of eiland in zee in dit gebied te overwegen. De effecten van een eiland in zee op de waterbeweging in de monding en aangrenzende gebieden is echter nog niet bekend.

Hoofdgeul

De ontwikkelingen tot 2020 zullen worden gedomineerd door de baggeractiviteiten om de vaargeulen, Scheur/Wielingen en Pas van 't Zand, te onderhouden. Tevens is geconstateerd dat het westelijk deel van de Wielingen de afgelopen 25 jaar door natuurlijke processen is verdiept. Dit is een reactie op het kunstmatig verdiepen van het Scheur. De Wielingen past zich hierop aan. Het is geen trend die zich doorzet tot 2020.

Het watervoerend vermogen van de Scheur/Wielingen zal toenemen waardoor er veranderingen in het getij bij de lijn Vlissingen-Breskens gaan optreden. Dit levert mogelijk kansen en bedreigingen op voor de ontwikkelingen in de Westerschelde. Waarschijnlijk komt er meer water de Westerschelde in waardoor de geulen een grotere inhoud willen gaan aannemen. De baggerinspanning kan hierdoor verminderen. Aan de andere kant vormt dit mogelijk ook een gevaar voor de veiligheid, aangezien de waterstanden in de Westerschelde dan ook kunnen gaan stijgen. Echter, de ontwikkelingen in de Westerschelde worden voor het grootste deel gestuurd door de ingrepen die in het estuarium zelf zijn of worden gedaan. Een voorbeeld daarvan is de laatste verdieping. De gevolgen van de ontwikkelingen in de geul Scheur/Wielingen voor de Westerschelde worden gering geacht in verhouding tot de ingrepen in de Westerschelde zelf.

Er is sprake van een interactie tussen de Wielingen en het Oostgat. Op dit moment is niet genoeg kennis voorhanden om deze interactie te kunnen aangeven. Gericht onderzoek hiernaar is belangrijk omdat de ontwikkelingen in het Oostgat invloed hebben op de kustontwikkeling van zuidwest Walcheren en daarmee mogelijk een bedreiging vormen voor de kust.

4.3 Kansen en bedreigingen bij verandering randvoorwaarden en ingrepen

In het algemeen kan gesteld worden dat de gevolgen voor de morfologie en zandbalans bij veranderende autonome aansturing en/of ingrepen overeenkomstig zijn met die bij voorzetting van het huidige beleid. Kansen en bedreigingen zullen grotendeels hetzelfde zijn. De gevolgen voor de zandbalans zijn gering: die zijn kleiner dan de waargenomen fluctuaties in de zandbalans. Alleen een extreme zeespiegelstijging geeft grote verschillen ten opzichte van het huidige beleid. Er ontstaat een grote zandvraag in de monding en de kusterosie neemt sterk toe.

Het grootste probleem is de onzekerheid in de voorspellingen door beperkte proceskennis. Er is mogelijk geen rekening gehouden met alle morfologische processen en interacties tussen de Westerscheldemond en de aangrenzende gebieden. Het is daarom niet zinvol om de kansen en bedreigingen voor elk scenario aan te geven. Het geheel zal daarom in meer algemene termen moeten worden beschreven. Er is een onderverdeling gemaakt in de beschrijving naar de beleidsthema's: Veiligheid, Varen, Natuurlijkheid.

Veiligheid

De grootste bedreiging wordt gevormd door een versnelde zeespiegelstijging. Doordat de waterstand bij de primaire waterkering sneller stijgt zal deze onder druk komen te staan: de duinafslag zal toenemen. Een toename van het benodigde kustonderhoud (strand-, duinsuppleties) is zeer waarschijnlijk. Het hiervoor benodigde sediment kan mogelijk beschikbaar komen bij een verdieping van de Wielingen; een kans om goedkoop aan suppletiemateriaal te komen. De geschiktheid van dat sediment voor suppletie is niet bekend. Het ligt, economisch gezien, het meest voor de hand dit materiaal te gebruiken voor suppleties van de Zeeuws-Vlaamsche kust omdat deze dicht bij de Wielingen ligt. Het (gedeeltelijk) storten van sediment, dat bij een verdieping van de geul Scheur/Wielingen vrijkomt, op de Paardemarkt kan een positief effect hebben op de Zeeuwsch-Vlaamse kust.

Varen

Bedreigingen voor de scheepvaart zijn niet naar voren gekomen. Het ontstaan van gevaarlijke dwarsstromingen is onwaarschijnlijk. De Wielingen is breed en er zijn geen kortsluitgeulen die in de vaargeul uitmonden waardoor eventuele dwarsstromingen kunnen ontstaan. Als er al door veranderingen in getijvolume sedimentatie in de geulen optreedt dan zal deze gering zijn. Een bedreiging voor de scheepvaart is dus niet aan de orde.

Een mogelijk bedreiging voor de ontwikkelingen in de Scheur/Wielingen is het wegbaggeren van de resistente kleilaag in het Scheur. Deze vertraagt om dit moment de insnijding. De ontwikkelingen die plaatsvinden in de hoofdgeul als deze laag wordt weggebaggerd zijn onbekend. Dit moet nader onderzocht worden.

Natuurlijkheid

De Westerscheldemonding is grootschalig gezien vrij stabiel. Grote verandering in het areaal aan fysiotopen/habitats ligt niet voor de hand. Alleen de duinen zullen onder druk komen te staan door zeespiegelstijging. Andere kansen of bedreigingen konden niet geïdentificeerd worden.

4.4 Conclusie

Op grond van de opgedane kennis kan gesteld worden dat een versnelde zeespiegelstijging een van de grootste bedreigingen vormt voor de kustbeheerder. De druk op de kust zal dan toenemen.

Het wegbaggeren van resistente kleilagen wordt niet als een gunstige ontwikkeling aangemerkt. Deze bedreiging doet zich voor bij de geul Scheur-Wielingen. Een van de grootste kansen is om het zand dat afkomstig is uit de verdiepingswerkzaamheden te gebruiken in een onderwatersuppletie. Onderzocht zal moeten worden of dit zand op termijn daadwerkelijk ten goede zal kunnen komen aan het BKL-volume van Zeeuwsch-Vlaanderen.

Afsluitend wordt gesteld dat door de stabiliteit van de Raan er zich mogelijkheden voordoen voor het intensiever gebruik van de Raan. Een studie naar de aanleg van een windmolenpark of eiland zal de haalbaarheid echter nog moeten aangeven.

5 Kennisbehoefte / witte vlekken

De fenomenologie van de Westerscheldemond vormt de basis van onze kennis over de toestand van dat morfologische systeem. Die kennis is noodzakelijk, maar niet voldoende gebleken om kwantitatieve voorspellingen te kunnen doen. Er zal in de toekomst aanvullende proceskennis moeten worden ontwikkeld zodat deze in combinatie met het begrip van de fenomenologie kan leiden tot kwalitatief betrouwbaardere voorspellingen.

In verschillende onderzoeken (bijvoorbeeld Van der Slikke 1997; De Jong 2000) is gebleken dat in de gehele monding een verlies van zand optreedt, tussen 1975 en 1995 gemiddeld 1,3 (cm/j), ondanks dat er zand vanuit de Westerschelde naar de monding komt. Mogelijk is er sprake van een overschot in de monding dat het systeem wil weg werken. Overigens is niet uit te sluiten dat de monding het sediment levert aan gebieden waar sprake is van een tekort. Wat de gevolgen zijn voor de functie van de monding als zandleverancier voor de Westerschelde is niet duidelijk. Voor het doen van kwantitatieve voorspellingen zal een modelinstrumentarium moeten worden ontwikkeld.

In dit rapport zijn de volgende aandachtspunten / acties voor vervolgstudie naar voren gekomen:

- het kwantificeren van de sedimentbalans van de Westerscheldemonding in relatie tot de aangrenzende gebieden, waaronder de Noordzee en de Westerschelde;
- het in verband brengen van die zandbalans aan voortgaande processen als zeespiegelstijging;
- het onderscheiden van de zand- en slibinvloed;
- het kwantificeren van het gedrag van een onderwatersuppletie voor Zeeuwsch-Vlaanderen;
- het relateren van menselijke ingrepen, zoals baggeren, aan variaties in getijvolume, bijvoorbeeld de 18,6 jarige cyclus;
- het uitwisselen van sediment tussen aangrenzende gebieden van de Westerscheldemonding op verschillende tijdschalen;
- het verklaren van de getijslagvergroting;
- het relateren van de waterbeweging in het Oostgat met die in de Wielingen;
- het relateren van een verruiming van de geul Scheur/Wielingen aan de waterbeweging;
- het vaststellen van de invloed van menselijk handelen - in termen van aanpassingstijdschalen - bij het toepassen van empirische relaties;
- het ontwikkelen van een modelinstrumentarium voor het berekenen van hydraulische en morfologische effecten van de aanleg van bijvoorbeeld een eiland in de monding.

6 Literatuurlijst

6.1 Referenties

Arends, A.A., P. Roelse en D.W. Dunsbergen, (1998). Zuidwestkust van Walcheren, Studie kustontwikkeing ten behoeven van kusthandhaving. Werkdocument RIKZ/AB-98.841. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Arends, A.A. en D. C. van Maldegem, (1999). Grootschalige effecten op de Westerschelde door havenuitbreiding Vlissingen (eindrapport). Werkdocument RIKZ/AB-99817x. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

AWZ, (1994). Evolutie van strand en vooroever te Knokke-Zoute. Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen. Dienst der Kusthavens. Eurosense.

Cauwenberghe, Van, (1966). Hydrografische analyse van de Scheldemonding ten oosten van de meridiaan 3°05' tot Vlissingen. Het ingenieursblad, 35,17, 565-576.

De Jong, J.E.A (2000). Zandbalans Westerschelde en mond, 1955-1999. Notitie NWL-00.16, concept

Dekker, (1994). Verdieping westerschelde: Getijberekeningen Scaldis100. Rapport AX 94.042 en aanvullende memo d.d. 16 -10-1995. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directie Zeeland.

Eysink, W.D., (1990). Morphologic response of tidal basins to changes. Proceedings of the International Conference on Coastal engineering, pp. 1948-1961.

Haecon, (1983). Sedimentbalansen en slibcirculaties: vorderingsnota bij de voorspellingen in T6-toestand. ZBO-83.1415. NV Haecon.

Haecon, (1999). Literatuurstudie morfologie Belgische kust, NML 1856 00023.

Israël, C.G. en S.W.E. Huijs, (1998). Zandbalans Westerschelde, 1994-1997. Notitie NWL-98.15

Keerzijde van ons klimaat, Ministerie van verkeer en waterstaat, Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek/ IMAU

Lambeek, J.J.P. (1991). Zandgolven in Zeeland.GEOPRO rapport 91.30. Universiteit Utrecht, vakgroep Fysische Geografie.

Looff, A.P. de en H.J Verhagen, (1986). Mondingsgebied Westerschelde: getijstromen, golfgegevens, bodemligging en morfologische processen. GWWS-86.404. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Dienst Getijdewateren.

Roelse, P. en J.W. Maranus, (1985). Prognose kustontwikkeing Zeeland 1990-2090, beschrijving methoden en resultaten fase 2. Nota GWWS-88.409. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Dienst Getijdewateren.

RWS, (1997). Notitie NWL-97.07, RWS Directie Zeeland.

Rijkswaterstaat, (1990). Wassend water - Gevolgen van het broeikas-effect voor de waterstaat, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, GWAO 90.015.

Slikke, M.J. van der, (1999a). Invloed van stormen op de zuidwestkust van Walcheren - Uitwerking van de meetcampagne 1997/1998. IMAU-rapport R99-06.

Slikke, M.J. van der, (1999b). Morfologische ontwikkeling Westerscheldemonding tot 2020 - een fenomenologische visie. IMAU-rapport R99-16.

Slikke, M.J. van der (1998). Grootschalige en interne zandbalans Westerscheldemonding (1969-1993). IMAU-rapport R98-05.

Slikke, M.J. van der (1997). Grootschalige zandbalans Westerscheldemonding (1969-1993). Een inventarisatie van de dieptegegevens (1800-1996). IMAU-rapport R97-18.

Spek, A.J.F. van der, (1997). Tidal asymmetry and long-term evolution of Holocene tidal basins in The Netherlands; simulation of palaeo-tides in the Schelde estuary. *Marine Geology* 141 (1997) 71-90.

Svasek, (1997). Getijanalyse Westerscheldemond. Deel 1 en deel 2.

Svasek, (1998). De rol van het getij in de morfologische ontwikkeling van de Westerscheldemond: een modelmatige onderbouwing. Project no. 1034.

Vroon, J., C. Storm en J. Coosen (1997). Westerschelde, stram of struis. Eindrapport van het project Oostwest, een studie naar de beïnvloeding van fysische en verwante biologische patronen in een estuarium. Rapport RIKZ-97.023.

Witteveen en Bos, (1999). Getijanalyse Westerschelde.

6.2 Lijst van verschenen rapporten in het kader van KUST2000: Westerscheldemond

Arends, A., P. Roelse en D.W. Dunsbergen, 1998
Zuidwestkust van Walcheren - studie kustontwikkeling ten behoeve van kustlijnhandhaving.

RIKZ/AB-98.841x. Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rijkswaterstaat
Croque, J. 1998.
Onderzoek naar de oorzaak van de erosie aan de zuidwestkust van Walcheren.
Deel 1: tekst, deel 2: figuren.
RIKZ/OS-98.876x. Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rijkswaterstaat

DHV Milieu en Infrastructuur BV, 1998.
Kustlijnvoorspelling van zuidwest Walcheren - Voorspelling maximale erosie.
IS-NW981093, oktober 1998.

Dunsbergen D.W. en A. de Gelder, 1998.
Lange termijn gedrag Westerscheldemond. Workshops 21/04/97 en 09/01/98.
RIKZ/OS -98.107x. Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rijkswaterstaat.

-
- Enckevort, I. van, 1996.
Morfologisch onderzoek Westerschelde monding.
Deel 1 : Inventarisatie beschikbare literatuur over en metingen in de Westerschelde monding.
Deel 2 : Morfologische ontwikkeling van de Westerschelde monding sinds 1800.
R 96-21. Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht.
- HAECON, 1998
Literatuurstudie morfologie Belgische kust.
NML1856/00023, HAECON Harbour & Engineering Consultants
- Roelse, P., 1997
Effecten zandwinning in de Westerschelde.
RIKZ/AB-97.822x. Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rijkswaterstaat.
- Slikke, M.J. van der, 1997.
Grootschalige zandbalans van de Westerschelde monding (1969-1993) : Een inventarisatie van de dieptegegevens (1800 - 1996).
R97-18. Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht.
- Slikke, M.J. van der, 1998a.
Grootschalige en interne zandbalans Westerschelde monding (1969-1993).
R98-05. Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht.
- Slikke, M.J. van der, 1998b.
Morfologische parameterisatie Westerscheldemondd : Oostgat/Deurloo geulencomplex.
R98-07. Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht.
- Slikke, M.J. van der, 1999a
Invloed van stormen op de zuidwestkust van Walcheren - Uitwerking van de meetcampagne 1997/1998
R99-06. Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht.
- Slikke, M.J. van der, 1999b.
Twee kortsluitgeulen - een vergelijking tussen Oostgat en Krabbengat.
R99-11. Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht.
- Slikke, M.J. van der, 1999c.
Morfologische ontwikkeling Westerscheldemondding tot 2020 - een fenomenologische visie.
R99-16. Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht.
- Spek, A.J.F. van der, 1997.
De geologische opbouw van de ondergrond van het mondingsgebied van de Westerschelde en de rol hiervan in de morfologische ontwikkeling.
NITG 97-284-B. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.
- Svasek, 1995.
KUST*2000 : Definitiestudie Westerscheldemondd (no.1).
RKZ-256, Ingenieursbureau Svasek B.V.

Svasek, 1997a.
Getijanalyse Westerscheldemond deel 1,
Getijanalyse Westerscheldemond deel 2.
Project no. 1029. Ingenieursbureau Svasek B.V.

Svasek, 1997b.
Oriëntatiefase getijreconstructie Westerscheldemond.
Project no. 1034. Ingenieursbureau Svasek B.V. december 1997

Svasek, 1998.
De rol van het getij in de morfologische ontwikkeling van de
Westerscheldemond: een modelmatige onderbouwing.
Project no. 1034. Ingenieursbureau Svasek B.V. juni 1998

Svasek, 1999.
Berekeningen waterbeweging en zandtransport Westerscheldemond
Project no. 1090, maart 1999. Ingenieursbureau Svasek B.V.

Waterloopkundig Laboratorium, 1997
Morfologische Interactie Westerschelde Estuarium en het mondingsgebied :
ASMITA-Westerschelde. Een gedragsgeoriënteerd model.
Z2253, Waterloopkundig Laboratorium.

Waterloopkundig Laboratorium, 1999a
Overzichtsmodel Ooster- en Westerschelde - Rooster- en bodemontwerp,
Z2718, Waterloopkundig Laboratorium, oktober 1999

Waterloopkundig Laboratorium, 1999b
Uitbreiding ESTMORF model Westerschelde - afregelen van het
waterbewegingsmodel IMPLIC,
Z2701, Waterloopkundig Laboratorium, december 1999

Figuren