



INSTITUTE FOR MARINE AND ATMOSPHERIC RESEARCH UTRECHT

Bark K

MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING WESTERSCHELDEMONDING TOT 2020
een fenomenologische visie

drs. M.J. van der Slikke

R 99-16



VOORWOORD

De afgelopen drie jaar is er in het kader van het onderzoeksprogramma KUST*2000 onderzoek gedaan naar de morfologie, geologie en de hydraulica van de Westerscheldemonding. Deze onderzoeken zijn door verschillende instituten en ingenieursbureau's uitgevoerd, waaronder de Universiteit Utrecht. In dit rapport worden de verschillende onderzoeken samengebracht en wordt een voorspelling gegeven van de morfologische ontwikkeling van de Westerscheldemonding in 2020. Dit rapport is de afsluiting van fase III van RKZ-574 (onderdeel van K2000*KOP).

Voor de tot standkoming van dit rapport wil ik een aantal mensen bedanken. Allereerst de projectleider van KUST*2000 Daan Dunsbergen (RIKZ-Den Haag) en de projectbegeleider Ad Langerak, Bart Kornman (RIKZ-Middelburg) en mijn begeleiders Aart Kroon en Jan Rik van den Berg voor de discussie tijdens de voortgangsbesprekingen en het commentaar op de tekst. Eveneens wil ik Aline Arends, Piet Roelse van RIKZ-Middelburg en Rob ter Maat en Jan Maranus van Directie Zeeland bedanken. Daarnaast wil ik mijn collegae die mij hebben geholpen met verschillende vragen bedanken. En verder de mensen die niet genoemd zijn maar wel geholpen hebben of advies hebben gegeven.

Annemieke van der Slikke
Utrecht

FIGUREN

- Figuur 2.1. Westerscheldemonding, op basis van lodingen in 1970 (achterin)
Figuur 2.2. Schetsen van het stroombeeld in een denkbeeldig zeegat en buitendelta met een vlakke bodem bij een fase verschil tussen het horizontale getij op open zee en bij de hals van een kwart getijperiode
- Figuur 3.1. De ontwikkeling van de Scheur /Wielingen tot "hoofdgeul" in de periode 1850 –1950 (achterin)
Figuur 3.2. Effecten van zandsuppletie langs de Belgische kust
Figuur 3.3. Effecten van uitbouw Zeebrugge en verdieping geulen
Figuur 3.4. De teloorgang van de Deurloo als "hoofdgeul" in de periode 1820 – 1980
Figuur 3.5. Effecten van menselijke ingrepen op de Zuidwestkust van Walcheren
Figuur 3.6. Effecten van menselijke ingrepen op de Scheur / Wielingen, de Pas van het Zand en de Raan
- Figuur 4.1. Voorspelling morfologische ontwikkeling Westerscheldemonding 2020

BIJLAGEN

- Bijlage A Overzicht suppleties langs de kust van Walcheren, Zeeuwsch-Vlaanderen en België
 Overzicht van menselijke ingrepen in de buitendelta's
 Bagger- en stortgegevens
 Situeringskaart van bagger- en stortlocaties (Haecon, 1999)
- Bijlage B Migratiekaart (Zeeuwsch-) Vlaanderen 1970 → 1997
 Sedimentatie-Erosiekaart (Zeeuwsch-) Vlaanderen 1970 → 1997
 Migratiekaart ZW Walcheren 1970 → 1997
 Migratiekaart Westerscheldemonding 1970 → 1997
 Sedimentatie-Erosiekaart Westerscheldemonding 1970 → 1997
- Bijlage C Scenario's

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	3
1 INLEIDING	5
2 WESTERSCHELDEMONDING	7
2.1 INLEIDING	7
2.2 GEBIEDSAFBAKENING EN MORFOLOGIE	7
2.3 GEOLOGIE	9
2.4 HYDRAULICA	9
2.5 INGREPEN	10
2.6 MORFOLOGISCHE EN HYDRAULISCHE ONTWIKKELING	10
2.6.1 Veranderingen in hydraulica	10
2.6.2 Ontwikkeling van de morfologie	11
2.6.3 Aangrenzende gebieden	11
3 MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING VAN DE SUBSYSTEMEN	13
3.1 INLEIDING	13
3.2 KUST VAN BELGIË EN ZEEUWSCH-VLAANDEREN	14
3.2.1 Algemene beschrijving	14
3.2.2 Morfologische ontwikkeling	14
3.2.3 Denkmodel kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen	21
3.3 ZUIDWESTKUST VAN WALCHEREN	21
3.3.1 Algemene beschrijving	21
3.3.2 Morfologische ontwikkeling	21
3.3.3 Denkmodel Zuidwestkust van Walcheren	24
3.4 SCHEUR / WIELINGEN EN PAS VAN HET ZAND	25
3.4.1 Algemene beschrijving	25
3.4.2 Morfologische ontwikkeling	25
3.4.3 Denkmodel Scheur / Wielingen en Pas van het Zand	27
3.5 RAAN	27
3.5.1 Algemene beschrijving	27
3.5.2 Morfologische ontwikkeling	28
3.5.3 Denkmodel Raan	29
3.6 SAMENHANG TUSSEN DE SUBSYSTEMEN	29
4 VOORSPELLING MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING	31
4.1 INLEIDING	31
4.2 WESTERSCHELDEMOND IN 2020 BIJ HANDHAVING HUIDIGE BELEID	31
4.2.1 Inleiding	31
4.2.2 Subsysteem kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen	31
4.2.3 Subsysteem Zuidwestkust van Walcheren	35
4.2.4 Subsysteem Scheur / Wielingen en Pas van het Zand	35
4.2.5 Subsysteem Raan	35
4.3 BESCHOUWING OVERIGE SCENARIO'S	36
4.3.1 Inleiding	36
4.3.2 Toename van de zeespiegelstijging en toename van de getijslag	36
4.3.3 Verdieping Scheur / Wielingen	37
5 CONCLUSIES	39
LITERATUURLIJST	42

Samenvatting

In de afgelopen vier jaar is in het kader van het onderzoeksprogramma KUST*2000 onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van de Westerscheldemonding. In deze periode zijn verschillende facetten, zoals de geologie, de hydraulica en de morfologie van de monding bestudeerd. De verschillende onderzoeken zijn gebaseerd op literatuur, meetgegevens en modelberekeningen. De fenomenologische interpretatie van waargenomen ontwikkeling tussen 1970 en 1995 op basis van deze onderzoeken is in dit rapport gebruikt om tot een voorspelling te komen van de morfologie van de Westerscheldemonding in het jaar 2020.

De voorspelling van de morfologie van de Westerscheldemonding is tot stand gekomen door de ontwikkeling van vier verschillende subsystemen te beschrijven en mede door gebruik te maken van uitgevoerde KUST*2000 onderzoeken. De verdeling van de vier subsystemen, "Kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen", "Zuidwestkust van Walcheren", "Scheur / Wielingen en Pas van het Zand" en "Raan", is gebaseerd op algemene morfologische kenmerken. Voor deze vier subsystemen zijn denkmodellen gemaakt, die als basis dienen voor de voorspelling van de morfologische ontwikkelingen. De denkmodel geven een beeld van de reactie van een subsysteem op verschillende menselijke ingrepen, de hydraulische condities en de morfologische ontwikkeling.

In de periode 1800 t/m 1970 is de Westerscheldemonding van een drie hoofdgeulen systeem (Deurloo, Wielingen en Oostgat) veranderd in een twee hoofdgeulen systeem (Scheur / Wielingen en Oostgat). Deze verandering speelt zich vooral in het subsysteem "Zuidwestkust van Walcheren" af. De ontwikkelingen vanaf 1970 worden sterk bepaald door de menselijke ingrepen die in de Westerscheldemonding zijn uitgevoerd. Het gaat hierbij onder andere om de verdieping van de Scheur en de Pas van het Zand (begin jaren tachtig) en om de uitbouw van de haven van Zeebrugge (1986).

De belangrijkste ontwikkeling van het subsysteem "**Kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen**" is de ontwikkeling van de Appelzak en het verdwijnen van de zuidelijke tak van de Wielingen. De recente ontwikkelingen zijn sterk bepaald door de uitbouw van de haven van Zeebrugge, de verdieping van de Pas van het Zand en de Scheur, het storten en de grootschalige strandsuppletie. De uitbouw en de verdieping hebben voornamelijk de hydraulische condities van het subsysteem veranderd, terwijl het storten en de suppletie directe effecten hebben op de morfologie. De ontwikkeling van dit subsysteem wordt dus gestuurd door de ontwikkeling van de geulen, deze zijn de hydraulische randvoorwaarden van het systeem. Het noordelijke deel wordt sterk bepaald door het getij in de Scheur, terwijl langs de kuststrook de golfwerking en de Appelzak een belangrijke rol spelen. In het subsysteem "**Zuidwestkust van Walcheren**" is een belangrijke ontwikkeling de splitsing van de Deurloo in een oost- en westelijk deel. Door deze splitsing is de monding van een systeem met drie hoofdgeulen veranderd in een systeem met twee hoofdgeulen. Ook in de recente morfologische ontwikkeling speelt deze splitsing nog een rol. Nog steeds treedt er een migratie van de ondieptes en geulen op in oostelijke richting. De morfologische ontwikkelingen worden gestuurd door de golf- en de getijwerking en worden door de kustverdedigingen en de resistente ondergrond geremd. In het Oostgat speelt de golfwerking bijna geen rol en is het getij dominant. Het subsysteem "**Scheur / Wielingen en Pas van het Zand**" is tot de jaren zestig bepaald door autonome processen, terwijl na de jaren zestig de menselijke ingrepen bepalend zijn voor de morfologische ontwikkeling. Het westelijk deel van de geul, is mede door het ontstaan van de Scheur, in noordelijke richting gemigreerd. Door het baggeren van de Hompels in het oostelijke deel en het verdiepen van de Scheur is de Scheur / Wielingen één geul geworden. De Pas van het Zand is in zijn geheel door mensen bepaald. De recente ontwikkeling van dit subsysteem wordt dus sterk bepaald door het getij en de menselijke ingrepen. De geul ontwikkelt zich nauwelijks meer van naturen. De hellingen van de geulen passen zich aan de nieuwe diepte aan en ook de hydraulische condities veranderen onder invloed van de verdieping. De ontwikkeling van het subsysteem "**Raan**" zijn in vergelijking met de andere subsystemen klein. Dit wordt mede veroorzaakt door het feit dat het getij op de Raan geen dominante richting heeft. Hierdoor kan de golfwerking doorslag geven voor de transportrichting. De golven spelen vooral op de ondiepere delen een belangrijke rol. De veranderingen over langere periode zijn gerelateerd aan de ontwikkeling van de Deurloo. De recente ontwikkelingen vinden vooral in het westelijke deel plaats en worden bepaald door de stortactiviteiten.

De bovenstaande fenomenologische interpretatie van de morfologische ontwikkeling en de kennis van het getij hebben geleid tot een voorspelling van de morfologie in 2020. **Bij voortzetting van het huidige beleid** zal in het subsysteem "Scheur / Wielingen en Pas van het Zand" de ontwikkeling voor een groot deel afhangen van menselijke ingrepen. In vergelijking met de menselijke ingrepen zijn de autonome ontwikkelingen gering. In de andere subsystemen zijn menselijke ingrepen sturend, maar daardoor niet verwaarloosbaar voor de morfologische ontwikkeling. In deze subsystemen zorgen de kustverdedigingen voor het handhaven van de kust verdediging en

veroorzaken de stortlocaties voor een lokale verhoging. Langs de kuststrook van België en Zeeuwsch-Vlaanderen veroorzaken getij- en golfwerking voor kusterosie en voor sedimenttransport in noordoostelijke richting. De kusterosie wordt gecompenseerd door strandsuppleties. Op de Paardenmarkt en ten noordoosten ervan treedt sedimentatie op onder invloed van stortactiviteiten. Het getij en de golven veroorzaken de oostelijke migratie van de banken en geulen van het subsysteem "Zuidwestkust van Walcheren. De migratie vertraagd in de richting van de kust en wordt tegengehouden door de getijstrooming in het Oostgat en de resistentie van de kust. Op de Raan veroorzaken getij en golven voor kleine veranderingen in de morfologie en worden de grotere morfologische veranderingen bepaald door stortactiviteiten.

Bij **toename van de zeespiegelstijging** zal de morfologische reactie van de Westerscheldemonding voor een deel afhangen van de reactie van de Westerschelde op de zeespiegelstijging. Bij een toename van de zeespiegelstijging is de kustzone het meest kwetsbaar. Als **de Scheur / Wielingen verder wordt verdiept** zijn direct gevolgen het grootst in de Scheur / Wielingen en op de stortlocaties. Doordat een verdieping van de Scheur / Wielingen ook hydraulische consequenties heeft, zullen ook de andere subsystemen zich gaan aanpassen.

1 INLEIDING

De Westerscheldemonding is de zuidelijkste buitendelta van Nederland en ligt voor een groot deel op Belgisch grondgebied (figuur 2.1., zie ook uitklap kaart in bijlage D). De natuurlijke morfologische veranderingen van de afgelopen dertig jaar worden in het grootste deel van de monding overschaduwd door de menselijke ingrepen. Hierbij moet vooral gedacht worden aan de bagger- en stortactiviteiten die voor de verbetering van de vaarwegen van en naar de haven van Zeebrugge, Vlissingen, Breskens en Antwerpen zijn uitgevoerd. Voor de laatst genoemde haven worden tevens verdiepingswerkzaamheden uitgevoerd in de Westerschelde. Deze verdieping van de Westerschelde zal ook zijn weerslag hebben op de hydraulica van de Westerschelde en de monding en daarmee ook op de morfologie. In de toekomst zal de morfologie van de Westerscheldemonding voor een belangrijk deel afhangen van de ingrepen die in de monding zijn en worden uitgevoerd.

In het rapport wordt een voorspelling gegeven van de morfologische ontwikkeling van de Westerscheldemonding tot 2020. Deze voorspelling is gebaseerd op fenomenologisch onderzoek en gaat uit van het huidige functioneren van de Westerscheldemonding. Externe factoren, zoals extreme zeespiegelstijging en grootschalige ingrepen in aanpalende gebieden, die nog niet eerder zijn opgetreden kunnen daardoor niet meegenomen worden. Het onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van het deelproject K2000*WS, onderdeel van het KUST*2000 programma. De doelstelling van het KUST*2000 programma is: het ondersteunen van de landelijke beleidsuitvoering van de kustlijnzorg en het leveren van een bijdrage aan de beleidsvoorbereiding (Svašek, 1995).

De belangrijkste aandachtspunten voor de Westerscheldemonding zijn de lange termijn strategie inzake

- baggeren en storten in de monding
- de erosieproblematiek van de Zuidwestkust van Walcheren (Dunsbergen & De Gelder, 1998)

De kennis uit de voorgaande onderzoeken wordt in dit onderzoek gebruikt om een voorspelling te maken met betrekking tot de morfologie van de Westerscheldemonding in 2020.

Het doel van dit onderzoek is een voorspelling te maken van de morfologische ontwikkeling van de Westerscheldemonding tot 2020 op basis van fenomenologisch onderzoek. Hierbij zullen verschillende scenario's worden uitgewerkt en zal voor de beschrijving en de onderbouwing van het verhaal de Westerscheldemonding worden onderverdeeld in een viertal subsystemen. De subsystemen worden beschreven aan de hand van de verschillende morfologische eenheden. Van uit deze detail beschrijving volgt de uiteindelijke beschrijving van de ontwikkeling van de gehele monding.

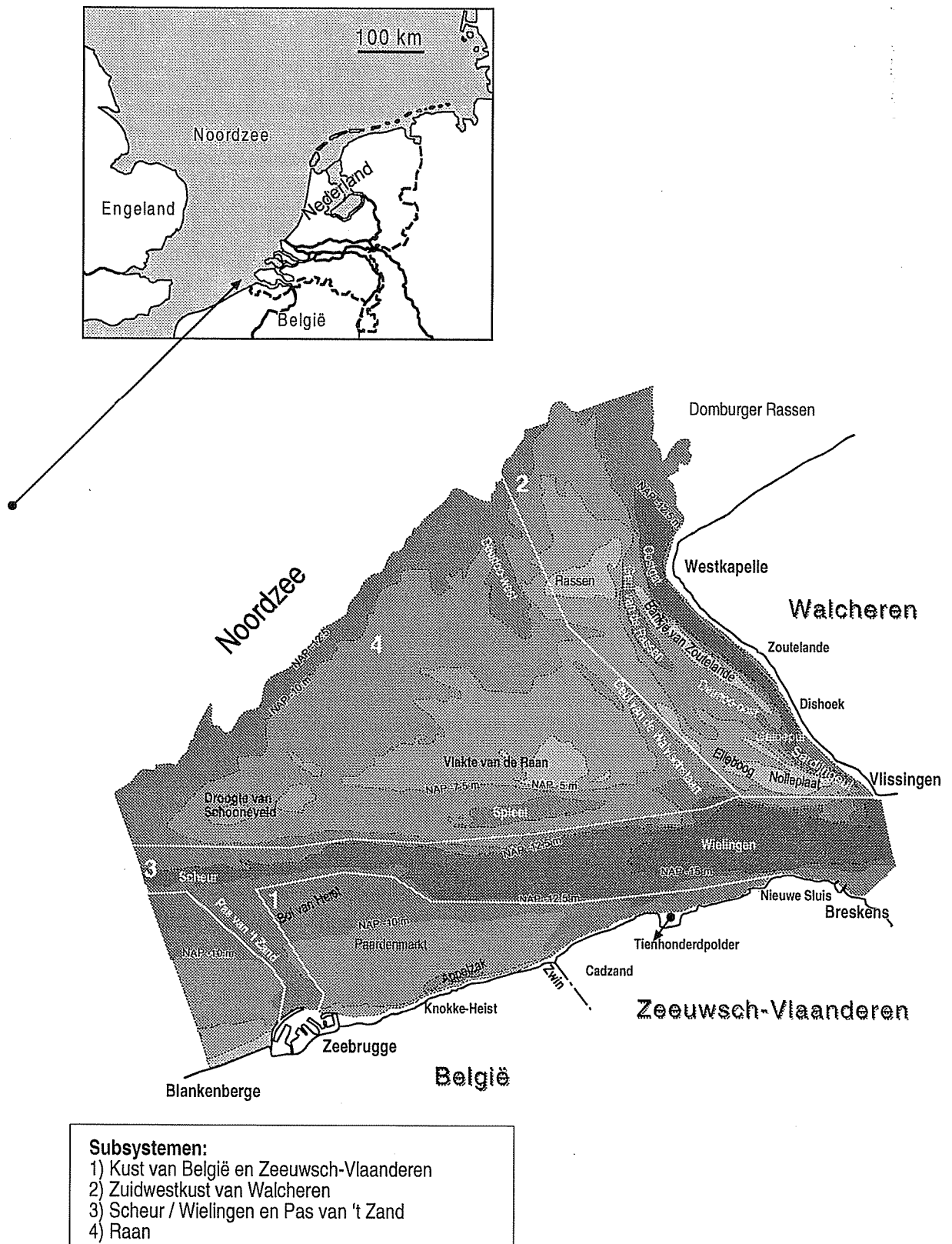
Leeswijzer:

Hoofdstuk twee geeft een algemeen beeld van de Westerscheldemonding. In dit hoofdstuk worden onder andere de morfologie, de geologie, de hydraulica en de menselijke ingrepen besproken. Tevens worden de grootschalige ontwikkelingen van de Westerscheldemonding en de relatie van de Westerscheldemonding met de aanpalende gebieden besproken.

De voorspelling van de morfologische ontwikkeling van de Westerscheldemonding zal gebaseerd worden op de ontwikkeling van de verschillende subsystemen. Per subsysteem zal bepaald worden welke morfologische veranderingen zijn opgetreden, welke processen deze veranderingen sturen en hoe de verschillende eenheden gerelateerd zijn. Voor elk subsysteem zal een denkmodel worden opgesteld, deze denkmodellen dienen als basis voor het denkmodel van de Westerscheldemonding en als basis van de voorspelling van de morfologische ontwikkeling.

Een **denkmodel** bestaat uit de hydraulische condities en de morfologische situatie van een van de subsystemen. Menselijke ingrepen worden in de denkmodellen meegenomen, omdat deze de hydraulische condities en / of de morfologische situatie kunnen beïnvloeden. Hierdoor zijn de menselijke ingrepen medebepalend voor de morfologische ontwikkelingen. De denkmodel geven dus een beeld van de reactie van een subsysteem op verschillende menselijke ingrepen, de hydraulische condities en de morfologische ontwikkeling. Deze beschrijvingen zijn weergegeven in hoofdstuk 3.

In hoofdstuk vier worden de verschillende scenario's uiteengezet. Hierbij wordt één scenario (handhaving van het huidige beleid) uitgebreid behandeld. Daarnaast wordt een beschouwing gegeven over hoe de Westerscheldemonding zich ontwikkelt als de zeespiegelstijging toeneemt en als de Scheur / Wielingen verder wordt verdiept. De conclusies staan beschreven in hoofdstuk 5, gevolgd door de literatuurlijst. De samenvatting is gegeven aan het begin van het rapport en wordt vervolgd door de literatuurlijst.



Figuur 2.1 Westerscheldemonding, op basis van lodingen in 1970

2 WESTERSCHELDEMONDING

2.1 Inleiding

De morfologie van een buitendelta wordt bepaald door de geologie, de hydraulica en het menselijk handelen en door de ontwikkeling van de aangrenzende gebied. De geologie is de randvoorwaarde van het systeem. De hydraulica is de sturende factor achter de veranderingen van de morfologie, die op zichzelf weer de hydraulica van het gebied beïnvloed. De hydraulica kan worden onderverdeeld in het getij, de golfwerking en de windgedreven stroming. Behalve de natuurlijke processen spelen menselijke ingrepen een steeds belangrijkere rol. In de Westerscheldemonding zijn de menselijke invloeden duidelijk aanwezig, zoals de uitbouw van de haven van Zeebrugge. Deze menselijke ingrepen hebben daarmee een sterk effect op de morfologie en de hydraulica van de Westerscheldemonding. Veranderingen in de aangrenzende gebieden zoals bijvoorbeeld de verdieping van de geulen in de Westerscheldemonding, kunnen effecten hebben op de hydraulica en op de morfologische ontwikkeling van de monding.

In dit hoofdstuk worden deze verschillende aspecten van de Westerscheldemonding behandeld. Na een afbakening van het gebied en de morfologie (paragraaf 2.2), wordt de geologie (paragraaf 2.3) de hydraulica (paragraaf 2.4) en de menselijke ingrepen (paragraaf 2.5) besproken. In paragraaf 2.6. worden de morfologische en hydraulische ontwikkeling van de Westerscheldemonding op een grotere tijd en ruimte schaal besproken. De aangrenzende gebieden, zoals de Westerschelde en de Oosterscheldemonding, worden komen eveneens aan bod.

2.2 Gebiedsafbakening en morfologie

De Westerscheldemond is de zuidelijkste buitendelta van Nederland en is gelegen tussen de kust van Walcheren en Zeeuwsch-Vlaanderen (zie figuur 2.1). Voor de oostgrens wordt de lijn Vlissingen-Breskens, de hals van het estuarium, gehanteerd. Tussen Breskens en Blankenberge wordt de grens van de Westerscheldemond aan de voet van de dijk of aan de duinen gelegd. De meest zuidelijke / westelijke grens is gedefinieerd als de lijn loodrecht op de kust bij Blankenberge, waar de delta geleidelijk overgaat in de Vlaamse Banken. Voor de scheiding tussen de Noordzee en de monding wordt de NAP-20m lijn gehanteerd. De Domburger Rassen, aan de noordoostzijde van de monding, scheidt de Oosterscheldemond van de Westerscheldemond. De grens loopt vervolgens langs de Zuidwestkust van Walcheren naar Vlissingen.

De twee belangrijkste geulen in de Westerscheldemonding zijn de Scheur / Wielingen en het Oostgat. Voor de scheepvaart is de Pas van het Zand een belangrijke geul. De morfologie van de Scheur is voor het overgrote deel bepaald door de baggerwerkzaamheden. In de Wielingen zijn in vergelijking met de Scheur weinig baggerwerkzaamheden uitgevoerd (bijlage A). Het Oostgat ligt tegen de Zuidwestkust van Walcheren aan en functioneert als een kortsluitgeul tussen de Westerschelde en de Noordzee. Een andere geul die voor de scheepvaart belangrijk is, is de toegangsgeul van Zeebrugge, de Pas van het Zand. Deze geul is in zijn geheel bepaald door baggerwerken.

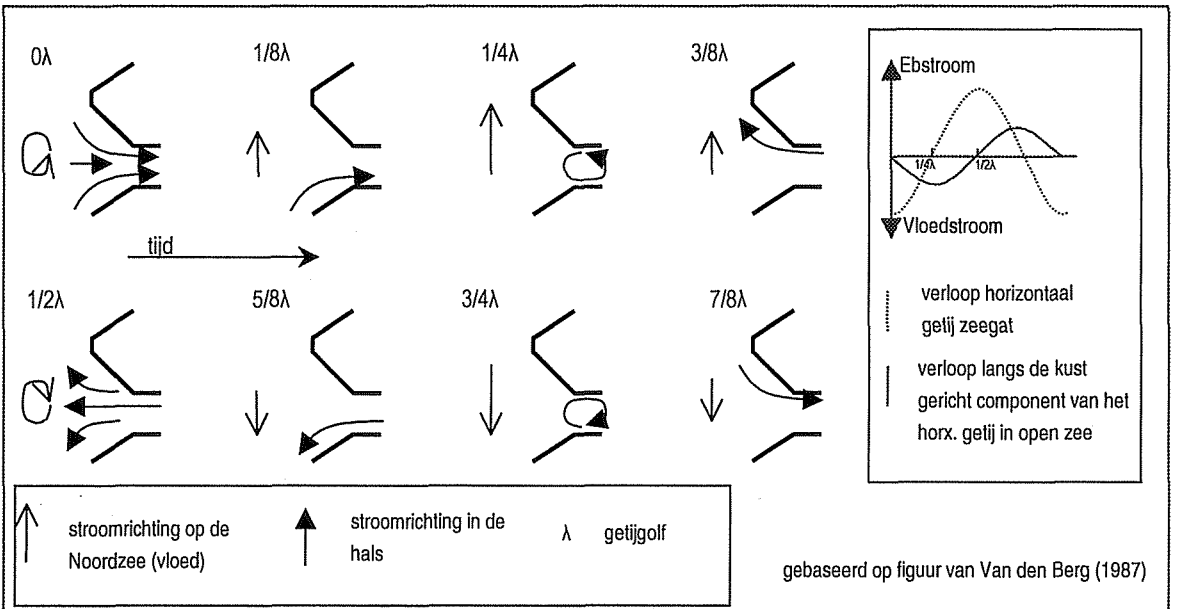
Tussen de Scheur / Wielingen en het Oostgat ligt het bankengebied , de Raan. De Raan wordt door een aantal nevengeulen doorsneden en wordt op verschillende locaties gebruikt als stortgebied. Aan de westzijde van het Oostgat ligt een opeenvolging van banken en nevengeulen. Achtereenvolgens het Bankje van Zoutelande, Geul van de Rassen / Deurloo-oost en de Rassen, Nolleplaat en de Elleboog, Deurloo-west en Geul van de Walvischstaart. Deze morfologische eenheden lopen ongeveer evenwijdig aan de Zuidwestkust van Walcheren. De Spleet, eveneens een nevengeul, loopt evenwijdig aan de Wielingen. Het storten heeft er voor gezorgd dat het westelijk deel van de Raan, de Droogte van Schooneveld, in hoogte is toegenomen. Het storten heeft er voor gezorgd dat het westelijk deel van de Raan, de Droogte van Schooneveld, in hoogte is toegenomen. Ten zuiden van de Scheur / Wielingen ligt een ondiep gebied, de Paardenmarkt, met aan de landzijde een kleine ebschaar, de Appelszak.

Tabel 2.1 Verschillen in getijkarakteristieken

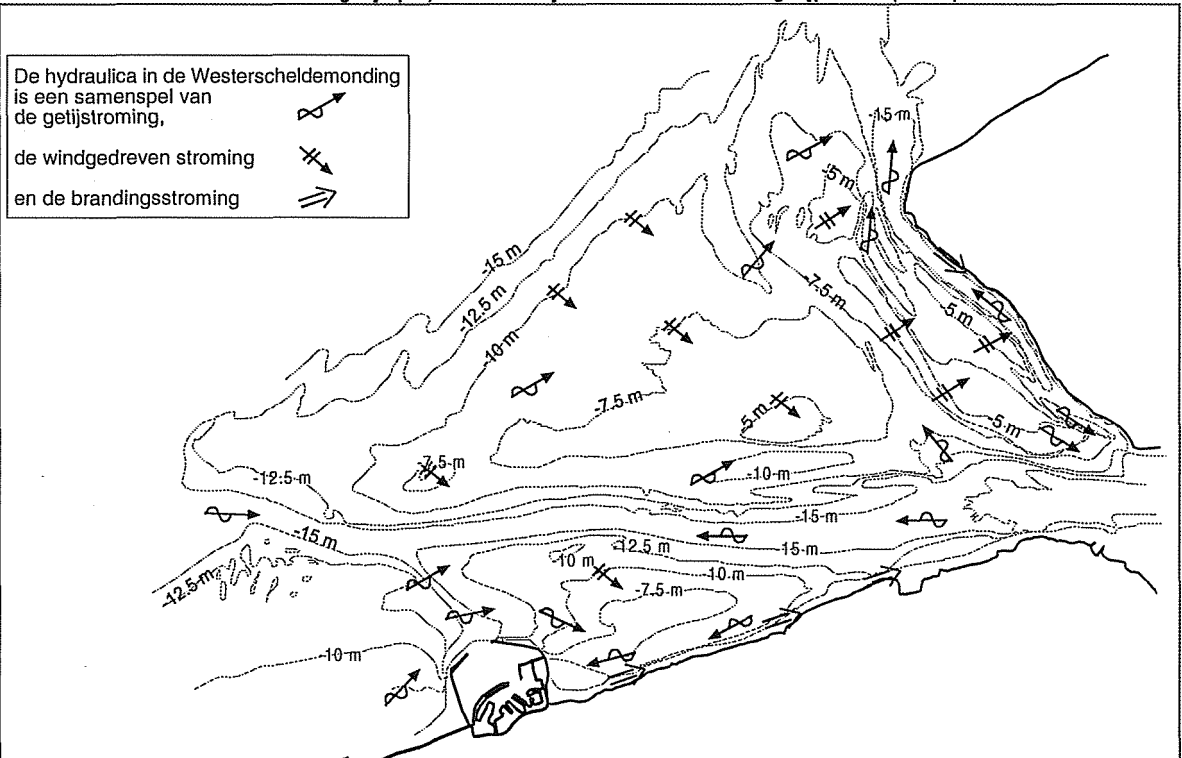
getijkmerken tijdens gem. springtij	Waterstanden (cm)			Waarden maansverloop* (uren.min)			
	hoogwater	laagwater	tijverschil	hoogwater	laagwater	rijzing	daling
Cadzand	236	-199	435	0.21	6.59	5.50	6.35
Westkapelle	216	-175	391	0.29	6.58	5.54	6.31
Vlissingen	243	-204	447	0.53	7.21	5.57	6.28
Bath	313	-232	545	2.19	9.03	5.47	6.38

maansverloop = tijdsverschil tussen maansdoorgang en eerstvolgend HW resp. LW, is hetzelfde als het havengetal

bron: Tienjarig overzicht 1981-1990 (RIZA & RIKZ, 1994)



Figuur 2.2. Schetsen van het stroombeeld in een denkbeeldig zeegat en buitendelta met een vlakke bodem bij een faseverschil tussen het horizontale getij op open zee en bij de hals van een kwart getijperiode ($=1/4 \lambda$).



Figuur 2.3 Huidige hydraulische condities in de Westerscheldemonding

2.3 Geologie

De geologische ondergrond van het gebied kan voor een vertraging in de morfologische ontwikkeling zorgen, maar zal een ontwikkeling niet tegenhouden (Van der Spek, 1997b). De resistentie van de ondergrond wordt bepaald door het soort materiaal. Zo is klei en een afwisseling van klei en zand over het algemeen meer resistent dan zand. Naast het soort materiaal speelt de ouderdom een rol waarbij in grote lijnen kan worden aangehouden dat hoe ouder het materiaal hoe resistenter het is.

In de Westerscheldemonding liggen enkele resistente lagen aan het oppervlak. Een van deze lagen is de Boomse klei (Formatie van Rupel, Tertiaire afzetting), die door de Wielingen ten noorden van Zeeuwsch-Vlaanderen wordt aangesneden (Van der Spek, 1997b). De Boomse klei bemoeilijkt de westwaartse en de noordelijke migratie van de diepere delen van de Wielingen. Ook in het Belgische deel van de Wielingen zijn Tertiaire afzettingen aangetroffen. (Haecon, 1997 in Haecon 1999). In Scheur-oost is een opeenvolging aangetroffen van klei, zand en klei. De bovenste twee lagen (ongeveer op NAP -15 m) zijn beide ongeveer 3 meter dik. De top van de onderste kleilaag ligt dus ongeveer op 20 meter beneden NAP. In oostelijke richting neemt de dikte van het bovenste kleipakket af en komt dieper te liggen. In Scheur-west liggen de oudere kleilagen op grotere diepte (persoonlijk commentaar R. Adams, Haecon). Langs de Zuidwestkust van Walcheren komt ook resistente ondergrond voor, waardoor de ontwikkeling diepere delen van het Oostgat kan worden vertraagd.

2.4 Hydraulica

De stroming in de buitendelta's is het resultaat van de interactie van de getijstrooming op de Noordzee, de getijstrooming in de binnendelta en wind- en golfgedreven stromingen. De **getijstrooming op de Noordzee** loopt evenwijdig aan de kust met een stroomrichting die tijdens maximale vloed ongeveer noordoostelijk en tijdens maximale eb zuidwestelijk is. De reststroming op de Noordzee is naar het noorden, doordat de totale waterverplaatsing daar tijdens vloed iets groter is dan tijdens eb (Kohsiek & Mulder, 1988). De getijslag neemt langs de Nederlandse kust in noordelijke richting af en is het hoogwater in het zuiden hoger dan het hoogwater in het noorden (tabel 2.1). Als gevolg hiervan staat na hoogwater nog een vloedverhang in noordoostelijke richting.

Dit vloedverhang in combinatie met de waterstanden in de **hals van het estuarium** zijn bepalend voor de stroming in de ebdelta. In het zuidwestelijke deel van de Noordzee is het horizontale en verticale getij min of meer in fase. Hoog- en laagwater vallen rond maximale vloed en eb (0λ en $1/2\lambda$ in figuur 2.2). De stroomkentering op zuidelijke deel van de Noordzee vindt enkele uren na hoogwater plaats, terwijl in de zeegaten de stroming kort na hoogwater kentert. Hierdoor bestaat er in het zuidelijk deel van de Noordzee een faseverschil tussen het horizontale getij van ongeveer 3 uur (Van den Berg, 1987). Voor de verschillende getijfasen zijn stromingsbeelden gemaakt die in hun algemeenheid geldig zijn voor de Zeeuwse situatie (figuur 2.2.). Tijdens vloed wordt het water de hals "ingezogen" en convergeren de stroombanen in de hals (0λ in figuur 2.1). Tijdens eb divergeren de stroombanen in de monding en wordt het water uit de nauwe hals de brede buitendelta "ingespoten" ($1/2\lambda$ in figuur 2.2.). Door het verschil in stroombanen bevindt de ebgeul zich meestal in het midden en heeft deze geul meer mogelijkheid voor migratie dan de vloedgeulen. De vloedgeulen liggen over het algemeen langs de rand van de buitendelta (Van den Berg, 1987).

De stroming in de buitendelta's wordt eveneens beïnvloed door de **wind- en golfgedrevenstroming** van de Noordzee. De golven komen overwegend uit zuidwestelijke tot noordwestelijke richting (Kohsiek & Mulder, 1988). Tijdens de meetcampagne van 1997/1998 voor de kust van Zuidwest Walcheren zijn tijdens stormcondities waarbij de windsnelheid hoger was dan 12 m/s golfhoogtes van 2 meter gemeten (Van der Slikke, 1999a). Nabij de kust in de ondiepe gebieden vindt een afbuiging van de golven plaats. Deze afbuiging van de golven veroorzaakt een brandingstroming langs de kust. De lokale invalshoek van de golven is bepalend voor de richting en sterkte van het brandingstransport (Van Enckevoort, 1996). De brandingstroming is in een delta naar binnen gericht. Voor de kust van Walcheren betekent dit een transport van Westkapelle naar Vlissingen en voor de kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen een brandingstransport in noordoostelijke richting. Door de aanleg van de strandhoofden probeert men het brandingstransport af te remmen, zodat de kusterosie beperkt blijft. Figuur 2.3. schetst een beeld de huidige hydraulische condities, waarbij de windgedreven stroming gebaseerd is op morfologische veranderingen en de getij- en brandingstroming op hydraulische gegevens uit de literatuur.

2.5 Ingrepen

De ingrepen die in de Westerscheldemonding zijn uitgevoerd hebben tot doel de kust en het achterliggende land te beschermen en de vaarroutes naar de verschillende havens te verbeteren. De grootste ingrepen in de Westerscheldemonding zijn uitgevoerd om de bevaarbaarheid van de toegangsgeulen van de havens naar Zeebrugge, Vlissingen, Breskens en Antwerpen te verbeteren. Hiervoor is Scheur / Wielingen verdiept en is de Pas van 't Zand gegraven. De grootste baggerwerkzaamheden zijn uitgevoerd in het begin van de jaren tachtig (bijlage A).

Langs de kust van zowel, Walcheren, Zeeuwsch-Vlaanderen als België zijn en worden maatregelen getroffen om de kustachteruitgang tegen te gaan. De kust van Walcheren wordt gekenmerkt door twee harde 'bolwerken' bij Vlissingen en Westkapelle en de paalrijen die bijna langs de gehele **Zuidwestkust van Walcheren** voorkomen. De paalrijen zijn geplaatst aan het begin van de 18^e eeuw. Deze paalrijen zijn inmiddels gerenoveerd en een deel van de paalrijen is aan de kop verzaamd. Tussen Dishoek en Zoutelande zijn geen paalrijen aangelegd, wat mogelijk samenhangt met de knik in de kust en de minder sterke erosie. Ten zuiden van Dishoek is de verdediging minder dan ten noorden van Zoutelande. Behalve deze harde verdedigingswerken wordt sinds de jaren '50 de kust verdedigd door middel van zandsuppleties uit te voeren op het strand en de duinen (bijlage A). De kust van **Zeeuwsch-Vlaanderen** is bedijkt. Door de aanvoer van zand uit het zuidwesten zijn deze dijken bedekt met zand waardoor het onderscheid tussen duinen en dijken hier slecht zichtbaar is. Behalve de dijken zijn 84 strandhoofden aangelegd die de kustlangse stroming uit de kust moeten houden. Net als langs de kust van Walcheren worden langs de kust van Zeeuwsch-Vlaanderen suppleties uitgevoerd (bijlage A). In 1872 is de Internationale Dijk aangelegd, hiermee kwam een einde aan de inpoldering aan Belgische zijde. De Internationale Dijk is na de stormvloed van 1953 gerenoveerd en verstevigd. Rond die tijd is tevens een dijk om het Zwin aangelegd. Langs de gehele **Belgische kust** van Zeebrugge tot het Zwin ligt een strandmuur met een lengte van 8.75 kilometer. De strandmuur is aangelegd in 1867. In de jaren zeventig is de laatste restauratie van de zeedijk uitgevoerd. In de periode 1900-1930 zijn de meeste strandhoofden aangelegd en deze zijn na de stormvloed van 1953 hersteld. De Belgische strandhoofden hebben een gemiddelde lengte van 350 meter tot maximaal 500-600 meter. In de periode 1977-1979 is een grootschalige suppletie uitgevoerd langs de Belgische kust. Deze suppletie is uitgevoerd ter bevordering van de recreatie en met het idee dat door de uitbouw van de haven van Zeebrugge de kusterosie langs dit kust deel zou toenemen.

2.6 Morfologische en hydraulische ontwikkeling

2.6.1 Veranderingen in hydraulica

De ontwikkeling en de variaties in de hydraulica spelen op verschillende tijdschalen af. Veranderingen in golf- en windgedreven stroming kunnen variëren op een termijn van enkele uren. De variaties hierin zijn moeilijk te voorspellen, doordat ze afhankelijk zijn van de onvoorspelbare weerssituaties. Variaties in het getij spelen op zeer verschillende tijdschalen af. Voorbeelden van variaties van het getij zijn springtij-doodtijcyclus en de 18.6-jarige getijcyclus. De 18.6-jarige getijcyclus veroorzaakt een maximale verschil van 4% in de getijslag en het debiet bij Vlissingen (Israël & Huijs, 1998). Het is echter niet duidelijk of deze 18.6-jarige getijcyclus ook weerslag heeft op de ontwikkeling van de morfologie. Voor het Waddengebied is dit wel aangetoond en er zijn ook aanwijzingen dat de morfologie van de Westerschelde reageert op deze fluctuaties (Israël & Huijs, 1998). In tegenstelling tot de variaties van het getij zijn de ontwikkelingen van het getij niet aantoonbaar cyclisch. Eén van deze ontwikkeling is de toename van de getijslag, die in Vlissingen met 0.14 meter per eeuw toe (De Ronde in Van der Spek, 1997a). Een ander belangrijk hydraulisch gegeven is de zeespiegelstijging. Het gemiddeld zeeniveau in Vlissingen is sinds de eerste meting (1862) met 0.22 meter per eeuw gestegen (De Ronde in Van der Spek, 1997a).

Naast de natuurlijke variaties en veranderingen in de hydraulica, verandert de hydraulica ook onder invloed van menselijke ingrepen in het systeem. Voorbeelden van vroegere ingrepen zijn de inpolderingen van grote delen van de Westerschelde (Braakman in 1952) en de afdamming van de Sloe en de Kreekrak in 1870 (Van der Spek, 1997a). Deze laatst genoemde afsluitingen hebben ervoor gezorgd dat de Oosterschelde en de Westerschelde van elkaar gescheiden werden. Een ander voorbeeld is de aanleg van de Oosterscheldedekering, deze heeft echter weinig effect gehad op het getij bij Westkapelle (Svašek, 1997).

De verandering in het getij van de Westerscheldemonding worden voornamelijk bepaald door interne veranderingen van de morfologie of veranderingen in de Westerschelde. De verdieping van de Scheur / Wielingen is waarschijnlijk de oorzaak van de vervroeging van het getij bij Vlissingen van 25 s/10 jaar (Svašek, 1997). Op basis van

modelberekening is geconcludeerd dat de verdieping van de Scheur / Wielingen een toename van de stroming door de Scheur / Wielingen en een afname van de stroming door het Oostgat en de Deurloo heeft veroorzaakt. De laatste afname is grotendeels gecompenseerd door een toename van de stroming door de verdieping in de Westerschelde (Svašek, 1998b). De effecten van de overige ingrepen, zoals het storten van sediment en de uitbreiding van de haven van Zeebrugge (1986) zijn nog onbekend. De gevolgen van de uitbreiding van de haven van Zeebrugge zijn lokaal en streken zich in oostelijke richting uit tot ongeveer aan de Nederlandse grens (Haecon, 1999).

2.6.2 Ontwikkeling van de morfologie

Net als de hydraulische ontwikkeling en variatie van een gebied, kunnen de morfologische veranderingen ook worden ingedeeld op verschillende tijdschalen. De lange termijn ontwikkelingen zijn voor de voorspelling van de morfologie van de Westerscheldemonding belangrijk voor het algemene beeld van de ontwikkelingen. De belangrijkste verandering die sinds 1800 in de Westerscheldemonding zijn opgetreden, is de verandering van een drie hoofdgeulen systeem naar een twee hoofdgeulen systeem. In het begin van de vorige eeuw lagen er drie hoofdgeulen in de Westerscheldemonding, de Wielingen, de Deurloo en het Oostgat. Het Oostgat en de Wielingen hadden indertijd een minder belangrijke rol dan heden. Tegenwoordig zijn de Scheur / Wielingen en het Oostgat de twee belangrijkste hoofdgeulen en speelt de Deurloo geen belangrijke rol in de in- en uitgaande stroming van de Westerschelde.

Een andere belangrijke ontwikkeling is het uitbaggeren van de Scheur / Wielingen. Deze verdieping heeft gevolgen voor de getijstroming in de Scheur / Wielingen en beïnvloedt daarmee ook de ontwikkelingen in andere delen van de Westerscheldemonding.

Op kleinere schaal spelen de variaties als de wisseling van eb- en vloedscharen ten westen van het Bankje van Zoutelande en de ontwikkeling van de Rassen en de Nolleplaat een rol. Deze ontwikkelingen hangen samen met de verandering van het geulensysteem, de variaties spelen echter op korte termijn. Op een zelfde tijdschaal vinden de veranderingen voor de Belgische kust plaats, waarbij het voornamelijk gaat op de ontwikkeling van de geul de Appelzak. Op nog kortere tijdschaal spelen variaties als gevolg van de wisseling van de stormseizoenen een rol. Voor lange termijn voorspelling van de morfologie is het moeilijk om deze seizoenswisselingen in de voorspelling mee te nemen, omdat de verschillen in stormfrequentie niet te voorspellen zijn. Op basis van een meetcampagne is eveneens gebleken dat de morfologische variatie voor de kust van Walcheren op deze tijdschaal erg gering zijn (Van der Slikke, 1999a).

2.6.3 Aangrenzende gebieden

De ontwikkeling van de morfologie van de Westerscheldemonding wordt eveneens beïnvloed door de veranderingen in de aanpalende gebieden. De aanpalende gebieden van de Westerscheldemonding zijn de monding van de Oosterschelde, de Noordzee, de Westerschelde en de Vlaamse banken ofwel het Belgische kustgebied ten zuiden van Zeebrugge. De Vlaamse Banken zijn vrij stabiel en de invloed van dit gebied op de Westerscheldemonding is gering. De Noordzee speelt een zeer belangrijke rol in het getij van de Westerscheldemonding. Voorbeelden hiervan zijn de zeespiegelstijging en de 18.6-jarige cyclus van het getij. Veranderingen van het getij zijn bepalend voor de ontwikkeling van de geulen. De aanleg van de Stormvloedkering in de Oosterscheldemonding heeft het getij in de Oosterscheldemonding verandert, maar heeft geen effect te hebben op de hydraulica van de Westerscheldemonding (Svašek, 1997). Veranderingen in de Westerschelde die van belang zijn, zijn onder andere de verandering van de komberging en de verdieping van de geulen. Door de inpoldering is de komberging afgenomen van 295 km² in 1650 tot 104 km² in de huidige situatie (Van der Spek, 1997a). Sinds de jaren zestig worden de hoofdgeulen gebaggerd, waardoor de scheiding tussen de hoofd- en nevengeulen verder wordt versterkt. De ontwikkeling in de Westerschelde zullen in de toekomst ook consequenties hebben voor de ontwikkeling van de morfologie en hydraulica van de Westerscheldemonding. Aan de interactie tussen de Westerschelde en de monding is in de diverse onderzoeken nauwelijks aandacht besteed.

3 MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING VAN DE SUBSYSTEMEN

3.1 Inleiding

De morfologische ontwikkeling van een gebied kan op verschillende tijd- en ruimteschalen bestudeerd worden. De voorspelling van de morfologische ontwikkeling van de Westerscheldemonding tot 2020 wordt gebaseerd op de waargenomen ontwikkeling van de periode 1970 – 1995. Processen die op de lange termijn of op de korte termijn een belangrijke rol spelen worden niet direct gebruikt voor de voorspelling, maar dienen wel als basis voor het begrijpen van het systeem. Een voorbeeld is de variatie in de wind en van de golfgedreven stroming. Een proces dat op een korte tijdschaal speelt en op lange tijdschaal leidt tot een netto effect. Dit netto effect is wel van belang voor de voorspelling. Door de morfologische ontwikkeling over een langere periode (1800 – 1970) te beschrijven ontstaat een kader voor de ontwikkeling op middellange termijn (25 jaar).

Voor de beschrijving van de morfologische ontwikkeling van de Westerscheldemonding is de Westerscheldemonding opgedeeld in de onderstaande vier subsystemen.

1. Kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen
2. Zuidwestkust van Walcheren
3. Scheur / Wielingen en Pas van het Zand
4. Raan

Binnen deze subsystemen worden verschillende morfologische eenheden, zoals de Appelzak, Paardenmarkt, Bankje van Zoutelande, beschreven. Van deze morfologische eenheden wordt een beschrijving gegeven van de ontwikkeling vanaf ongeveer 1800, maar ligt het accent op de ontwikkeling van de periode 1970 – 1995. In deze periode zijn menselijke ingrepen een steeds belangrijkere rol gaan spelen. Daarom zijn de denkmodellen van de vier subsystemen opgesteld vanuit een bepaalde menselijke ingreep. Aan deze denkmodellen liggen de volgende vragen ten grondslag:

- Hoe groot zijn de morfologische veranderingen geweest en door welke processen zijn deze morfologische ontwikkelingen gestuurd?
- Welke processen (hydraulische + menselijke e.d.) spelen een rol op een tijdschaal van 25 jaar binnen dit subsysteem?
- Hoe zijn de verschillende morfologische eenheden binnen de verschillende subsystemen aan elkaar gerelateerd?

De denkmodellen zijn in figuren weergegeven die in principe zijn opgebouwd uit:

- a) De morfologische situatie van 1970
- b) De hydraulische situatie
- c) De menselijke ingrepen
- d) De verandering van de hydraulische condities
- e) De morfologische ontwikkeling

Als basis voor de morfologische situatie van 1970 en de morfologische ontwikkeling liggen de lodingen van 1970, 1969 en 1995 en voorgaande onderzoek uitgevoerd in het kader van KUST*2000 ten grondslag. Om de hydraulische condities en de verandering van de hydraulische te beschrijven is gebruik gemaakt van de studies van Haecon en Svašek. De gegevens van de menselijke ingrepen komen uit diverse bronnen (zie beschrijving in de tekst). In de verschillende denkmodel worden voor de hydraulische condities een onderscheid gemaakt voor windgedreven stroming $\text{H} \rightarrow$, reststroming van het getij $\text{A} \rightarrow$ en voor de brandingstroming $\Rightarrow$. De pijlen van de windgedreven stroming zijn gebaseerd op de morfologische ontwikkeling, terwijl de andere pijlen gebaseerd zijn op hydraulische kennis van het getij. De hydraulische kennis is afkomstig uit de rapporten van Svašek en van Haecon. Bij de menselijke ingrepen staan emmers en scheppen getekend en staan respectievelijk voor storten en baggeren. Eveneens staan bij deze symbolen (+) en (-) vermeld, die aan geven dat elke morfologische veranderingen daar plaats vinden. Indien de morfologische veranderingen niet bepaald worden door menselijke ingrepen dan zijn alleen + en - aangegeven en zijn de haken weggelaten. Bij de morfologische ontwikkeling wordt ook gebruik gemaakt van pijlen om de migratierichting aan te geven.

De ontwikkeling van de subsystemen staan niet op zichzelf, maar worden veelal beïnvloed door andere subsystemen of de ontwikkeling van deze subsystemen. In de laatste paragraaf wordt aandacht besteed aan de samenhang tussen de verschillende subsystemen.

3.2 Kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen

3.2.1 Algemene beschrijving

De kust van Zeeuwsch-Vlaanderen en de Belgische Oostkust is in dit onderzoek gedefinieerd als de kust tussen de havens van Zeebrugge (figuur 2.1) en Breskens met als noordelijke grens de Scheur / Wielingen. De uitbouw van de haven van Zeebrugge (1986) heeft op dit gebied in vergelijking met de andere subsystemen het meeste effect gehad op de morfologische ontwikkeling. De uitbouw van de haven van Zeebrugge heeft geleid tot verandering van de stromings- en transportpatronen voor de kust van België.

Het noordelijkste deel van het gebied, aangrenzend aan de Scheur / Wielingen is het diepst, met uitzondering van de Bol van Heist. Deze ondiepte is na de uitbouw van de haven van Zeebrugge sterk in omvang afgenomen. Zuidelijker ligt de Paardenmarkt een ondiepte die gebruikt wordt als stortlocatie. Tussen de Paardenmarkt en de kust ligt de ebschaar, de Appelzak. Tijdens stormen treedt erosie op aan de kust, waarbij het geërodeerde sediment in de Appelzak terecht komt. Tijdens dergelijke condities en ook tijdens springtij wordt sediment in de richting van de Nederlandse kust getransporteerd. Zowel de Belgisch als Nederlandse kust ondervinden erosie, die afgewisseld wordt met perioden van sedimentatie. Deze afwisseling van erosie- en sedimentatiepatronen in tijd en ruimte langs de kust worden ook wel zandgolven genoemd. Het gebied tussen de Zeeuwsch-Vlaanderse kust en de Wielingen is in vergelijking met het gebied voor de Belgische kust erg smal. Ter hoogte van Nieuwe Sluis loopt de Wielingen vlak onder de kust en heeft daardoor veel invloed op de ontwikkeling van het kustprofiel. Bij Cadzand ligt de Wielingen enkele kilometers uit de kust. Het Zwin scheidt de kuststrook van de twee landen en vormde in het verleden een barrière voor het kustlangstransport. Tegenwoordig is de omvang van het Zwin door verzanding zover afgenomen dat niet meer van een barrière gesproken kan worden.

3.2.2 Morfologische ontwikkeling

Algemeen beeld:

De uitbouw van de haven van Zeebrugge en het storten van baggerspecie op de Paardenmarkt hebben voor een groot deel de veranderingen van de afgelopen decennia gestuurd. De uitbouw van de haven van Zeebrugge en het uitdiepen van de Pas van het Zand hebben bijgedragen aan de erosie van de Bol van Heist. De veranderingen van de hydraulica heeft tevens ontgrondingskuilen voor de haven van Zeebrugge veroorzaakt. De verdieping aan de noordoostzijde van Zeebrugge werkt door naar de Paardenmarkt, waar aan de westkant erosie op is getreden. De Paardenmarkt is door de stortactiviteiten in dit gebied verhoogd en in noordoostelijke richting uitgebreid. De Appelzak is na de uitbouw van een vloed-schaar in een ebschaar veranderd en is na de uitbouw een erosieve geul. Over de periode 1970-1997 is de geul echter verzand, wat mogelijk samenhangt met het storten op de Paardenmarkt. Ook de ebschaar ter hoogte van het Zwin is in omvang afgenomen.

Door de uitbouw van de haven van Zeebrugge is het troebelheidsmaximum verplaatst ten oosten van Zeebrugge. Door dit troebelheidsmaximum wordt de uitwisseling van sediment van en naar de kust vanuit de andere subsystemen belemmerd. Tevens beperken deze gebieden met grote troebelheid het zandtransport en verhinderen ze het zand om naar het centrum van het slibveld te komen en daarmee fungeert het slibveld tussen Zeebrugge en het Zwin als zandvang (Haecon, 1999).

Zeebrugge:

De aanleg van de haven van Zeebrugge hangt enigszins samen met de ontwikkeling van het Zwin. Nadat het Zwin dusdanig was verzand dat er geen scheepvaartverbinding tussen Brugge en de Noordzee was (rond midden 18^{de} eeuw), werd het noodzakelijk om een andere oplossing te vinden (Ryckaert, 1989). De eerste uitbouw van de haven van Zeebrugge vond plaats in 1906 (Bijlage A). De open palen structuur van de havendammen is in 1929 omgebouwd naar een dichte muur (AWZ, 1994). De open palen structuur was beperkt tot een smalle strook dicht langs de kust. Door de open palen structuur zou de kustlangse stroming niet belemmerd worden en zou de erosie van de kust aan de oostzijde van de haven niet toenemen. De laatste uitbouw van de haven vond plaats in de periode 1979 – 1986. De havendammen steken na deze uitbouw drie kilometer in zee. Door de uitbouw van de haven zijn er aan de noordkant van beide havendammen grote erosieputten ontstaan en zijn de stromingspatronen rond dit havengebied veranderd. Bij de oksels van de haven, zowel aan de west- als aan de oostzijde, heeft sedimentatie plaats gevonden. De uitbouw van de haven beïnvloedt het stromingspatroon in een gebied van ongeveer 100 km². De uitbouw van de haven van Zeebrugge veroorzaakt een afbuiging en een versterking van de kustlangse stroming (Haecon, 1999).

Voor de bevaarbaarheid van de geulen worden de geulen gebaggerd. Een groot deel van dit sediment komt na het storten terug in de haven van Zeebrugge. Het slib in suspensie komt in de neren van de haven terecht, terwijl het slib dat in dichtheidsstromen over de geulbodem wordt getransporteerd in de geulen blijft. Er bestaat een cyclisch verloop van baggeren, storten en transport van sediment naar de haven.

De ondergrond van de haven van Zeebrugge bestaat uit Kwartaire sedimenten, waarvan de interne structuur sterk afwisselend is en is afgezet onder energetische getijstromingen. Onder deze laag (locaal 1 meter dik) ligt op geringe diepte een erosie bestendige klei laag, Bartoon klei. De kleilaag strekt zich over grote afstand (400 meter) uit (Henriet et al., 1978).

Denkmodel:

uitbouw haven Zeebrugge

- toename bagger- en stortwerkzaamheden
- verandering transport- en stroompatronen
 - uitschuring van Appelzak en kust oostzijde
 - erosieputten aan noordzijde havendammen → sedimentatie van erosieputten
 - sedimentatie in de oksel van de haven van Zeebrugge

Bol van Heist

Het oppervlak en het volume van de Bol van Heist is over de periode 1970-1993 afgenomen. Dit is gebleken uit de erosie-sedimentatie kaarten van de Westerscheldemonding (Van der Slikke, 1997) en uit de studie van Haecon, 1983a en van Malherbe & Bastin, 1983 (Bijlage B). In de periode 1976 –1979 is het volume met 96.800m³ afgenomen en de volgende periode 1979 – 1983 is het volume afgenomen met 1.382.300 m³. In deze laatste periode is de afname van het volume 67% (Malherbe & Bastin, 1983). De oorzaak van het afnemen van de omvang van de Bol van Heist moet gezocht worden in de veranderingen van stroming door de uitbouw van de haven van Zeebrugge. Door het grote vloedoverschot van de Pas van het Zand in het gebied erodeert de Bol van Heist (Haecon, 1983a). In dit onderzoek wordt een voorspelling gedaan over de ontwikkeling van de Bol van Heist, namelijk dat deze binnen 5 jaar na de aanvang van de uitbouw van Zeebrugge (1979) zal verdwijnen. In 1997 is de Bol van Heist echter nog terug te vinden op de lodingskaarten als de ondergrens van NAP-10m wordt aangehouden. In de periode 1970 t/m 1997 is het oppervlak van de Bol van Heist ten opzichte van het referentievlak van NAP –10m met ongeveer een driekwart afgenomen (bijlage B).

Denkmodel

Uitbouw Zeebrugge → Verandering stroming → erosie Bol van Heist → verdwijnen Bol van Heist

Paardenmarkt:

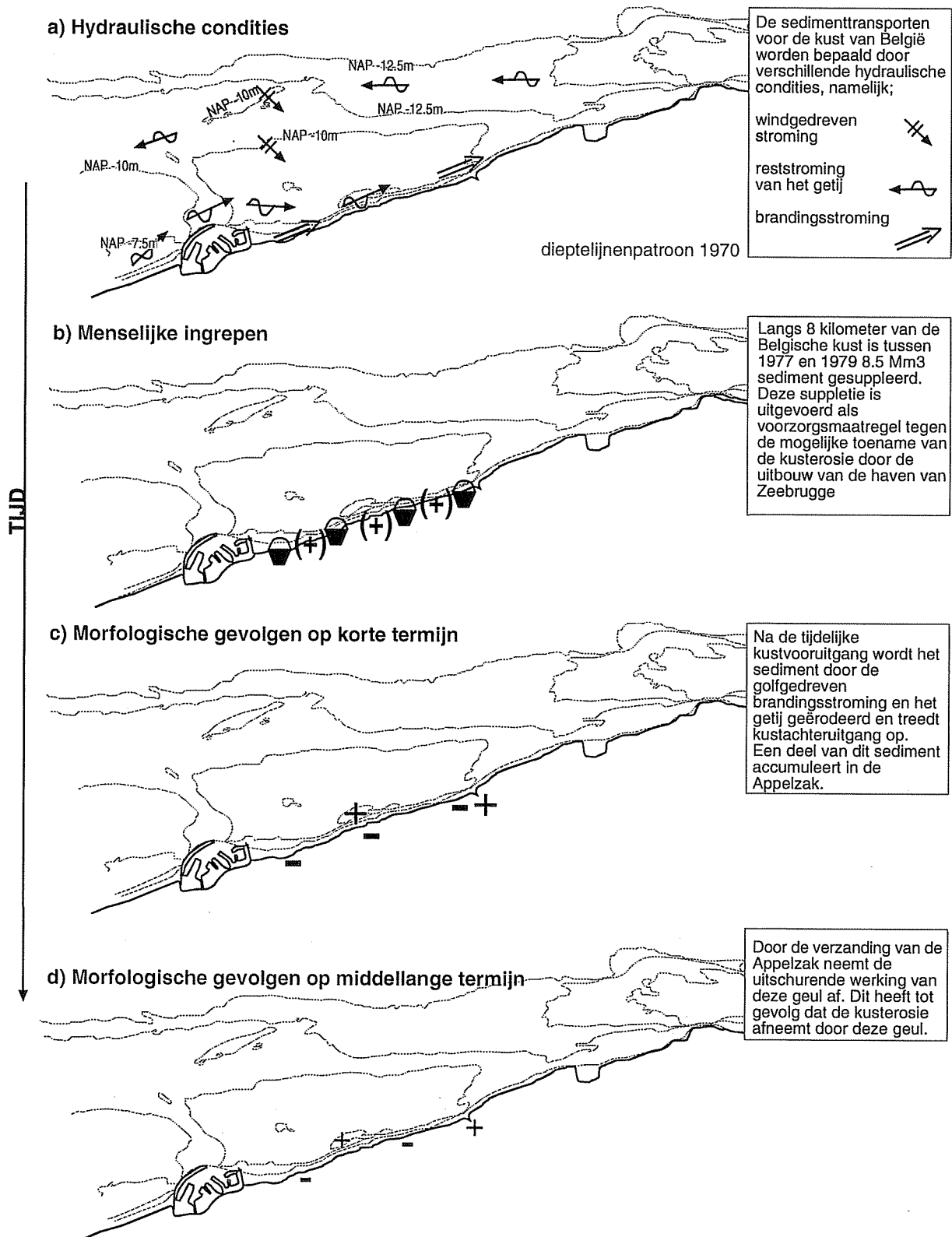
In de vorige eeuw bestond de Paardemarkt uit een Binnen Paardemarkt en een Paardemarkt. De Paardemarkt lag noordelijk tegen de Wielingen aan, terwijl de Binnen Paardemarkt ongeveer overeenkomt met de huidige ligging van de Paardenmarkt (figuur 3.1. achterin het rapport). De Paardemarkt wordt sterk aangetast door erosie en is aan het begin van de 20^{ste} eeuw verdwenen. Sindsdien wordt de Binnen Paardemarkt aangegeven als Paardenmarkt (Van Cauwenberghe, 1966). De laatste decennia wordt de ontwikkeling van de Paardenmarkt sterk beïnvloed door menselijke ingrepen in dit gebied. Door het storten van baggerspecie neemt de hoogte van de Paardenmarkt toe, alhoewel de stortefficiëntie op deze locatie vrijwel nul is. Deze lage stortefficiëntie hangt samen met de verspreiding van de baggerspecie over de gehele Paardenmarkt. De verondieping is beperkt tot 1 à 2 meter, wat erg weinig is in vergelijking met de stort hoeveelheden. Voor de verschillende stortlocaties geldt dat het grofste materiaal blijft liggen en dat het fijne materiaal vrij snel na het storten door golven en stroming wordt uitgewassen (Haecon, 1999). De verspreiding van het stortspecie is te zien in de figuren van bijlage B. Het geërodeerde stortspecie wordt in noordoostelijke richting getransporteerd en veroorzaakt een verondieping van de zuidflank van de Scheur / Wielingen (bijlage B) (Haecon, 1983a in Haecon, 1999). Een deel van het stortspecie komt in de Appelzak terecht en veroorzaakt voor een afname van het doorstroomoppervlak van de geul.

Denkmodel:

Stortactiviteiten → verhoging van deel Paardenmarkt → golf en stroming → verspreiding sedimenten → deel komt in de Appelzak terecht en een deel wordt tijdens stormcondities in noordoostelijke richting getransporteerd.

Appelzak:

Effecten van grootschalige zandsuppletie langs de Belgische kust



Figuur 3.2. Effecten van zandsuppletie langs de Belgische kust

De vloedschaar de Appelzak breidt zich in de periode 1800 tot 1900 in oostelijke richting uit met uitzondering van enkele korte periodes van westelijke migratie. In 1900 is de Appelzak 15 kilometer lang. Door de uitbouw van de haven van Zeebrugge aan het begin van de 20^{ste} eeuw is de Appelzak aan de oostkant verlengd, terwijl deze aan de westkant sterk is verkort (Van Cauwenberghe, 1966). Nadat de open palen structuur van Zeebrugge in 1929 is omgebouwd naar een dichte constructie verandert het vloedschaar karakter van de geul in een ebschaar karakter. De Appelzak is in een periode van ongeveer 20 jaar 700 meter landwaarts verplaatst van 1 kilometer tot 300 meter uit de kust. Door de verlenging van de strandhoofden wordt de geul op een afstand van enkele honderden meters van de kust gehouden (AWZ, 1994).

De Appelzak is over de periode 1970-1997 verzand (bijlage B). Als naar een kortere periode wordt gekeken (na de uitbouw van Zeebrugge) blijkt dat de Appelzak erodeert. De grootschalige strandsuppleties van eind jaren zeventig voor de kust van België hebben een verondieping van de Appelzak tot gevolg. De Appelzak fungeert als een zandvang van het geërodeerde kustsediment en vangt eveneens het fijne gestorte sediment in. Door deze verondieping van de Appelzak neemt het kustlangse stroming in kracht af, waardoor de kusterosie verminderd. Deze positieve trend wordt echter afgebroken na de uitbouw van de haven van Zeebrugge. De uitbouw veroorzaakt een versterking van de langstromen waardoor de Appelzak verdiept en verandert in een erosieve geul. Uit meting van 1983 – 1985 is gebleken dat de erosieve fase zich langs de kuststrook manifesteert in de winterperiode, wanneer de meeste stormen optreden (Haecon, 1999). De sedimenten afkomstig van de kust worden via de Appelzak naar de Nederlandse kust getransporteerd.

Denkmodel:

"vóór de uitbouw van Zeebrugge"

grootschalige strandsuppletie → verzanding van Appelzak → afname kusterosie

"na de uitbouw van Zeebrugge"

stortspecie →

kust erodeert → sedimentatie van Appelzak → erosie door kustlangse stroming → transport sediment naar
sedimentvang noordoosten

Appelzak draagt bij aan kusterosie

Belgische kust:

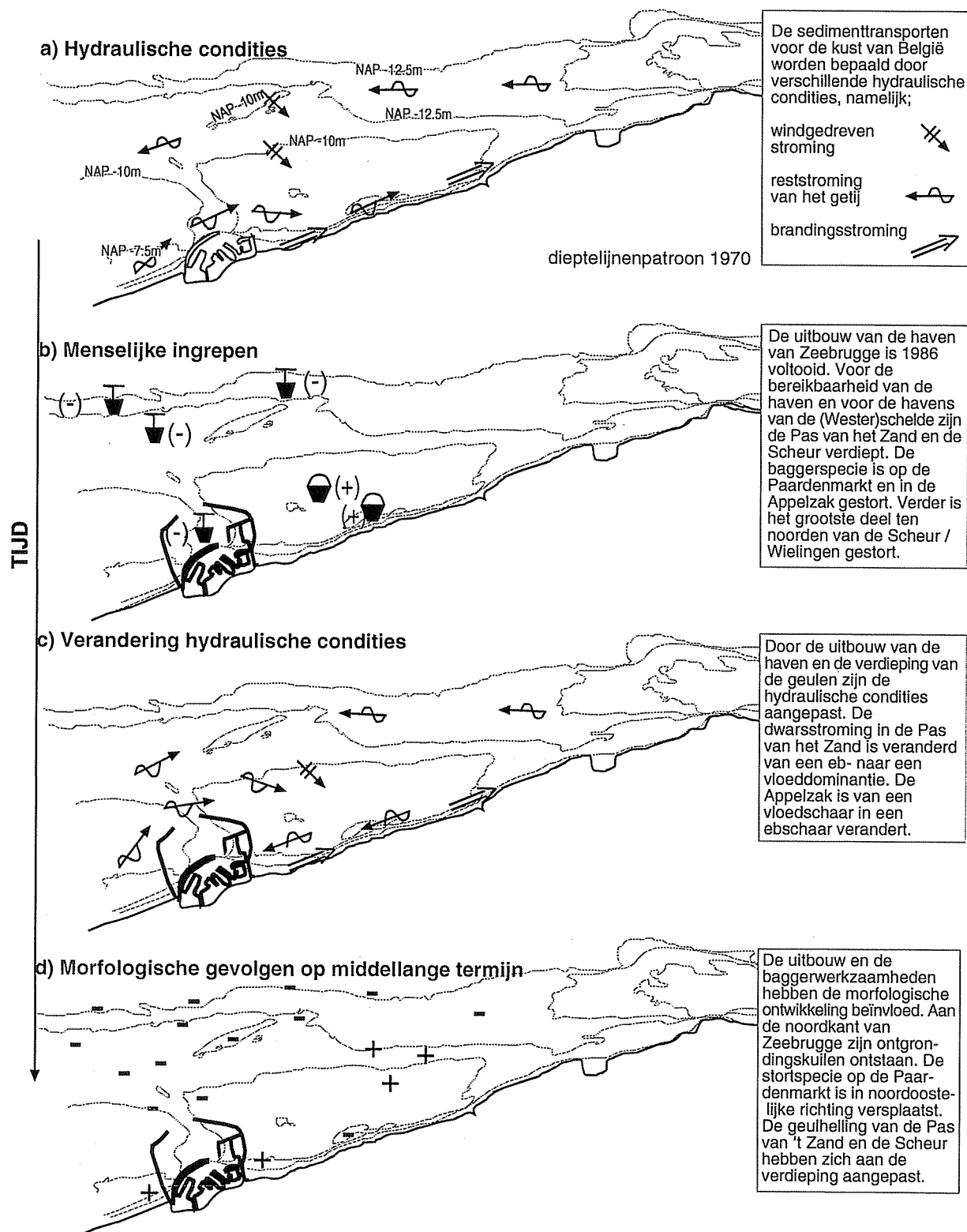
Langs de Belgische kust ten oosten van Zeebrugge vond in de 19^{de} eeuw sterke erosie plaats met uitzondering van het Zwin. Aan het begin van deze eeuw veranderde dit beeld en erodeerde het Zwin, terwijl de erosie langs de rest van de kust afnam (Roelse & Maranus, 1985). Deze afwisseling van erosie-sedimentatie in tijd en ruimte wordt veelal beschreven als zandgolven. De studie van Lambeek (1991) geeft aan dat er mogelijke een koppeling bestaat tussen het begin van de zandgolf en de locatie van de Appelzak. Ter hoogte van de drempel van de Appelzak wordt de kust uitgebouwd. Daarnaast is nog een tweede zandgolfmechanisme als gevolg van de meandering van de Appelzak (Lambeek, 1991). Deze twee mechanismen sturen de zandgolfbeweging langs de kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen aan. Het geërodeerde sediment wordt door kustlangstransport in noordoostelijke richting getransporteerd en vindt vooral tijdens de stormen in de winter plaats. Tijdens eb (laag strand) is de transportrichting tegengesteld en draagt bij aan de sedimentatie op het westelijke strand van Heist (Haecon, 1999). Dit transport treedt voornamelijk tijdens mooi-weer situaties op.

In 1920, 1955-1957 en 1968 zijn op enkele plaatsen langs de kust strandsuppleties uitgevoerd om de kust te herstellen en aantrekkelijker te maken voor recreatie (bijlage A). Onder andere om deze redenen en om een buffer op te bouwen tegen de kusterosie ten gevolge van de uitbouw van de haven van Zeebrugge is er in de periode 1977-1979 een grootschalige suppletie uitgevoerd langs de gehele kust (zie paragraaf 2.5). Na 7 jaar was echter bijna de helft verdwenen. Weliswaar kwam een deel ten goede aan de aangroei van de duinvoet, maar het grootste deel is uit het strandstelsel verdwenen. Het verlies van sediment trad vooral tijdens de winterperiode op. Een groot deel van dit sediment kwam in de Appelzak terecht, waarna het naar het noordoosten werd getransporteerd. In 1986 is bij de Knokke-Zoute een extra suppletie uitgevoerd. Binnen 4 jaar was het gesuppleerde sediment alweer geërodeerd. Nadien lijkt het erop dat het strand in evenwicht is, maar bij de vooroever treedt echter nog erosie op (AWZ, 1994). Het geërodeerde sediment komt via de vooroever in de Appelzak terecht, maar blijft niet liggen. De Appelzak is immers over de periode 1986-1993 met een halve meter verdiept.

Denkmodel:

golfwerking + brandingstroming → kusterosie → transport vooroever → transport Appelzak → getijstroming → transport sediment in noordoostelijke richting.

Effecten van uitbouw Zeebrugge en verdieping geulen



Figuur 3.3. Effecten van uitbouw Zeebrugge en verdieping geulen

Het Zwin

Op de Nederlands-Belgische grens ligt de slufte 'het Zwin' met een oppervlak van ongeveer 200 ha. en een opening van ongeveer 250 meter breed (Waterloopkundig Laboratorium, 1992). Het Zwin wordt omringd door de Internationale Dijk, die in 1870 is aangelegd en na de stormvloed van 1953 is gerenoveerd en verzwakt (Vermeulen, 1989). Het verzanden van het Zwin is al een aantal eeuwen aan de gang en men probeert dit al even lang tegen te gaan. In de 14^{de}, 15^{de} en 16^{de} eeuw werden verdiepingswerkzaamheden uitgevoerd om de verbinding tussen Brugge en de Noordzee bevaarbaar te houden (Ryckaert, 1989).

Tegenwoordig is de natuurwaarde van het gebied een belangrijke overweging om het Zwin in stand te houden. Dit gebeurt onder andere door de hoofdgeul regelmatig uit te diepen, zodat de getijwerking weer toeneemt en het intergetijde gebied regelmatig onder water komt te staan. Het gebaggerde zand wordt soms gebruikt voor suppleties langs de Nederlandse kust, zoals in 1997 toen 0.9 Mm³ zand is uitgegraven en gebruikt voor zandsuppletie (Haecon, 1999). Deze hoeveelheden komen ongeveer overeen met de normale suppletiehoeveelheden (tussen 0.2 en 1.0 Mm³). Als er geen maatregelen worden getroffen tegen de verzanding, zal het Zwin uiteindelijk verdwijnen. Dit komt omdat het in- en uitgaand debiet te klein is om het aangevoerde kustlangse materiaal geheel te verwijderen. Dit proces wordt tegen gegaan door de hoofdgeul regelmatig uit te diepen.

Langs de Nederlands-Belgische kust heeft het brandingstransport een resulterende noordoostelijke richting. Dit betekent dat het Zwin voornamelijk wordt gevoed door sediment van de Belgische kust. De uitgevoerde suppleties langs de Belgische kust van eind jaren zeventig hebben bijgedragen aan de versnelde verzanding van het Zwin, doordat het gesuppleerde zand in noordoostelijke richting wordt getransporteerd. Dit noordoostelijk gericht transport draagt tevens bij aan de migratie van de monding naar het noordoosten, waardoor de duinenrijen en de duinvoet bij Cadzand bedreigd worden (Kerckaert, 1989).

Denkmodel:

Brandingstransport → aanvoer van sediment → dicht slibben van de hoofdgeul → opengraven hoofdgeul

migratie van de hoofdgeul → erosie kust van Cadzand

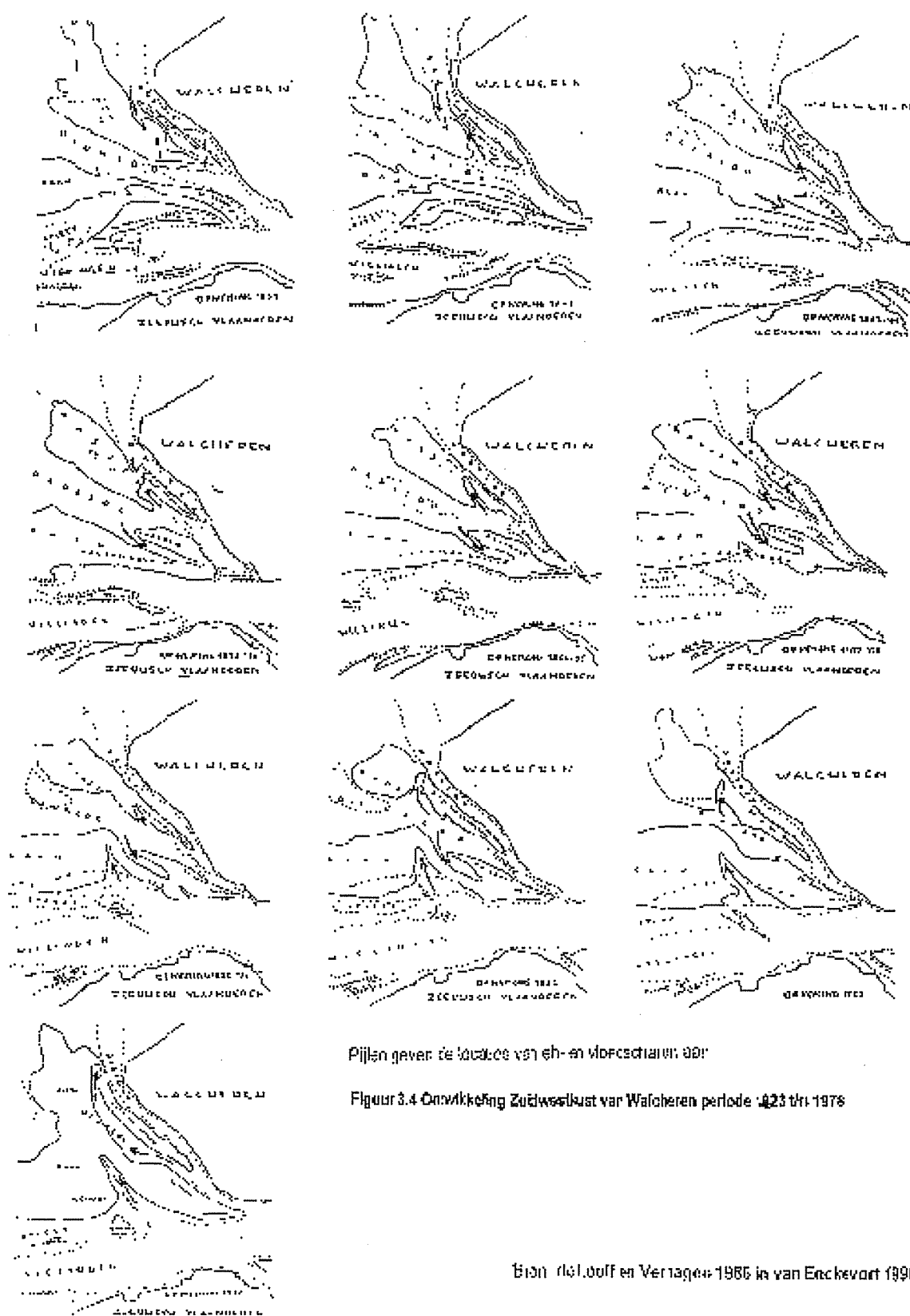
Kust van Zeeuwsch-Vlaanderen

De kustlijn van Zeeuwsch-Vlaanderen bestaat uit dijken van de verschillende polders. Door de verruiming en de zuidelijke migratie van de Wielingen en de invloed van de Appelzak zijn diverse polders verloren gegaan. Opwaaiing van sediment uit de geïnde polders in combinatie van aanvoer van sediment door de brandingstroming heeft geleid tot een zandige kust. Ook de dijken zijn onder het zand komen te liggen en wel zodanig dat het onderscheid tussen de dijken en de duinen soms moeilijk te maken is (De Ruig & Roelse, 1992).

Net als voor de kust van België ondervinden delen van de kust erosie terwijl op andere locaties sedimentatie en uitbouw van de kust optreedt. De zandgolven langs de kust van Zeeuwsch-Vlaanderen hebben een snelheid van ongeveer 100m per jaar en verplaatsen zich in oostelijke richting. Door de strandhoofden wordt de ontwikkeling van het strand vertraagd, waardoor deze achterloopt op de ontwikkeling van de vooroever. Het faseverschil tussen het strand, de vooroever en de duinvoet is ongeveer 15 jaar. Ook bestaat er een verschil in de horizontale amplitude van de zandgolven. Deze is op het strand ongeveer de helft van de amplitude van de vooroever (Roelse & Maranus, 1988). Door de migratie van de Zwingel naar het oosten ondervindt de kust bij Cadzand erosie. In het verleden vonden in de omgeving van Nieuwe Sluis diverse oevervallen plaats, terwijl dit deel van de kust tegenwoordig stabiel is. De kust tussen Nieuwe Sluis en Breskens is over de afgelopen honderd jaar over het algemeen stabiel (De Ruig & Roelse, 1992).

De afstand van de kust van Zeeuwsch-Vlaanderen tot de Wielingen is beduidend kleiner dan de afstand tussen de Belgische kust en de Wielingen. De oevers van dit deel van de kust zijn dan ook steil. Doordat dit deel van de kust dichtbij de Wielingen ligt wordt het logischerwijs sterk beïnvloed door de ontwikkeling van deze geul. De strandhoofden met de bezonken of bestorten koppen moeten de getijstroming uit de kust houden en de brandingstroming op het strand reduceren. De aanleg (1956/1957) en de uitbreiding (1971) van de veerhaven in Breskens heeft geleid tot sedimentatie aan de westzijde van de haven (Groenendijk, 1995).

Wielingen → erosie aan noordkust van Zeeuwsch-Vlaanderen
aanvoer van sediment vanuit België → sedimentatie langs kust
migratie van Zwin geul → erosie van duinen bij Cadzand



3.2.3 Denkmodel kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen

De verschillende morfologische eenheden binnen dit subsysteem zijn direct of indirect aan elkaar gerelateerd, wat reeds is gebleken uit het bovenstaande verhaal. De ontwikkeling van de verschillende morfologische eenheden compenseren of versterken elkaar, waardoor het netto resultaat niet veranderd of juist groter wordt. Een voorbeeld hiervan is het verdwijnen van de Bol van Heist. Een denkmodel van de ontwikkeling van de kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen is voor twee ingrepen uitgewerkt (figuur 3.2. en figuur 3.3.). De grootschalige zandsuppletie langs de Belgische kust heeft eerst een positief effect. Door de stormen en het getij wordt een deel van het gesuppleerde sediment geërodeerd en in de Appelzak gesedimenteerd. Een deel van dit sediment verdwijnt tijdens storm en springvloed in de richting van de Nederlandse kust en het Zwin (figuur 3.2c). Door de verzanding van de Appelzak neemt de kusterosie af (figuur 3.2d). De zandsuppleties zouden dus op lange termijn ook een positief effect hebben, ware het niet dat de haven van Zeebrugge kort daarna is uitgebreid. De gevolgen van de uitbouw van de haven van Zeebrugge en de verdiepingen van de geulen zijn in figuur 3.3 weergegeven. Door de verdieping en de uitbouw zijn de hydraulische condities veranderd (figuur 3.3c). Als gevolg van deze hydraulische condities wordt de morfologische ontwikkeling beïnvloed. De hellingen van de verdiepte geulen passen zich aan de nieuwe situatie aan. De gestorte baggerspecie op de Paardenmarkt wordt in noordoostelijke richting en in de richting verspreid. De verzanding van de Appelzak die was opgetreden na de suppleties, slaat om in erosie van deze geul. Hierdoor neemt de kusterosie ter hoogte van de geul weer toe. De omvang van de Appelzak blijft echter kleiner dan in 1970. De hydraulische condities die in figuur 3.3c worden geschetst dienen als basis voor de voorspelling van de ontwikkeling van de morfologie van dit subsysteem.

3.3 Zuidwestkust van Walcheren

3.3.1 Algemene beschrijving

De Zuidwestkust van Walcheren wordt in dit onderzoek breed beschouwd. Onder de Zuidwestkust van Walcheren valt de Rassen, de Nolleplaat, de Geul van de Rassen, de Deurloo-oost, het Bankje van Zoutelande, het Oostgat en de kuststrook (zie figuur 2.1.).

De kust van Walcheren wordt beschermd door middel van paalschermen en door harde bolwerken aan de kop bij Westkapelle en Vlissingen. Het Oostgat ligt dicht onder de kust en heeft in het noorden de grootste diepte, ongeveer 30 meter beneden NAP (Bijlage B). In het zuiden scheidt de Galgeput het Oostgat van de Sardijngeul. De Sardijngeul sluit via een drempel aan op de Wielingen. De Galgeput is het punt waar het Oostgat en de Deurloo-oost samenkomen. Ten noorden van de Deurloo-oost ligt de Geul van de Rassen, onderdeel van het Deurloo-systeem. Dit Deurloo-systeem wordt van het Oostgat gescheiden door het Bankje van Zoutelande. Aan de westzijde van het Deurloo-systeem ligt in het noorden de Rassen en in het zuiden de Nolleplaat. Deze twee ondiepten zijn met een smalle bank verbonden.

3.3.2 Morfologische ontwikkeling

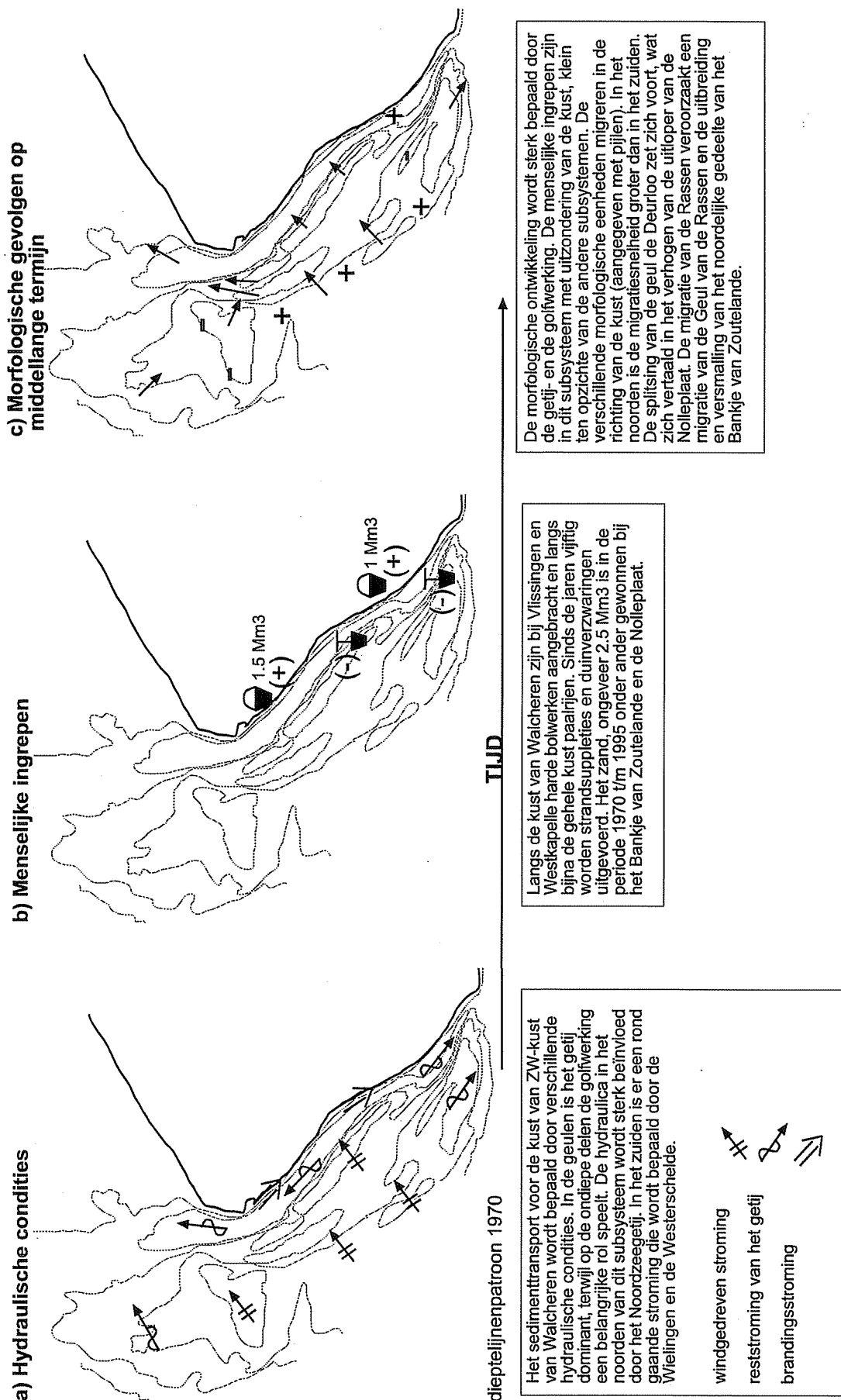
Rassen

De Rassen omvatten in 1800 een groot ondiep gebied in de driehoek van Deurloo-Oostgat en Noordzee (figuur 3.4). Door de uitbreiding van de Deurloo en door de ontwikkeling van een aantal ebscharen van de Deurloo neemt het oppervlak van de Rassen sterk af. Rond 1970 wordt de verbinding tussen de Rassen en het Bankje van Zoutelande verbroken door de ontwikkeling van de Geul van de Rassen. Tevens ontstaat er een verbinding tussen de Rassen en de Elleboog. De afgelopen twintig jaar is de Rassen in oostelijke en noordelijke richting uitgebreid. Deze ontwikkeling heeft tot gevolg gehad dat de Geul van de Rassen aan de noordzijde is versmald. Het zandvolume van de Rassen fluctueert, maar volgt geen duidelijke trend (Van der Slikke, 1998a).

Nolleplaat en Elleboog

De Elleboog is een ondiepte tussen het Oostgat en de Wielingen en was via een smalle ondiepe strook verbonden met de ondiepte van de Raan. Aan het einde van de 19^{de} eeuw wordt een andere ondiepte genoemd namelijk de Nolleplaat. De Nolleplaat is een ondiepte in de Sardijngeul en ligt in het zuidelijk deel van deze geul tegen de Wielingen aan. In eerste instantie ligt het zwaartepunt van deze ondiepte aan de landzijde, maar al snel is de Nolleplaat verbonden met de Elleboog (1894). Door de ontwikkeling van een vloedschaar van de Deurloo wordt de

Effecten van menselijke ingrepen op de Zuidwestkust van Walcheren



Figuur 3.5. Effecten van menselijke ingrepen op de Zuidwestkust van Walcheren

verbinding tussen de Raan en de Elleboog verbroken en ontstaat er een zuidelijke verbinding met de Walvischstaart. Ook deze verbinding wordt verbroken, dit maal door de ontwikkeling van de Geul van de Walvischstaart. Rond dezelfde tijd krijgt de Elleboog een aansluiting met de noordelijk gelegen Rassen. Hiermee is de scheiding van de Deurloo in een oostelijk en westelijk deel definitief. De afgelopen 25 jaar is er sedimentatie opgetreden aan de zuidkant van de Elleboog en de Nolleplaat. Door zandwinning is het zandvolume van de Nolleplaat aan de zijde van de Sardingeul afgenomen. De uitloper tussen de Elleboog en de Rassen is over deze periode in oostelijke richting gemigreerd. Net als de Rassen worden op de Elleboog golven gebroken. Door de geringe omvang van de Elleboog ten opzichten van de Rassen is het effect klein. De hoogte van beide morfologische eenheden is ongeveer gelijk.

Deurloo-oost

Tot 1930 is Deurloo-oost / Deurloo-west één geulsysteem en vormt de centrale hoofdgeul van de Westerscheldemonding. In 1930 wordt de aanzet gegeven tot de splitsing van de geul, welke in de begin jaren zeventig definitief wordt. Door de splitsing van de Deurloo en de ontwikkeling van de ondiepte tussen de Rassen en de Elleboog verandert de oriëntatie van de Deurloo-oost. De Deurloo-oost heeft tegenwoordig een meer noord-zuid oriëntatie, terwijl die voorheen een zuidoost-noordwest oriëntatie had. De veranderingen over de laatste twintig jaar zijn gering, breedte, diepte en doorstroomoppervlak blijft in deze periode ongeveer gelijk (Van der Slikke, 1998a). Sinds de splitsing van de Deurloo is de Deurloo-oost verbonden met de Geul van de Rassen. Deze twee geulen zorgen voor de aan- en afvoer van water van en naar de Raan.

Geul van de Rassen

De Geul van de Rassen is ontstaan rond de jaren zeventig vanuit een ebschaar van de Deurloo. Door de ontwikkeling van de Geul van de Rassen zijn de Rassen en het Bankje van elkaar gescheiden. De migratie van de ondiepte tussen de Rassen en de Elleboog veroorzaakt een versmalling van de Geul van de Rassen en leidt niet tot compensatie aan de oever van het Bankje van Zoutelande. Wel is er erosie aan deze zijde van het Bankje van Zoutelande opgetreden. Het noordelijke deel van de Geul van de Rassen migreert in oostelijke richting net als de migratie van de Rassen. In de periode tussen 1970 en 1995 is een kortsluitgeultje ontstaan tussen de Geul van de Rassen en het Oostgat en is in de periode 1970 - 1997 naar het zuiden gemigreerd (Bijlage B).

Bankje van Zoutelande

Op de huidige locatie van het Bankje van Zoutelande heeft al over de afgelopen twee eeuwen een ondiepte gelegen. De veranderingen van het Bankje van Zoutelande zijn vooral het gevolg van veranderingen van het geulensysteem aan de westzijde. Een groot deel, voornamelijk het zuidelijke deel, heeft de afgelopen eeuwen weinig grootschalige veranderingen ondergaan. In de vorige eeuw is het Bankje aan de Rassen gegroeid. Door het ontstaan van de Geul van de Rassen is het Bankje van Zoutelande aan de noordzijde versmald. De afgelopen 20 jaar heeft door de noordelijke uitloper van de Geul van de Rassen het bankje zich verder naar het noorden ontwikkelt. Dit is echter een smalle uitloper die mogelijk door draaiing van de Geul van de Rassen naar het oosten, weer zal verdwijnen (Israël, 1993). In deze periode is op het Bankje van Zoutelande een kleine kortsluitgeul tussen de Geul van de Rassen en het Oostgat ontstaan. Deze kortsluitgeul is in de laatste jaren weer kleiner geworden en naar het zuiden gemigreerd (Van der Slikke, 1998b).

De stroming over het Bankje van Zoutelande blijkt sterk te veranderen onder invloed van stormen. Door deze stormen neemt de stroming over het Bankje van Zoutelande naar het Oostgat toe en daarmee vermoedelijk ook het zandtransport. Tijdens rustig weer condities is er ook een stroming over het Bankje van Zoutelande gericht, maar deze is niet zo groot als die tijdens stormcondities. Deze dwarsstroming leiden echter niet tot grote morfologische veranderingen, althans niet binnen een stormseizoen (Van der Slikke, 1999a). Ook over de afgelopen vijftientig jaar is de basis van het Bankje van Zoutelande niet sterk gemigreerd. De morfologische veranderingen van het Bankje van Zoutelande zijn van noord naar zuid erg verschillend. In het noorden is een migratie naar de kust aanwezig, terwijl in het zuiden de migratie zeewaarts is. Dit laatste hangt mogelijk samen met de zandwinning aan de zijde van het Oostgat. De verandering aan de zeezijde van het Bankje zijn over het algemeen groter dan aan de landzijde (Van der Slikke, 1999b).

Oostgat

Het Oostgat is een kortsluitgeul tussen de Wielingen en de Noordzee. De waterstandsverschillen tussen Westkapelle en Vlissingen worden niet alleen bepaald door verschillen in getijfase, maar ook door verschillen in getijamplitude. Dit in tegenstelling tot de Scheur / Wielingen waarin de waterstandsverschillen voornamelijk door het fase verschil tussen Zeebrugge en Vlissingen wordt bepaald (Svašek, 1998b). Van het eb- en vloeddebiët stroomt minder dan een kwart door het Oostgat, het grootste deel stroomt door de Scheur / Wielingen en een klein deel over de Raan en door

het Oostgat. Het debiet en het doorstroomoppervlak nemen in het Oostgat in noordelijke richting toe. Wat waarschijnlijk samenhangt met de vloeddominantie van de geul en de toename van debiet in noordelijke richting als gevolg van afwateren van de Vlake van de Raan.

De morfologische ontwikkeling van het Oostgat wordt voornamelijk bepaald door het getij in tegenstelling tot de meeste andere morfologische eenheden in dit subsysteem. Het Oostgat migreert geleidelijk richting de kust van Walcheren, maar wordt hierin sterk belemmerd door de geologische ondergrond en de kustverdedigingen. De migratie van het Oostgat wordt waarschijnlijk mede bepaald door de kustwaartse migratie van het Bankje van Zoutelande.

In het noorden heeft het Oostgat een diepte van ruim 30 meter en in het zuiden is deze ruim 10 meter beneden NAP. Bij de zuidelijke punt van het Bankje van Zoutelande ligt de Galgeput. Deze drempel tussen de Sardijngeul en het Oostgat is het splitsingspunt van de Sardijngeul in het Oostgat en de Deurloo. In de periode 1970 tot 1997 is de Galgeput in diepte toegenomen. De Sardijngeul heeft een diepte van ongeveer de NAP -10m en sluit in het zuiden aan op de Wielingen.

Kust van Zuidwest Walcheren

De erosiesnelheid van de kust van zuidwest Walcheren ligt tussen de 0,4 meter en de 1 meter per jaar. Met uitzondering van enkele raaien waar een aanzandende trend is aangetoond (DHV, 1998). Uit dezelfde studie is gebleken dat de kust van Walcheren weinig dynamisch is. De kustachteruitgang wordt tegengegaan door de paalrijen die langs het grootste deel van de kust staan en die de brandingsstroming uit de kust moeten houden. Tussen Dishoek en Zoutelande zijn geen paalrijen aanwezig wat samenhangt met de knik in de kust en het Oostgat meer ruimte heeft. Tegenwoordig wordt de kustachteruitgang tegengegaan door regelmatig te suppleren.

De kusterosie van Zuidwest Walcheren wordt toegeschreven aan de erosiekracht van het Oostgat. Ondanks de stormen die in het winterseizoen 1997/1998 zijn de morfologische veranderingen aan de kust zeer gering. Dit wijst erop dat de kustachteruitgang eerder samenhangt met continue processen dan met incidentele processen zoals stormen (Van der Slikke, 1999a).

Denkmodel:

breken van golven + getijstroming → sediment transport in oostelijke + noordelijke richting → uitbreiding naar het noord + oosten → Geul van de Rassen wordt versmald + verdiept → Geul van de Rassen krijgt een zuidelijkere uitloop naar het Oosten → ontwikkeling van de Rassen zal niet heel ver oostelijk gaan in verband met het Oostgat.

3.3.3 Denkmodel Zuidwestkust van Walcheren

In het subsysteem (schema 3.5) zijn de menselijke ingrepen van onderschikt belang in vergelijking met de overige subsystemen waar bagger- en stortwerkzaamheden een belangrijke rol spelen in de huidige ontwikkeling. Dit deel van de Westerscheldemonding wordt bepaald door de combinatie van getij- en golfwerking. In de diepe geulen (met name het Oostgat) is de getijwerking bepalend voor de ontwikkeling van de morfologie. Uit de meetcampagne is gebleken dat de stromingspatronen op de zeewaartse helling van het Oostgat weinig invloed ondervinden van stormcondities (Van der Slikke, 1999a). In de overige morfologische eenheden en met name de ondiepe delen spelen de golfwerking en de windgedreven stroming een belangrijkere rol.

De golf- en getijwerking veroorzaken een migratie in het noordelijk deel van het subsysteem in oostelijke richting. De migratiesnelheid neemt in kustwaartse richting af. Deze afname in migratiesnelheid wordt waarschijnlijk bepaald door kustverdedigingen en de geologisch resistente lagen van de kust en door de getijstroming in het Oostgat. Bij de kop van Schouwen ligt een gelijksoortig systeem van banken en geulen voor de kust. De minder resistente ondergrond van Schouwen en het achterwege blijven van de kustverdediging (tot halverwege deze eeuw) veroorzaakt een hogere migratiesnelheid dan bij de kust van Walcheren (Van der Slikke, 1999b).

Het zuidelijk deel van dit subsysteem, de Nolleplaat en de Elleboog, worden ook beïnvloed door de Wielingen en de Geul van de Rassen. In het zuidelijke deel vindt afwatering plaats in zuidelijke richting, terwijl in het noordelijk deel de afwatering in noordoostelijke richting plaats vindt.

3.4 Scheur / Wielingen en Pas van het Zand

3.4.1 Algemene beschrijving

Dit subsysteem bestaat uit een drietal geulen die sterk worden beïnvloed door de baggerwerkzaamheden. Voor het verbeteren van de bereikbaarheid van de haven van Zeebrugge is de Pas van het Zand (figuur 2.1.) uitgediept. Deze geul is de verbindingsgeul tussen de haven van Zeebrugge en de geul Wielingen / Scheur. De Scheur is eveneens uitgebaggerd voor de verbetering van de bevaarbaarheid van de havens langs de Westerschelde en de Schelde. De Scheur is tegenwoordig verbonden met de Wielingen en daarom wordt meestal gesproken over de Scheur / Wielingen. De Scheur / Wielingen heeft een oost-westelijke oriëntatie en neemt ter hoogte van de Tienhonderdpolder ongeveer driekwart van het volume voor haar rekening (Meetdienst Zeeland, 1998). Het ebvolume van de Scheur / Wielingen is groter dan het vloedvolume. De Wielingen sluit in de hals van de Westerschelde aan op de Schaar van de Spijkerplaat en de Honte.

3.4.2 Morfologische ontwikkeling

Scheur / Wielingen

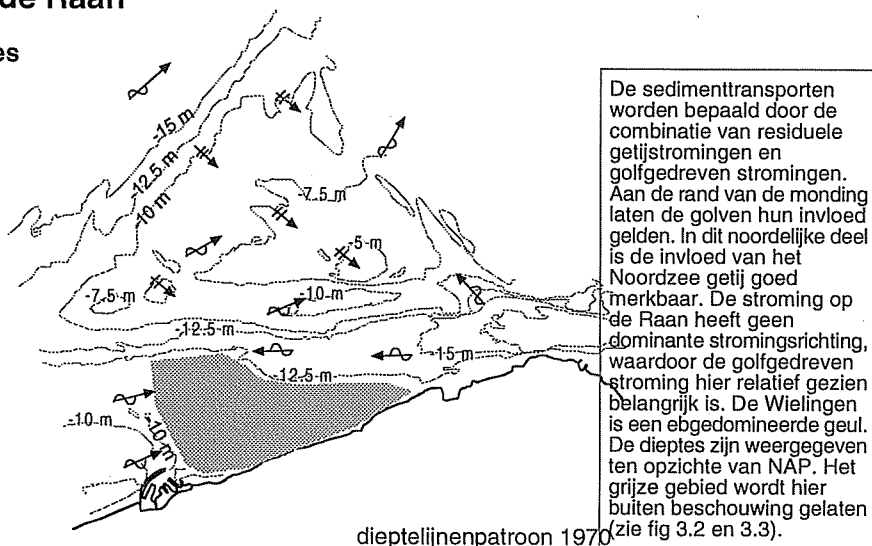
Aan het begin van de 19^{de} eeuw lag de Wielingen dichter bij de kust dan tegenwoordig (figuur 3.1.). In die tijd bestond er geen directe verbinding tussen het oostelijk en het westelijk deel van de Wielingen, de Scheur bestond nog niet. Het oostelijke deel van de Wielingen, nabij de hals, bestond een aantal ebscharen, waaronder de Fransche Pas die tegen de kust van Zeeuwsch-Vlaanderen aanlag. Deze kleine geul verbond het oostelijk en het westelijk deel van de Wielingen. In 1878 nam het westelijk deel van de Wielingen in sterk omvang af en ontstond er aan de noordzijde van de geul een ebschaar. Deze ebschaar ontwikkelde zich tot een nieuwe geul, de Scheur, ten noorden van de Bol van Heist. De Scheur heeft een meer noordelijke positie en is in omvang groter dan het voormalig westelijk deel van de Wielingen. Met deze ontwikkeling is het zwaartepunt van de geulen naar het noorden gemigreerd. Naast de zuidelijke verbinding, de Fransche Pas, tussen de twee geulen ontstaat er een noordelijke verbinding tussen de Sluissche Hompels en de Bank van Cadzand door. Hiermee wordt de aanzet gegeven van de verdwijning van de Bank van Cadzand (Van Cauwenberghe, 1966). De trage ontwikkeling van de geulen en het lang in stand houden van de verschillende banken en hompels hangt waarschijnlijk samen met de resistente ondergrond van dit gebied. Door deze resistente ondergrond, o.a. de Boomse Klei, worden mogelijk de huidige ontwikkelingen van de diepste delen van de Wielingen geremd in hun westwaartse uitbreiding en wordt ook hun noordwaartse migratie bemoeilijkt (Van der Spek, 1997b). De verschuiving van het zwaartepunt van de geulen naar het noorden wordt verder versterkt door de baggerwerkzaamheden die sinds de jaren zestig worden uitgevoerd. Vanaf 1961 is de Wielingen één groot ebsysteem en is de Wielingen niet zoals voorheen doorbroken door allerlei eb- en vloedscharen (Van der Spek, 1997b).

Vanaf de jaren zestig nemen de kunstmatige ingrepen in dit subsysteem en in de omgeving van dit subsysteem sterk toe. Door de baggerwerken in de Scheur wordt de geul op de gewenste vaargeul diepte gebaggerd en gehouden. Een smal, centraal deel van de geul wordt op diepte gebracht, maar ook de oevers van de geul zijn dieper komen te liggen. Zowel aan de noordkant als aan de zuidkant is de geul geërodeerd als gevolg van natuurlijke processen. Ten noorden van de Paardenmarkt treedt echter een versmalling op van de geul. Mogelijk is dit het gevolg van de stortactiviteiten op de Paardenmarkt. In de periode 1969 t/m 1993 neemt het zandvolume van de Wielingen /Scheur met 125 Mm³ af en wordt erin die periode 235 Mm³ gebaggerd (Van der Slikke, 1998a). Dit verschil tussen de volumeafname en de baggerhoeveelheden kan verklaard worden door een aantal factoren. Ten eerste betreffen de baggergegevens zand en slibhoeveelheden, terwijl de volumeberekeningen uitgaan van zandvolumes. Het gebaggerde sediment van de Scheur en Wielingen bestaat uit fijn zand met een D₅₀ van 180 – 220 µm en slib (30% klei en 70% silt) (Malherbe, 1991). Dit betekent dus dat de baggergegevens een overschatting zijn van de werkelijke hoeveelheden gebaggerd zand. Ten tweede kan het verschil tussen de volumeafname en de baggerhoeveelheden verklaard worden doordat een groot deel van het gestorte sediment naar de geulen wordt getransporteerd. Het gaat daarbij vooral om het gestorte slib en in mindere mate om het gestorte zand, wat voor het grootste gedeelte op de stortlocatie achterblijft. Tot slot kan het verschil deels verklaard worden door de onnauwkeurigheden in de baggergegevens en in de volumeberekeningen.

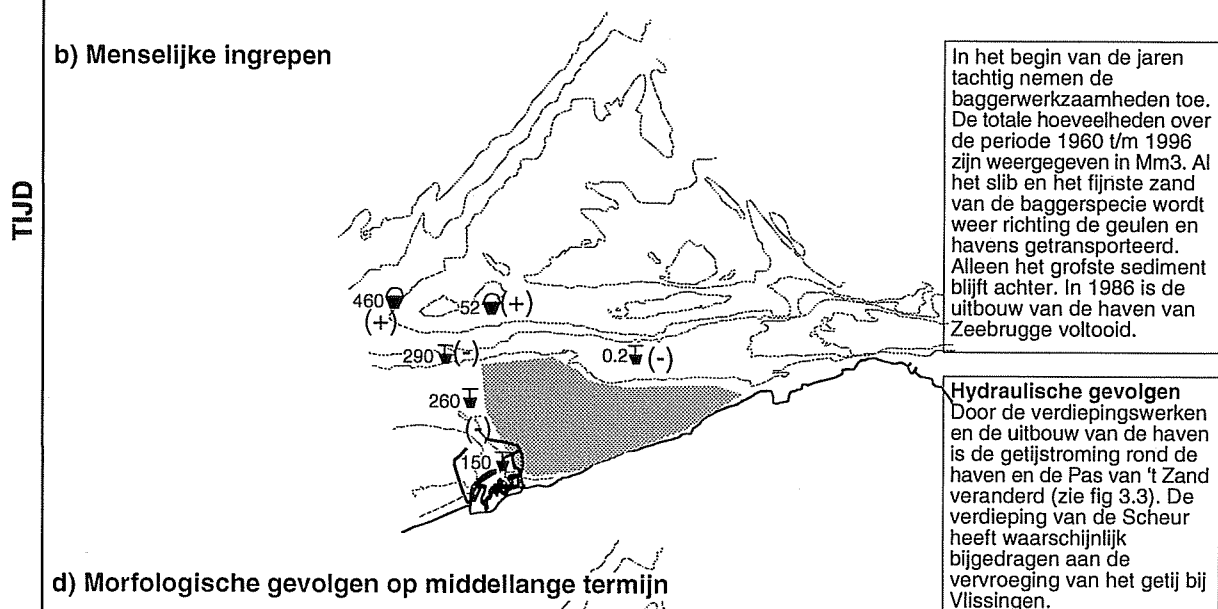
Het verdiepen van de Scheur / Wielingen heeft mogelijk tot gevolg gehad dat het getij bij Vlissingen is vervroegd met 25 seconde per 10 jaar (Svašek, 1997). In dat zelfde rapport wordt een voorlopige prognose gedaan van het grootschalige gedrag; "de doorgaande verdieping van Scheur / Wielingen en de Westerschelde zal tot gevolg hebben dat de fase- en amplitudeveranderingen bij Vlissingen zullen doorzetten. De gevolgen daarvan voor de stroming in het Oostgat zullen dan ook steeds duidelijker merkbaar worden". Uit dit onderzoek is gebleken dat de stroomsnelheid in het Oostgat door de huidige verdieping van de Scheur is afgenomen, terwijl uit een andere studie blijkt dat de

Effecten van menselijke ingrepen op de Scheur / Wielingen, de Pas van 't Zand en de Raan

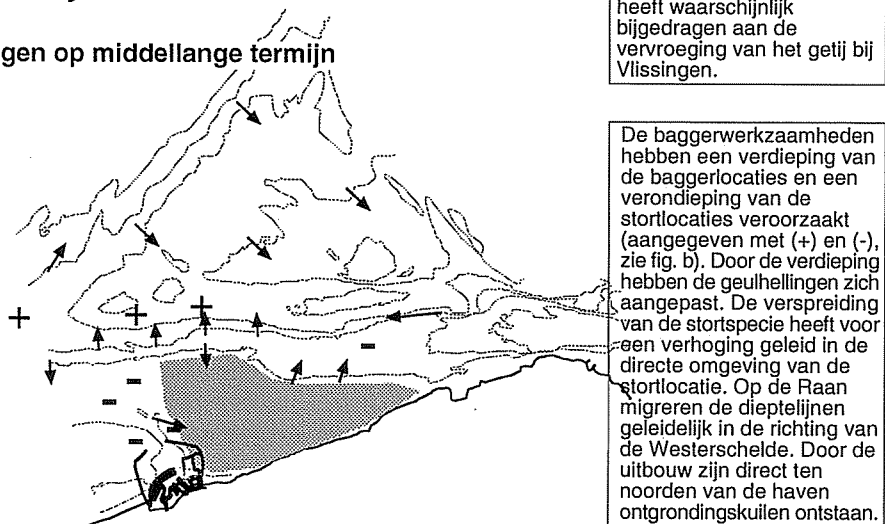
a) Hydraulische condities



b) Menselijke ingrepen



d) Morfologische gevolgen op middellange termijn



Figuur 3.6. Effecten van menselijke ingrepen op de Scheur / Wielingen, de Pas van 't Zand en de Raan

stroming door een verdere verdieping van de Scheur de stroomsnelheid in het Oostgat juist toeneemt (Arends & Van Maldegem, 1999).

De uitbouw van de haven van Zeebrugge heeft ook effect gehad op de ontwikkeling van de Scheur / Wielingen, zij het dat de invloed minder groot is dan de baggerwerkzaamheden. Door de verandering van eb- naar vloeddominantie van de Pas van het Zand wordt de stroming versterkt en veroorzaakt verdieping van de Wielingen. Eveneens wordt geconstateerd dat de drempel van tussen de Scheur / Wielingen is verdwenen, wat gekoppeld is aan de ontwikkeling van het westelijk deel van de Wielingen naar een vloedschaar (Haecon, 1983a, in Haecon, 1999). In tegenstelling tot het bovengenoemde wordt in (Haecon, 1983b in Haecon, 1999) beweert dat de Wielingen van nature neigt aan te slibben. Dit zou het gevolg zijn van het verplaatsen van het troebelheidsmaximum dat zich na de uitbouw van de haven van Zeebrugge heeft verplaatst naar het gebied tussen Zeebrugge en het Zwin en zich tot aan de Wielingen uitsterkt.

Pas van het Zand

Tot aan het begin van deze eeuw bestond de Pas van het Zand niet en lag voor de kust van Zeebrugge de ondiepte het Zand (figuur 3.1). Bij de eerste uitbouw van de haven van Zeebrugge aan het begin van deze eeuw ontstond ten noorden van de havendam een ontgrondingskuil. Aan het begin van de jaren zestig werd begonnen met het uitdiepen van het Zand en zo ontstond de Pas van het Zand. In de eind jaren zeventig en begin jaren tachtig werden grote hoeveelheden sediment uit de Pas van het Zand gebaggerd. In de periode 1960 t/m 1996 bedroeg de totale hoeveelheid gebaggerd sediment 257 Mm³ (Bijlage A). Van deze baggerspecie werd 75% op de stortlocatie S1 bij de Droogte van Schooneveld gestort.

Door het uitdiepen van het Zand en door de uitbouw van de haven van Zeebrugge veranderde rond 1980 de stromingspatronen in dit gebied. De resultante van het sedimentoverschot veranderde van een eboverschot in een vloedoverschot (Haecon, 1983a, in Haecon, 1999). Deze veranderingen heeft onder andere invloed gehad op de ontwikkeling van de Bol van Heist, zoals reeds eerder is vermeld. Naast de verandering van richting nam het suspensietransport over de Pas van het Zand met een factor 5 toe, waardoor na 1980 de Belgische kust ten oosten van Zeebrugge grote hoeveelheden slibmateriaal ontvangt (Haecon, 1983a, in Haecon, 1999). In bijlage B is te zien dat aan de flanken van de Pas van het Zand verdieping heeft plaats gevonden. Bij de havendammen is dit direct het gevolg van de uitbreiding van de haven en de aanleg van de havendammen, wat de ontgrondingskuilen tot gevolg heeft gehad. In noordelijke richting is dit waarschijnlijk meer het gevolg van de veranderingen van de stroming.

3.4.3 Denkmodel Scheur / Wielingen en Pas van het Zand

De morfologische ontwikkeling van de Scheur en de Pas van het Zand worden sinds het begin van de jaren zestig sterk bepaald door de menselijke ingrepen in dit gebied. Door de baggerwerkzaamheden zijn beide geulen verdiept en worden ze op diepte gehouden. In de Wielingen zijn de menselijke ingrepen beperkt gebleven. Deze verdiepingen hebben gevolgen voor de hydraulica van de Scheur / Wielingen, voor de aangrenzende gebieden en op termijn mogelijk ook voor de gehele Westerscheldemonding. De effecten van de verdieping staan schematisch weergegeven in figuur 3.6. In dit figuur is tevens het denkmodel van de Raan weergegeven.

3.5 Raan

3.5.1 Algemene beschrijving

Over de omvang van de Raan worden verschillende definities gehanteerd. In dit onderzoek wordt het gebied aangeduid als het gebied ten noorden van de Scheur / Wielingen en ten westen van de Rassen en de Nolleplaat en met als noordelijke grens de NAP -20 meter lijn. Geheel aan de oostkant van dit gebied liggen de twee nevengeulen de Deurloo-west (figuur 2.1.) en de Geul van de Walvischstaart. De Deurloo-west ligt in het noorden en is verbonden met de Noordzee, terwijl de Geul van de Walvischstaart in het zuiden ligt en een ebschaar is van de Wielingen. Naast deze twee nevengeulen ligt er een nevengeul, de Spleet, evenwijdig aan de Wielingen /Scheur. De rest van het gebied is ondiep met daarbij de grootste ondiepte de Vlake van de Raan aan de zuidzijde ten noorden van de Spleet en de Droogte van Schooneveld. Deze laatste ondiepte wordt gebruikt als stortlocatie. Tevens zijn er stortlocaties ten westen van de Spleet. De hoogte van de Raan ligt tussen de NAP -20m (in het noorden) en de NAP -2m.

3.5.2 Morfologische ontwikkeling

Deurloo-west

In 1800 was de Deurloo-west nog verbonden met Deurloo-oost en was de Deurloo één van de drie hoofdgeulen. Rond 1930 werd de aanzet gegeven voor de splitsing van de Deurloo in een oostelijk en een westelijk deel. Aan de noordzijde ontstond een ebschaar die ongeveer overeenkomt met huidige ligging van de Geul van de Rassen. Ongeveer tegelijkertijd ontwikkeld de Geul van de Walvischstaart zich en wordt de Deurloo smaller. In 1972 is de scheiding van het westelijk en het oostelijk deel van de Deurloo een feit. De veranderingen over de afgelopen dertig jaar zijn zeer gering. Het zandvolume is over de periode 1970 – 1993 iets afgenomen. In de periode 1975-1980 is het zandvolume tijdelijk sterk toegenomen. Het is echter niet zeker of deze veranderingen het gevolg zijn van de natuurlijke variaties of van de lodingson nauwkeurigheden. De migratie van de geul is ver de periode 1970-1992 gering.

Geul van de Walvischstaart

De Geul van De Walvischstaart bestond in 1800 nog niet (figuur 3.4.). Wel was er een ondiepte de Walvischstaart genaamd. Deze ondiepte lag aan de noordzijde van het oostelijk deel van de Wielingen net ten zuidwesten van de Elleboog. De Walvischstaart vergroeide aan het einde van die eeuw met de Vlakte van de Raan. Halverwege de jaren twintig ontstaat er een ebschaar aan de noordzijde van de Wielingen net ten oosten van de Sluissche Hompers. Deze ebschaar ontwikkeld zich verder tot de Geul van de Walvischstaart en draagt bij aan de splitsing van de Deurloo. De laatste dertig jaar zijn de veranderingen gering. De fluctuaties van het zandvolume over een periode van 10 jaar zijn niet groter dan 3 Mm^3 . Net als de Deurloo-west treedt er een toename van het zandvolume op in de periode 1970-1980. Dit patroon van toe- en afname van het zandvolume is voor de verschillende vakken op de Raan over het algemeen het zelfde met uitzondering van de stortlocaties. Over de periode 1970-1993 vindt er sedimentatie aan de westzijde en erosie aan de oostzijde van de geul plaats.

Spleet

De Spleet loopt ongeveer evenwijdig aan de Wielingen en ligt tussen de Wielingen en de Vlakte van de Raan. Rond 1800 heeft deze vloedgeul redelijk diepte en is groot ten opzichte van de huidige geul. De Spleet neemt in omvang af en migreert in oostelijke richting (Van Cauwenberghe, 1966). Het zandvolume neemt over de periode 1970 t/m 1985 met ongeveer 4 Mm^3 toe. Vanaf 1985 is het zandvolume van de geul stabiel. In de periode 1970 tot en met 1997 migreert de Spleet in oostelijke richting, richting de Geul van de Walvischstaart.

Droogte van Schooneveld / Stortlocaties

Eén van de belangrijkste stortlocaties is de Droogte van Schooneveld, de westelijke punt van de Raan. Een andere locatie (ten noorden van de Wielingen) is aan de zuidkant van de Raan ten westen van de Spleet (Bijlage A). De Droogte van Schooneveld is over de periode 1800 t/m 1960 over het algemeen zeer stabiel. Van Cauwenberghe schrijft hierover "De grote stabiliteit der Schooneveldbank en de Raan is verder opmerkelijk".

De veranderingen na 1960 zijn het gevolg van de stortactiviteiten in dit gebied. Het zandvolume is over de periode 1969 t/m 1993 toegenomen met 40 Mm^3 , terwijl in dit gebied 415 Mm^3 sediment gestort is. De verklaring van dit verschil zit voor een deel in het feit dat het gestorte materiaal uit zand en slib bestaat, terwijl de gemeten veranderingen van volume het zand betreft. De exacte hoeveelheid gestort zand is niet bekend. Het gestorte zand blijft achter, terwijl het slib door golven en stroming wordt uitgespoeld. Het uitspoelen van het slib vindt vrij snel (enkele dagen) na de storting plaats. De transportrichting is voor een deel afhankelijk van de weers- en getijomstandigheden tijdens het storten. Het grootste verlies van de stortlocaties S1 en S2 vonden plaats tijdens de periode 1976 – 1982, in de tijd dat er intensief gestort werd in verband met de uitbouw van de haven van Zeebrugge (Malherbe, 1991). De residuele stroming van S1 is westwaarts gericht, maar wordt sterk bepaald door de wind. S1 van de verschillende stortlocaties de grootste stortefficiëntie (Haecon, 1986).

Vlakte van de Raan

De Vlakte van de Raan is het ondiepe deel aan de zuidzijde van de Raan en ligt aan de noordzijde van de Spleet. De ontwikkelingen van dit gebied zijn zowel op lange als op korte termijn vrij gering (zie citaat Van Cauwenberghe over de kop Droogte van Schooneveld). Ook de recente ontwikkelingen laten niet een duidelijke trend zijn. De verandering van de zandvolumes zijn gering en zijn niet significant.

3.5.3 Denkmodel Raan

Het overgrote deel van de Raan is vrij stabiel, zelfs over een periode van 200 jaar. De grootste veranderingen die in de periode 1970 tot en met 1997 plaats hebben gevonden zijn door menselijk handelen bepaald. Hierbij gaat het om de baggeractiviteiten in het westelijk deel van de Raan. Deze stortactiviteiten veroorzaken een verhoging van de Droogte van Schooneveld en de westelijke uitloper van de Raan. Een groot deel van de stortspecie komt overigens weer in de havens en geulen terecht en een klein deel verdwijnt in de Noordzee (figuur 3.6.). De huidige stortefficiëntie wordt geschat op 12%, wat betekent dat slechts 12% daadwerkelijk op de bepaalde stortplaats blijft liggen.

Alhoewel de morfologische veranderingen in de rest van het subsysteem minder groot zijn dan op de stortlocaties zijn ze niet onbelangrijk. Het gehele subsysteem migreert in zuidelijke richting, terwijl aan de zuidrand onder invloed van de baggerwerken erosie plaats vindt. Dit betekent dus dat het gebied van de Raan in oppervlakte afneemt.

3.6 Samenhang tussen de subsystemen

De ontwikkeling van de morfologie van de Westerscheldemonding wordt bepaald door een combinatie van de hydraulica, de geologie, de morfologische ontwikkeling in aangrenzende gebieden en de menselijke ingrepen. Menselijke ingrepen zijn in de afgelopen decennia steeds belangrijker geworden. Terwijl voor de jaren zestig eigenlijk alleen de ontwikkeling van de kuststrook werd beperkt door kustverdedigingen, wordt nu een groter gebied van de monding beïnvloed door menselijke ingrepen.

De belangrijkste ontwikkeling van het subsysteem **"Kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen"** is de ontwikkeling van de Appelzak en het verdwijnen van de zuidelijke tak van de Wielingen. De recente ontwikkelingen zijn sterk bepaald door de uitbouw van de haven van Zeebrugge, de verdieping van de Pas van het Zand en de Scheur, het storten en de grootschalige strandsuppletie. De uitbouw en de verdieping hebben voornamelijk de hydraulische condities van het subsysteem veranderd, terwijl het storten en de suppletie directe effecten hebben op de morfologie. De ontwikkeling van dit subsysteem wordt dus gestuurd door de ontwikkeling van de geulen, deze zijn de hydraulische randvoorwaarden van het systeem. Veranderingen op de Raan kunnen gevolgen hebben op de invloed van golven in dit subsysteem en dan met name de kust. Binnen het systeem is het de Appelzak en de golfgedreven stroming die bepalend is voor de ontwikkeling van de kuststrook en in het noordelijk deel van het subsysteem zijn het de getijcondities die bepalend zijn.

In het subsysteem **"Zuidwestkust van Walcheren"** is een belangrijke ontwikkeling de splitsing van de Deurloo in een oost- en westelijk deel. Door deze splitsing is de monding van een systeem met drie hoofdgeulen veranderd in een systeem met twee hoofdgeulen. Ook in de recente morfologische ontwikkeling speelt deze splitsing nog een rol. Nog steeds treedt er een migratie van de ondieptes en geulen op in oostelijke richting, die de splitsing definitief hebben gemaakt. De ontwikkelingen van dit subsysteem wordt beïnvloed door de ontwikkeling van de Scheur / Wielingen. Hierbij gaat het om de relatie tussen de Scheur / Wielingen en het Oostgat. Het is echter niet duidelijk welke gevolgen veranderingen van de Scheur / Wielingen op het Oostgat hebben. Vanwege het verschil in dimensie en ook het verschil in getijdebieten is het waarschijnlijk dat de invloed van de Scheur / Wielingen op het Oostgat groter is dan de invloed van het Oostgat op de Scheur / Wielingen. Het westelijke deel van het subsysteem wordt beïnvloed door de nevengeulen. Binnen het systeem is het Oostgat bepalend in de migratie van de hiervan westelijk gelegen geulen en ondieptes. Welke worden beperkt in hun migratie door het Oostgat, die zelf weer wordt vertraagd in de ontwikkeling door de resistentie van de kust en door de verdedigingswerken.

Het subsysteem **"Scheur / Wielingen en Pas van het Zand"** is in de afgelopen twee eeuwen veranderd zowel door autonome ontwikkeling als door menselijke ingrepen. Het westelijk deel van de geul is, mede door het ontstaan van de Scheur, in noordelijke richting gemigreerd. Door het baggeren van de hompels in het oostelijke deel en het verdiepen van de Scheur is de Scheur / Wielingen één geul geworden. De Pas van het Zand is in zijn geheel door mensen bepaald. De recente ontwikkeling van dit subsysteem wordt dus sterk bepaald door menselijke ingrepen, waardoor de ontwikkeling van de geul min of meer wordt vastgelegd. Deze ingrepen hebben echter wel hydraulische consequentie, wat uiteindelijk kan leiden tot morfologische veranderingen binnen of buiten het subsysteem. Dit subsysteem is eerder sturend dan volgend en heeft invloed op de getijcondities in de aangrenzende gebieden.

De ontwikkeling van het subsysteem **"Raan"** zijn in vergelijking met de andere subsystemen klein. De veranderingen over langere periode zijn gerelateerd aan de ontwikkeling van de Deurloo. De recente ontwikkelingen vinden vooral in het westelijke deel plaats en worden bepaald door de stortactiviteiten. Het subsysteem is geen

sturend systeem, maar wordt juist beïnvloed door andere subsystemen en dan met name de Scheur / Wielingen, maar ook door de Noordzee.

4 VOORSPELLING MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING

4.1 Inleiding

De belangrijkste vraag die in dit rapport beantwoord moet worden is; "Hoe ziet de Westerscheldemonding erin 2020, uit". Gekoppeld aan deze vraag zijn een aantal andere vragen verbonden, zoals "Hoe werkt het systeem?" en "Hoe zijn de verschillende morfologische eenheden binnen de Westerscheldemonding met elkaar verbonden?". In het vorige hoofdstuk is aandacht geschonken aan de samenhang en de ontwikkeling van de verschillende morfologische eenheden binnen de vier subsystemen. Deze kennis is de basis voor de voorspelling van de morfologie van de Westerscheldemonding in 2020. Bij het maken van een voorspelling moet ook rekening gehouden worden met verschillende randvoorwaarden en welke mogelijke alternatieven er zijn.

Allereerst is een voorspelling gemaakt van de morfologie in de monding in 2020 met als uitgangspunt handhaving van het huidige beleid. De uitwerking bestaat uit een beschrijving van de morfologische ontwikkeling, een aantal stellingen ten aanzien van de morfologische ontwikkelingen en een grafische weergave van deze ontwikkelingen. Vervolgens is het mogelijk effect van twee externe forceringen, namelijk de toename van de zeespiegelstijging en de verder verdieping van Scheur / Wielingen, op de morfologie van de Westerscheldemonding beschreven.

4.2 Westerscheldemond in 2020 bij handhaving huidige beleid

4.2.1 Inleiding

Met 'bij handhaving huidig beleid' wordt bedoeld dat de menselijke ingrepen in het gebied dezelfde zullen zijn als in 1995. Dit betekent dat er in de Scheur onderhoudsbaggerwerken en suppleties worden uitgevoerd, maar niet dat er nieuwe grootschalige ingrepen worden uitgevoerd. Naast deze menselijke forceringen spelen autonome forceringen in de Westerscheldemonding natuurlijk ook een rol. De afgelopen eeuwen is de zeespiegel relatief gezien ongeveer 20 centimeter per eeuw gestegen, voor Vlissingen is dit op basis van metingen vastgesteld op 22 centimeter per eeuw (Van der Spek, 1997a). In 2020 heeft er dus een relatieve zeespiegelstijging van 5.5 centimeter ten opzichte van de huidige stand plaats gevonden. Deze veranderingen van waterstanden zijn voor de Wielingen /Scheur erg klein in vergelijking met de verdiepingen van de afgelopen decennia. Voor de beschouwing van de morfologie van de Westerscheldemonding wordt er daarom gemakshalve ervan uitgegaan dat de zeespiegel in de voorspelling geen belangrijke rol speelt. Een toename van de stijging van de zeespiegelstijging en een aantal andere aspecten die in de overige scenario's (bijlage C) naar voren komen worden in de volgende paragraaf behandeld.

4.2.2 Substelsysteem kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen

De ontwikkeling van de morfologie van een gebied wordt gestuurd door de hydraulica van het gebied. De hydraulica van dit subsysteem is door een aantal ingrepen veranderd (figuur 3.3c). Hierdoor zal de morfologie van dit gebied in de toekomst anders reageren dan in het verleden. De hydraulica en de huidige morfologie zijn in figuur 4.1 weergegeven. In dit figuur staat tevens de verwachte morfologie in 2020 getekend. De mogelijke ontwikkelingen van de verschillende morfologische eenheden worden in het onderstaande stuk behandeld. Hierin zal aandacht worden besteed aan de onzekerheden. De verwachte ontwikkeling binnen een morfologische eenheid wordt samengevat in een stelling aan het begin van elke alinea.

De Paardenmarkt komt hoger te liggen

De ontwikkeling van de Paardenmarkt is in de laatste decennia sterk bepaald door de **stortactiviteiten** in dit gebied. In de periode 1960-1996 is in totaal 162Mm³ sediment gestort (bijlage A). Eind jaren zestig werden de grootste hoeveelheden gestort met een maximum van 13 Mm³ per jaar. De afgelopen zes jaar bedraagt de storthoeveelheid op de Paardenmarkt gemiddeld ongeveer 6 Mm³ per jaar. Dit komt overeen met 35% van de hoeveelheid stortspecie die op alle stortlocaties worden gestort. Indien in de komende 25 jaar een zelfde jaarlijkse hoeveelheid wordt gestort, dan zou de storthoeveelheid tussen nu en 2020 150Mm³ bedragen. De verwachting is dan ook dat de Paardenmarkt in de komende tijd in hoogte toe zal nemen. Het gestorte sediment zal in noordoostelijke richting worden getransporteerd en hier deels sedimenteren. Net als in het verleden zal ook een deel van het sediment in de Appelzak verdwijnen. Door de uitschurende werking van deze geul zal het sediment in oostelijke richting verdwijnen. Door de **verhoging** van de Paardenmarkt vormt deze ondiepte een beschermende functie voor de kust. De hoog energetische golven worden gebroken of gedempt, zodat de golfaanval op de kust wordt beperkt.

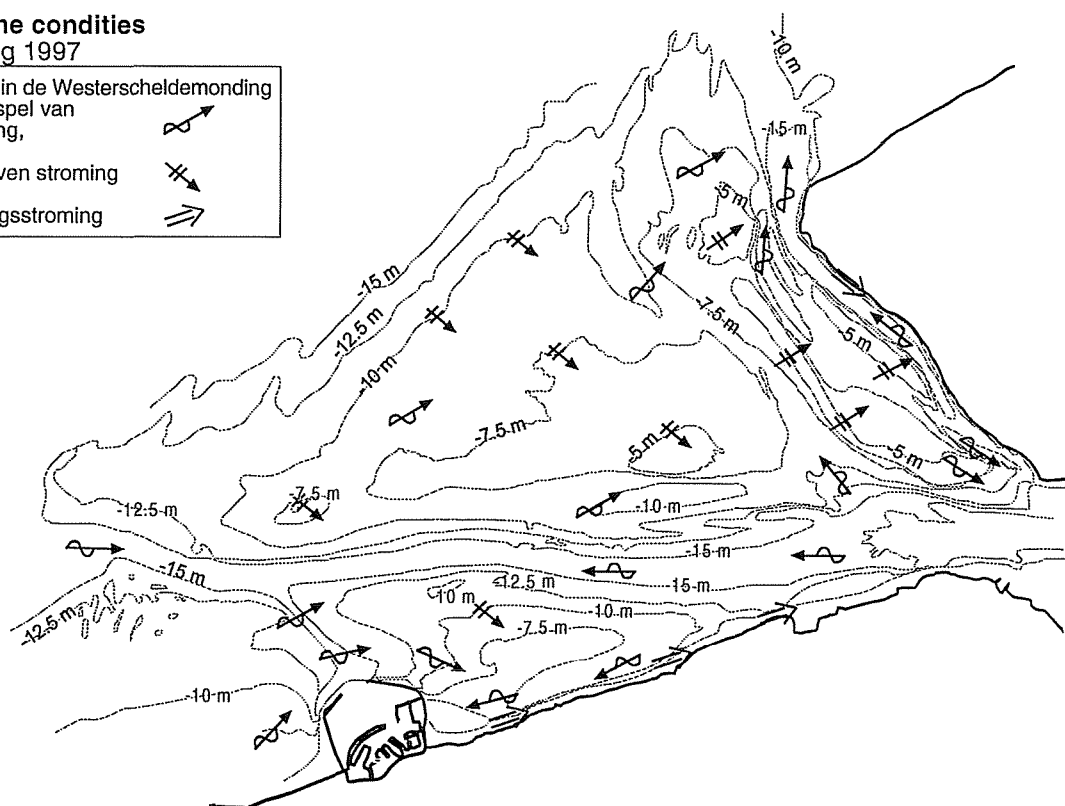
Morfologische ontwikkeling tot 2020

Hydraulische condities bodempligging 1997

De hydraulica in de Westerscheldemonding is een samenspel van de getijstrooming,

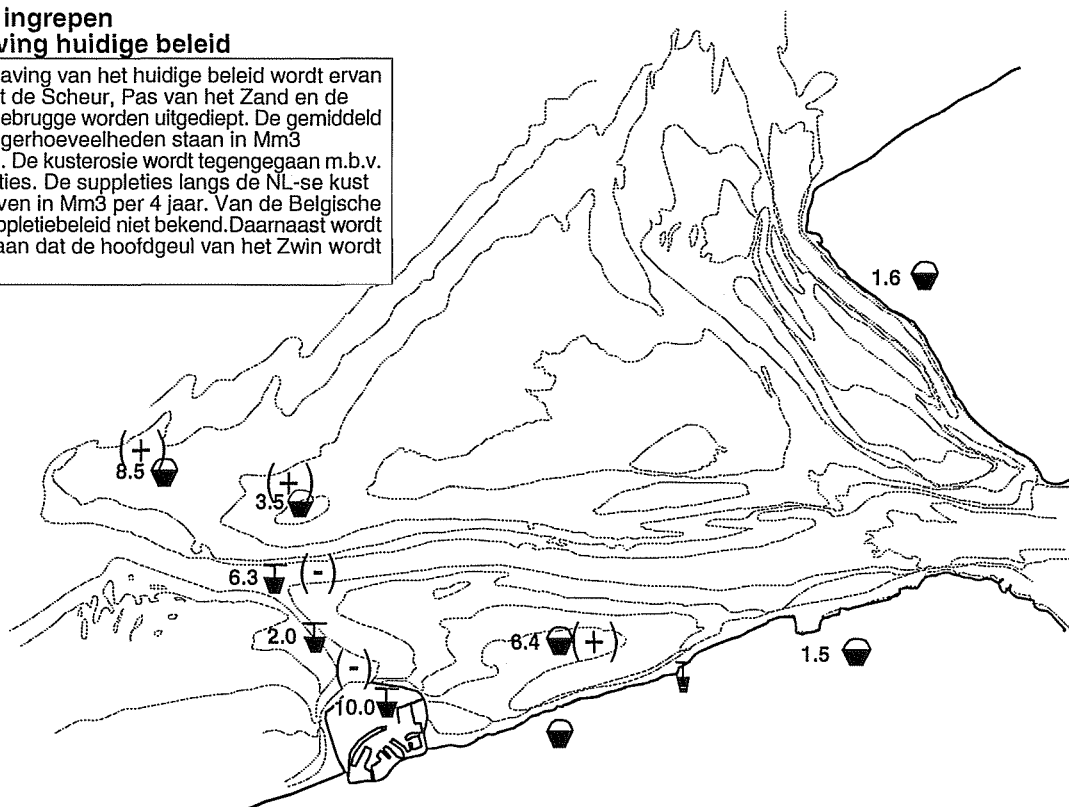
de windgedreven strooming

en de brandingsstrooming



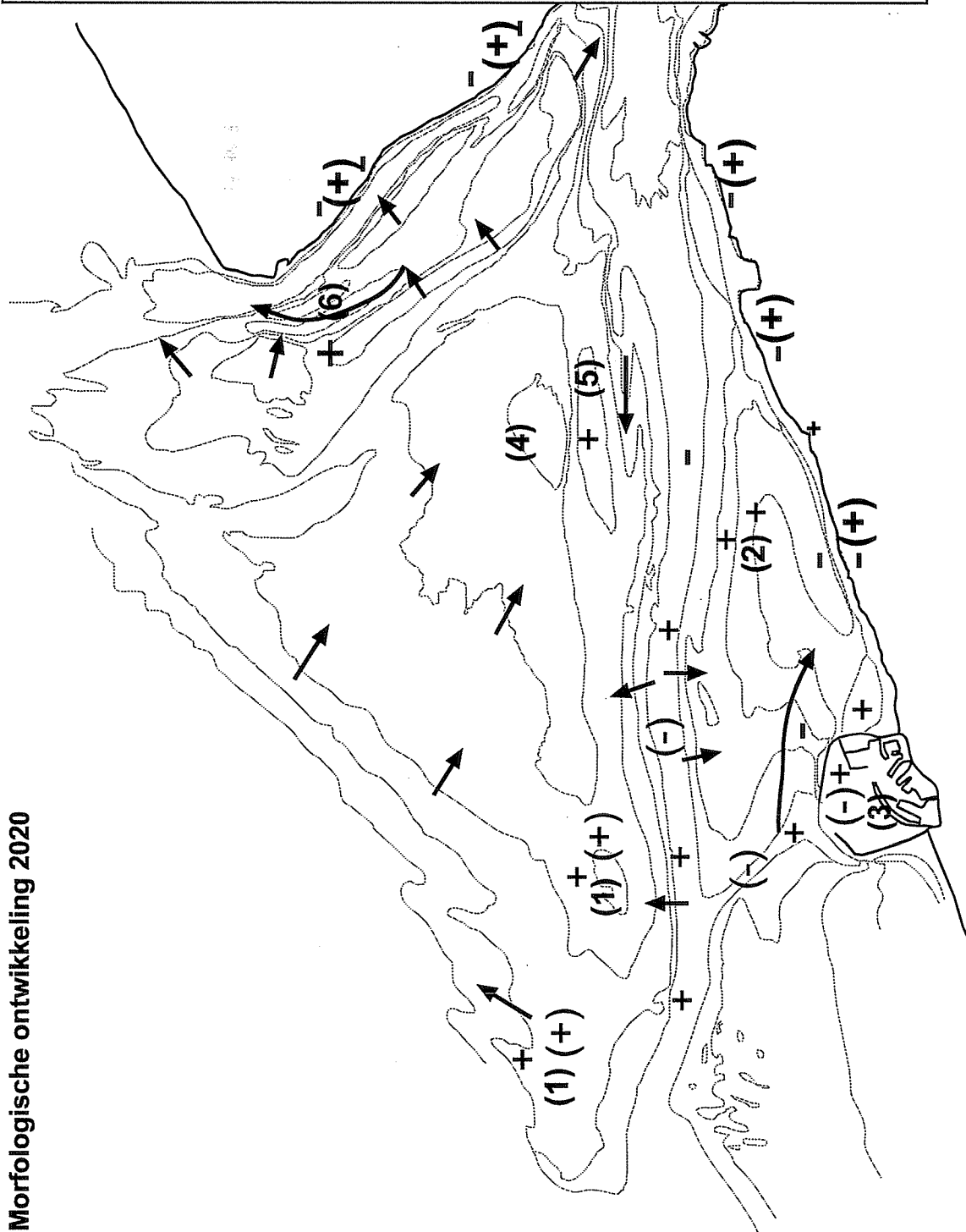
Menselijke ingrepen bij handhaving huidige beleid

Onder handhaving van het huidige beleid wordt ervan uitgegaan dat de Scheur, Pas van het Zand en de haven van Zeebrugge worden uitgediept. De gemiddeld jaarlijkse baggerhoeveelheden staan in Mm3 weergegeven. De kusterosie wordt tegengegaan m.b.v. strandsuppleties. De suppleties langs de NL-se kust zijn aangegeven in Mm3 per 4 jaar. Van de Belgische kust is het suppletiebeleid niet bekend. Daarnaast wordt ervan uitgegaan dat de hoofdgeul van het Zwin wordt uitgediept.



Figuur 4.1. Voorspelling morfologische ontwikkeling Westerscheldemonding 2020

Morfologische ontwikkeling 2020



Toelichting:

Deze hydraulische condities en de menselijke ingrepen leiden tot een morfologische ontwikkeling, waardoor de morfologie erin 2020 mogelijk uitziet zoals in de figuur is weergegeven. De baggeractiviteiten veroorzaken verdieping van de geulen en verhoging van de stortlocaties. Slechts een klein deel (12%) van het gestorte sediment blijft op de stortlocaties (1 en 2). Door de verdieping van de geulen passen de hellingen zich ook aan. De ontgrondingskuil bij de haven van Zeebrugge (3) breidt zich mogelijk uit tot een geul, die met de Appelzak verbinding komt te staan. De Appelzak blijft een erosieve geul, maar zal niet dezelfde omvang hebben als in de vorige eeuw. De Vlakte van de Raan (4) wordt bepaald door een combinatie van getij en golfgedreven stroming en zal in essentie niet veel veranderen. Door de verdieping van Scheur vervalt de functie van de Spleet (5). Voor de ZWKust van Walcheren migreren de ondiepten en geulen richting de kust. De migratiesnelheid neemt door de resistentie van de kust in de richting van de kust af. Door de migratie van de Rassen richting de kust krijgt de Geul van de Rassen (6) waarschijnlijk een zuidelijkere verbinding met het Oostgat.

Als gevolg van de verandering van de stroming om de **haven van Zeebrugge** is de zuidkant van de Paardenmarkt geërodeerd. Het is nog de vraag of deze ontwikkeling zich zal doorzetten of dat de ontwikkeling sterk is gerelateerd aan de directe lokale effecten van de uitbouw van de haven van Zeebrugge. Hiermee worden de ontgrondingskuilen bedoeld die tijdens de uitbouw van de haven zijn ontstaan, maar na de uitbouw niet verder zijn verdiept. De kustlangse stroming die door de haven van Zeebrugge wordt afgebogen zal mogelijk zorgen voor het instant houden van deze diepere delen. Dit heeft mogelijk dit tot gevolg dat er een ondiepe geul aan de zuidkant van de Paardenmarkt zal ontstaan die aansluiting vindt met de Appelzak.

Appelzak erodeert

Na de uitbouw van de haven van Zeebrugge is de Appelzak veranderd in een erosieve geul. In de korte termijn gegevens is dit zichtbaar (AWZ, 1994), maar op de lodingskaarten over langere periode is dit niet zichtbaar. Dit komt doordat de Appelzak in de periode voor de uitbouw van de haven sterker in omvang is afgenomen dan dat deze in de periode na de uitbouw is toegenomen.

De ontwikkeling van de Appelzak hangt af van de storthoeveelheden op de Paardenmarkt, de hydraulische condities en de kusterosie. De **kusterosie** hangt samen met de omvang van de Appelzak. Als de Appelzak in omvang toeneemt, dan neemt de kusterosie ook toe. Als gevolg hiervan komt er weer meer sediment in de Appelzak terecht, wat vervolgens in noordoostelijke richting wordt getransporteerd. Na de uitbouw van de haven van Zeebrugge zijn de **hydraulische condities** in dit gebied veranderd. De kustlangse stroming wordt afgebogen langs de haven en veroorzaakt uitschuring van de Appelzak. Deze stroming kan er eveneens voor zorgen dat het diepere deel aan de zuidkant van de Paardenmarkt erodeert. De geul die hierdoor zou kunnen ontstaan kan dan verbinding krijgen met de Appelzak. Waarschijnlijk zou de Appelzak als gevolg hiervan verder eroderen, wat een mogelijke bedreiging kan zijn voor de kust van België. Een deel van de speciéstoringen bij de **Paardenmarkt** komt in de Appelzak terecht.

Belgische kust blijft onderhevig aan erosie

Door de uitbouw van de haven van Zeebrugge is er een blokkade van de langstroming ontstaan. Voor de Belgische kust heeft dit tot gevolg gehad dat voor delen van de kust sedimentatie plaats vindt, terwijl andere delen juist meer erosie ondervinden. Sedimentatie treedt voornamelijk op direct ten oosten, in de oksel van de haven van Zeebrugge. Het sediment wordt voornamelijk tijdens mooi-weer condities afgezet, als de transportrichting zuidwest is. Langs de rest van de Belgische kust tot aan het Zwin is de laatste decennia een sterke erosie opgetreden. Deze erosie hangt samen met de uitbouw van de haven van Zeebrugge, de erosie van de Appelzak in de jaren tachtig en de zandgolven die langs deze kust voorkomen. De uitbouw van de haven van Zeebrugge heeft veranderingen van de stromingspatronen om de haven veroorzaakt. Hierdoor is de Appelzak een erosieve geul geworden en ondervindt de kust bij Knokke-Heist erosie. Het verminderen van de aanvoer van sediment en de veranderingen van de getijstroming ten gevolge van de uitbouw van de haven zullen ook in de toekomst een bijdrage leveren aan de erosie van de kust van België. Door de verplaatsing van de zandgolven langs de kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen zouden deze erosie gebieden kunnen veranderen in sedimentatie gebieden.

De ontwikkeling van het Zwin blijft gehandhaafd

De ontwikkeling van het Zwin is afhankelijk van ingrepen die zorgen voor het open houden van de hoofdgeul van het Zwin. Als de hoofdgeul niet met menselijke hulp wordt opgehouden dan zal de hoofdgeul en daarmee het achterliggende gebied langzaam verzanden. Aangezien in dit scenario ervan uit wordt gegaan dat het huidige beleid in de toekomst niet verandert, zal het Zwin in stand worden gehouden. Wel zal het steeds moeilijker worden de verzanding tegen te gaan, doordat de ontwikkeling van de verzanding steeds verder gaat.

De ontwikkeling van de kust van Zeeuwsch-Vlaanderen zal in de nabije toekomst niet sterk veranderen

Erosie- en sedimentatiezones verplaatsen zich in de tijd langs de kust van Zeeuwsch-Vlaanderen. De migratie van deze zandgolven worden toegeschreven aan de ontwikkeling van de Appelzak (Lambeek, 1991). Als de Appelzak van ligging of dimensie verandert zal de aanvoer van sediment naar het Nederlands kustgebied mogelijk veranderen. De huidige erosiegebieden zullen in de toekomst omslaan in sedimentatie gebieden, terwijl de sedimentatie gebieden zullen veranderen in erosiegebieden, door de verplaatsing van de zandgolven.

Op langere tijdschaal is het mogelijk dat de uitbouw van de haven van Zeebrugge ook effect heeft op de ontwikkeling van de kust van Zeeuwsch-Vlaanderen. Door de uitbouw van de haven wordt het kustlangse transport immers belemmerd en kan de aanvoer van sediment afnemen.

4.2.3 Substelsiem Zuidwestkust van Walcheren

Morfologische ontwikkelingen worden gestuurd door getij, golven en de kustverdediging

Het substelsiem Zuidwestkust van Walcheren kan als een van de meest natuurlijke substelsiemen van de Westerscheldemonding worden beschouwd. Alleen de kuststrook vormt hier een uitzondering op. De ontwikkeling van dit substelsiem wordt bepaald door de getij- en golfgedreven stromingen. Deze hydraulische condities veroorzaken een migratie van de verschillende morfologische eenheden in oostelijke richtingen en in het zuiden van het substelsiem in zuidelijke richting. De migratie wordt vertraagd door de kustverdedigingen en de geologische resistente lagen van de kust. Als er geen maatregelen zouden zijn getroffen om de kust achteruitgang tegen te gaan dan zou het gehele systeem waarschijnlijk verder oostwaartst zijn gemigreerd en zou de migratiesnelheid van het Oostgat hoger zijn. Nu wordt het Oostgat zoveel mogelijk tegen gehouden, wat doorwerkt in de migratiesnelheid van de westelijk gelegen morfologische eenheden. De migratie die de afgelopen decennia heeft plaats gevonden zal zich in de toekomst doorzetten. De migratie van de Rassen zal leiden tot een zuidelijkere aansluiting van de Geul van de Rassen op het Oostgat. Deze ontwikkeling zal ook gevolgen hebben voor het noordelijk deel van het Bankje van Zoutelande. De migratie van de uitloper van de Nolleplaat in oostelijke richting zal zich ook doorzetten, maar zal in ieder geval op korte termijn niet leiden tot het verdwijnen van de Geul van de Rassen en de Deurloo-oost. Het Bankje van Zoutelande en het Oostgat migreren in de periode tot 2020 in landwaartse richting, maar deze migratie zal beperkt blijven door de resistentie van de kust. Doordat het Oostgat aan de noord en aan de zuidkant vast ligt door de harde bolwerken die zijn aangelegd, wordt de migratiesnelheid van het Oostgat verder verminderd. Dit zou wel een verdere verdieping van het Oostgat tot gevolg kunnen hebben.

In de afgelopen eeuw zijn de veranderingen in dit substelsiem relatief groot geweest, met name de ontwikkeling van de Deurloo. Door de verdieping van de Scheur is deze ontwikkeling onomkeerbaar geworden, doordat de getijgolf zich nu voor het grootste deel door de Scheur / Wielingen voortplant. Het is daarom waarschijnlijk dat de huidige morfologische eenheden ongeveer gelijk blijven en alleen migreren. De oude lodingskaarten geven echter een grote afwisseling voor de ontwikkeling van het Bankje van Zoutelande en het gebied ten westen van het Bankje aan. Hierdoor is het niet onwaarschijnlijk dat ook in de toekomst deze morfologische eenheden sterk zullen variëren. Het Oostgat is in de afgelopen eeuw redelijk stabiel en zal in de toekomst dus ook niet veel veranderen behalve de langzame migratie richting de kust. De kustlijn zelf zal niet migreren, omdat door menselijke ingrepen de kust vast wordt gehouden.

4.2.4 Substelsiem Scheur / Wielingen en Pas van het Zand

De ontwikkeling van het Pas van het Zand en de Scheur / Wielingen wordt bepaald door baggeractiviteiten

De Scheur, de Pas van 't Zand en de Wielingen zijn de laatste decennia sterk beïnvloed door de baggerwerkzaamheden die zijn uitgevoerd. Alleen van het oostelijk deel van de Wielingen kan gezegd worden dat de geul stabiel is gebleven in de afgelopen eeuw. Het westelijke deel van de Wielingen is beïnvloed door de verdiepingen van de Scheur. In dit deel van de geul zijn geen baggerwerkzaamheden uitgevoerd, terwijl de geul zich toch 1 à 2 meter heeft verdiept. Het gaat hier waarschijnlijk om een aanpassing aan de verdieping van de Scheur en niet zo zeer om een trend.

Door de verdieping is het zwaartepunt van de Scheur noordelijker komen te liggen dan aan het begin van de vorige eeuw. Eveneens is de noordelijke migratie van de Wielingen door het verwijderen van de verschillende ondieptes, de Hompels versterkt. De baggerwerkzaamheden benadrukken verder de functie verschuiving van de hoofdgeulen. Oorspronkelijk was de Deurloo de hoofdgeul naast de Wielingen en het Oostgat. Door het verdiepen van de Scheur is de functiewisseling van de Deurloo en Scheur / Wielingen onomkeerbaar geworden. De handhaving van het huidige beleid betekent voor de Scheur / Wielingen en de Pas van het Zand dat deze geulen op diepte gehouden moeten worden. De morfologische ontwikkelingen van deze geulen in de periode tot 2020 zal voor het grootste gedeelte hierdoor bepaald worden. Verder heeft de verdieping invloed op de nabij gelegen gebieden en op langere termijn op de gehele Westerscheldemonding, doordat het getij wordt beïnvloed door de verdieping.

4.2.5 Substelsiem Raan

De Raan is het meest stabiele gebied in de Westerscheldemonding en wordt net als de Zuidwestkust van Walcheren bepaald door de getij- en golfgedreven stroming. In tegenstelling tot de Zuidwestkust van Walcheren heeft de getijstroming op de Raan geen dominante stromingsrichting, waardoor geulen niet snel zullen ontstaan (Svašek, 1998). De golven hebben een belangrijke rol in de sedimenttransporten met name op de hoger gelegen gebieden. De morfologische veranderingen in dit substelsiem zullen hierdoor niet groot zijn en zullen in het westelijke deel vooral bepaald worden door de stortactiviteiten.

De Deurloo-west en de Geul van de Walvischstaart nemen niet in omvang toe

Net als de morfologische eenheden in het subsysteem Zuidwestkust van Walcheren zullen ook de Geul van de Walvischstraat en de Deurloo-west in de komende periode in oostelijke richting migreren. De migratie zal waarschijnlijk niet zo groot zijn als die van de uitloper van de Nolleplaat, enerzijds omdat de golven op de ondiepere gebieden meer invloed hebben dan op de diepe gebieden, anderzijds omdat deze twee geulen zorgen voor de "afwatering" van de Raan.

De Vlakte van de Raan migreert naar het zuiden en de functie van de Spleet verdwijnt

De zuidelijke migratie van de Vlakte van de Raan zal zich doorzetten, maar zal door de ontwikkelingen van de Scheur / Wielingen beperkt blijven. Door de verdieping van de Scheur / Wielingen is deze geul meer getij gaan trekken, waardoor de evenwijdig liggende geul de Spleet enigszins overbodig wordt. De verdere ontwikkeling van deze geul zal onder andere afhangen van de beschikbaarheid van sedimentaanvoer. De stortspecie van nabij gelegen stortlocaties kunnen bijdragen aan de verzanding van deze geul.

De stortlocaties nemen in hoogte toe en de buitendelta breidt zich uit

Net als de ontwikkeling van de Paardenmarkt zal de ontwikkeling van de stortlocaties op de Raan niet zo groot zijn als de voorgaande decennia, doordat de storthoeveelheden en de stortefficiëntie is afgenomen. In vergelijking met de Paardenmarkt wordt op de stortlocaties ten noorden van de Scheur / Wielingen wel meer gestort (bijlage A). De verhoging van de stortlocaties en de omringende gebieden zal de komende jaren door gaan. Het overgrote deel van de stortspecie zal echter weer in de geulen en de havens terecht komen.

4.3 Beschouwing overige scenario's

4.3.1 Inleiding

Bij het handhaven van het huidige beleid zal de morfologie van de Westerscheldemonding in 2020 waarschijnlijk niet veel verschillen vertonen met de huidige morfologie. De morfologie zal zich mogelijk anders gaan ontwikkelen als de externe factoren in de toekomst ook veranderen of als wordt afgeweken van het huidige beleid. Deze verschillende scenario's zijn weergegeven in bijlage C. In dit rapport worden slechts een aantal van deze scenario's eruit gelicht, omdat de overige scenario's niet onderbouwd kunnen worden op basis van de huidige fenomenologische kennis van de Westerscheldemonding. De overige scenario's worden wel behandeld in het eindrapport van K2000*KOP dat door het RIKZ wordt vervaardigd. De scenario's die in dit rapport worden behandeld zijn een toename van de zeespiegelstijging met een toename van de getijslag en een verdere verdieping van de Scheur / Wielingen.

4.3.2 Toename van de zeespiegelstijging en toename van de getijslag

In Nederland stijgt de zeespiegel ten opzichte van het bodemoppervlak met ongeveer 20 centimeter per eeuw. Door veranderingen in het klimaat zal de zeespiegelstijging toenemen. Voor de toename van de zeespiegelstijging worden verschillende cijfers gehanteerd op basis van verschillende scenario's van klimaatveranderingen. Het meest waarschijnlijk is een relatieve zeespiegelstijging van 60 centimeter per eeuw, bestaande uit een absolute zeespiegelstijging van 50 centimeter per eeuw en een relatieve zeespiegelstijging van 10 centimeter per eeuw (persoonlijk commentaar H. Middelkoop, Universiteit Utrecht). Voor deze studie wordt een extremer scenario gebruikt namelijk een relatieve zeespiegelstijging van 80 cm/eeuw. Voor de periode 1995 –2020 betekent dit een relatieve stijging van de zeespiegel van 15 cm.

De gevolgen van de zeespiegelstijging van de Westerscheldemonding worden enerzijds bepaald door de interne reactie op de stijging van de zeespiegel en anderzijds door de reactie van de aangrenzende gebieden op de zeespiegelstijging. Met name de reactie van de **Westerschelde** op de zeespiegelstijging zal voor de ontwikkeling van de monding van belang zijn. Door de toename van de zeespiegelstijging komen de platen dieper te liggen ten opzichte van de zeespiegelstijging en worden de geulen dieper. Als gevolg hiervan neemt de stroomsnelheid in de geulen af en zanden de geulen aan. Het aanzanden van de geulen gaat ten koste van de platen, waardoor deze verder worden verlaagd. Het te kort aan sediment in de Westerschelde zal worden aangevuld met sediment uit de monding of uit de aangrenzende kustgebieden. Bij een toename van de getijslag kan het beeld omslaan, doordat de snelheden in de geulen toenemen (Svašek, 1998a). Uit modelberekeningen met het ASMITA (Aggregated Scale Morphological Interaction between a Tidal inlet system and the Adjacent coast)-model is gebleken dat de toename

van de zandvraag van de Westerschelde niet direct wordt gecompenseerd met een toename van de import vanuit de monding. De aanpassingen aan het nieuwe dynamische evenwicht zal geruime tijd, mogelijk eeuwen, duren. Voor de toename van de import naar de Westerschelde zal waarschijnlijk vooral de Raan worden aangesproken (Waterloorkundig Laboratorium, 1997). Het effect dat de toename van de zeespiegelstijging heeft op de Westerschelde is in vergelijking met het effect van een verder verdieping van de geulen in de Westerschelde gering (Svašek, 1998a).

De reactie van het **mondingsgebied** is afhankelijk van de veranderingen in de Westerschelde en de veranderingen in de monding zelf. Ook hier zal een afname van de snelheid in de geulen een verzanding in de geulen en erosie op de ondiepe gebieden veroorzaken. In tegenstelling tot de Westerschelde zijn in de monding de wind- en golfgedreven stroming belangrijk voor de morfologische veranderingen. Door de verdieping van de ondiepe gebieden breken de golven dichterbij de kust en kan minder sediment worden opgewoeld door de golven. Deze veranderingen zullen in combinatie met de verhoging van de waterstanden grote consequenties hebben op de ontwikkeling van de kuststrook. De verlaging van de ondiepe gebieden wordt versterkt door de toename van de zandvraag van de Westerschelde. De zandvraag van de Westerschelde neemt als gevolg van de zeespiegelstijging op termijn toe. Aangezien de Schelde weinig sediment aanvoert zal het sediment door monding moeten worden aangeleverd.

De zeespiegelstijging verloopt geleidelijk en ook de aanpassingen van de morfologie aan de nieuwe hydraulische condities verlopen traag. De morfologische veranderingen over een periode van 25 jaar zullen dan ook niet zo groot zijn. Pas op lange termijn worden de morfologische veranderingen zichtbaar.

4.3.3 Verdieping Scheur / Wielingen

Bij een mogelijke uitbreiding van de verschillende havens wordt de Scheur / Wielingen op een diepte van 20 meter beneden NAP gebracht. Momenteel is de gemiddelde diepte van de Scheur ongeveer 15 meter beneden NAP en van de Wielingen ongeveer 20 meter beneden NAP (bijlage C). Om de geul op deze diepte te krijgen zal de gehele geul worden verdiept en niet zoals in de Westerschelde alleen de drempels. Deze algehele verdieping van de geul zal consequenties hebben voor de hydraulica, zoals de huidige verdieping van de Scheur ook consequenties heeft gehad. De huidige verdieping heeft waarschijnlijk bijgedragen aan de vervroeging van 25 s/10 jaar van het getij bij Vlissingen (Svašek, 1998b). Een verdere verdieping van Scheur zal deze ontwikkeling versterken. Uit diezelfde studie is gebleken dat de verdieping een vertraging van de stroomsnelheden in het Oostgat tot gevolg heeft gehad. Door ontwikkelingen in de Westerschelde is dit echter gecompenseerd. Uit andere voorlopige berekeningen is echter gebleken dat door de verdieping de stroomsnelheden in het **Oostgat** juist toenemen (Arends & Van Maldegem, 1999). Voor de ontwikkeling van de kust van Zuidwest Walcheren en voor het Oostgat zelf is het van belang te weten welke consequenties deze verdieping met zich meebrengt. Door een toename van de stroomsnelheden in het Oostgat neemt de transportcapaciteit toe, waardoor de erosie van de kust zou kunnen toenemen. Bij een afname van de stroomsnelheden wordt het verschil met de Geul van de Rassen / Deurloo-oost mogelijk kleiner. Het is niet waarschijnlijk dat de Geul van de Rassen / Deurloo-oost op termijn de functie van het Oostgat overneemt.

De verdieping van de **Scheur / Wielingen** zal in de geul zelf een verhoging van de stroomsnelheden tot gevolg hebben. Met als gevolg dat de Scheur / Wielingen meer getij gaat trekken en de stroomsnelheden verder toenemen. Hierdoor ontstaat mogelijk een onomkeerbaar proces. Dit proces wordt mogelijk versterkt door het verdwijnen van de resistente kleilaag in het oosten van de Scheur. De kleilaag is nu ongeveer 3 meter dik met daaronder een zandlaag van een gelijke dikte. Onder de zandlaag bevindt zich weer een kleilaag (persoonlijk commentaar, R. Adams, Haecon). Bij een verdieping tot 20 meter wordt de bovenste kleilaag weggehaald en waarschijnlijk ook het bovenste deel van de zandlaag. Doordat de zandlaag bij een dergelijke verdieping bovenop ligt, zal de mogelijke erosie alleen nog maar worden versterkt.

Door de Scheur / Wielingen verder gaan te verdiepen wordt het gehele systeem vastgelegd. Immers de belangrijkste aan- en afvoer van water naar de Westerschelde is door de verdieping de Scheur / Wielingen geworden. De functie van de Spleet een nevengeul van de Wielingen zal hiermee verdwijnen. Deze geul was in de afgelopen twee eeuwen al sterk afgenomen qua omvang en zal door deze ingreep indien er voldoende sediment aanwezig is verder afnemen. Het gebaggerde sediment zal voor verhoging van de stortlocaties en de nabije gebieden van de stortlocaties zorgen, maar zal voor een groot deel weer richting de geul worden getransporteerd. Aangezien de geul door de verdieping is veranderd in een eroderende geul zal het sediment niet in de geul sedimenteren.

Uit andere studies is gebleken dat de verdieping in de Westerschelde grotere gevolgen heeft dan een mogelijk versnelde zeespiegelstijging. Hierdoor is het belangrijk om de effecten van dergelijke ingrepen op het systeem te weten en met name de effecten die zichzelf versterken.

5 CONCLUSIES

Bij de voorspelling van de morfologische ontwikkeling is het belangrijk dat de tijd en ruimteschalen waarop met het systeem en de processen beschouwd op elkaar zijn afgestemd. De morfologische voorspelling van de Westerscheldemonding is gebaseerd op de morfologische ontwikkeling van 1970 tot 1995 en kijkt een even lange periode vooruit (1995 - 2020). De meeste trends in morfologische ontwikkelingen zijn met fenomenologische kennis en kennis van trends uit het verleden te voorspellen. Als er echter veranderingen in externe forceringen plaats vinden of nieuwe ingrepen worden uitgevoerd dan zijn de voorspellingen, zeker in kwantitatieve zin, moeilijker te maken. Voor kwantitatieve voorspellingen en voor voorspellingen van scenario's die sterk afwijken van het huidige situatie zijn, naast de fenomenologische kennis, ook modelstudies nodig. Het rapport beperkt zich daarom tot een kwalitatieve voorspelling van de morfologische ontwikkeling bij voorzetting huidig beleid en tot twee scenario's waarbij veranderingen in het huidige beleid optreden. De scenario's zijn een toename van de zeespiegelstijging en een verdieping van de Scheur / Wielingen. Deze twee ontwikkelingen treden al op of zijn al uitgevoerd, maar dan in een minder extreme vorm waardoor voorspellingen te maken zijn, maar het wordt al moeilijker om heel concrete voorspellingen te maken, omdat het moeilijk is in te schatten in welke tijdsperiode de verschillende morfologische eenheden zullen gaan reageren.

De conclusies staan hieronder per subsysteem beschreven. Deze voorspelling van de morfologische ontwikkeling is gebaseerd op de fenomenologische analyses en gaat ervan uit dat het huidige beleid van onderhoudsbaggerwerken, kustverdediging en andere menselijke ingrepen wordt voortgezet. De laatste conclusies hebben betrekking tot de morfologische ontwikkeling bij toename van de zeespiegelstijging en bij een verdere verdieping van de Scheur / Wielingen.

Subsysteem Kust van België en Zeeuwsch-Vlaanderen

De ontwikkeling van dit subsysteem wordt sterk bepaald door de verandering van de getijstrooming na de uitbouw van de haven, de stortactiviteiten en de strooming langs de kust.

- De Paardenmarkt komt door de voortdurende stortactiviteiten hoger te liggen
- Appelzak erodeert door de veranderingen van de getijstrooming langs de haven van Zeebrugge, maar zal niet meer de omvang krijgen als aan het begin van deze eeuw.
- Belgische kust blijft onderhevig aan erosie. Afhankelijk van het suppletie beleid van de Belgische overheid blijft de kustlijn gehandhaafd.
- De ontwikkeling van het Zwin blijft gehandhaafd, doordat de mens zorgt dat de hoofdgeul open blijft. Door de verzanding zal het in de toekomst steeds moeilijker worden om het Zwin open te houden.
- De ontwikkeling van de kust van Zeeuwsch-Vlaanderen zal in de nabij toekomst niet sterk veranderen. Door de migratie van de zandgolf zullen gebieden van erosie en sedimentatie elkaar blijven afwisselen.

Subsysteem Zuidwestkust van Walcheren

De ontwikkeling van dit subsysteem wordt bepaald door de getijstrooming en de wind- en golfgedreven stromingen en wordt medebepaald door de resistente ondergrond, de harde kustverdedigingswerken en suppleties.

- De ondiepe delen en ook de geul in dit subsysteem zullen onder invloed van het getij en de golven in de richting van de kust migreren.
- De migratie zal echter niet zo sterk zijn dat de nevengeul, Geul van de Rassen, de functie van de hoofdgeul het Oostgat zal overnemen.
- De kustlijn blijft op de huidige locatie liggen door de verschillende kustverdedigingswerken.

Subsysteem Scheur / Wielingen en Pas van het Zand

De Pas van 't Zand is in zijn geheel bepaald door de baggerwerkzaamheden. De ontwikkeling van Scheur en ook indirect de Wielingen worden in de laatste decennia sterk bepaald door de baggerwerkzaamheden. Door de verdieping van de Scheur is de reeds ingezette morfologische veranderingen vastgelegd.

- De ontwikkeling van het Pas van het Zand en de Scheur / Wielingen wordt bepaald door baggeractiviteiten

Subsysteem Raan

De Raan is een van de gebieden van de Westerscheldemonding waar de minste veranderingen in bodemhoogte en oppervlak/inhoud plaatsvinden en kan als zeer stabiel gekarakteriseerd worden. De morfologische ontwikkeling zal

dan ook net als in het verleden niet groot zijn met uitzondering van de stortlocaties. In dit subsysteem worden de volgende aanpassingen verwacht:

- De Deurloo-west en de Geul van de Walvischstaart ontwikkeling zullen niet in omvang toenemen
- De Vlake van de Raan migreert naar het zuiden en de functie van de Spleet verdwijnt
- De stortlocaties nemen in hoogte toe en de buitendelta breidt zich uit

Toename van de zeespiegelstijging

De morfologische reactie van de Westerscheldemonding op een toename van de zeespiegelstijging zal voor een groot deel afhangen van de morfologische en hydraulische reactie van de Westerschelde op de toename van de zeespiegelstijging. De interactie tussen de monding en de Westerschelde is echter niet goed bekend; dit maakt een voorspelling moeilijk.

- Uit eerder studies voor de Westerschelde is gebleken dat de geplande verdiepingen grotere invloed hebben op de morfologie en de hydraulica dan een toename van de zeespiegelstijging.
- De meest kwetsbare gebieden in de Westerscheldemonding zijn de kustzones.
- De zeespiegelstijging is een proces dat zich op lange termijn afspeelt. Het is dan ook te verwachten dat de morfologische aanpassingen, met name in stabiele gebieden als de Raan, traag verlopen. De morfologische reacties op de toename van de zeespiegelstijging zullen tot 2020 in vergelijking met de autonome ontwikkeling of de menselijke ingrepen gering zijn.

Verdere verdieping van Scheur / Wielingen

In tegenstelling tot de zeespiegelstijging is de verdieping van Scheur / Wielingen een snel verlopend proces, omdat het om een ingreep van korte duur gaat.

- Door de verdieping van de Scheur / Wielingen zal de geul meer getij gaan trekken en bij Vlissingen voor een vervroeging van het getij veroorzaken. Hierdoor nemen de stroomsnelheden toen en bestaat de kans van een proces van natuurlijke verdiepingen en toename van stroomsnelheden (referentie). Dit proces kan versterkt worden, doordat de resistente bovenlaag wordt gebaggerd waardoor een minder resistente zandlaag aan het oppervlak komt te liggen.
- De reacties van andere morfologische eenheden zijn moeilijk te voorspellen. Modelstudies laten verschillende reacties van het Oostgat op de verdieping van de Scheur / Wielingen zien. Alleen van de stortlocaties kan worden vastgesteld dat deze verder zullen verondiepen door de toename van de baggerwerkzaamheden.

LITERATUURLIJST

- Arends, A.A. & D.C. van Maldegem, 1999.** Grootschalige effecten Westerschelde door havenuitbieding Vlissingen (eindrapport). Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Dienst Getijdewateren. Rapport RIKZ/AB-99817x
- AWZ, 1994.** Evolutie van strand en vooroever te Knokke-Zoute. Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen Dienst der kusthavens, (Eurosense)
- De Ronde, J.G. 1983.** Changes of relative mean sea level and of mean tidal amplitude along the Dutch coast. In: Ritsema A.R. & A.Gürpınar (eds): Seismicity and seismic risk in the offshore North Sea Area: 131-142.
- De Ruig, J.H.M. & P. Roelse, 1992.** Zeewaartse Kustverdediging Zeeuwsch-Vlaanderen. gevoeligheidsonderzoek voor een praktijkproef "Tienhonderdpolder". Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Dienst Getijdewateren. Rapport DGW-92.017.
- Haecon, 1983a.** Sedimentbalansen en slihcirculaties: vorderingsnota bij de voorspellingen in T6-toestand. ZBO-83.1415. NV Haecon.
- Haecon, 1983b.** Sedimentologie: sedimentbalansen en slihcicrulaties, kwantitatieve sedimentbalans. ZBO T83.2563. NV Haecon.
- Haecon, 1997.** Onderzoek zeebodemsedimenten. Ministerie van Economische Zaken, Bestuur van Kwaliteit en Veiligheid, Belgische Geologische Dienst, Rapport fase I
- Henriet, J.P., A. Bastin & J. De Rouck, 1978.** Integration of continuous seismic profiling in geotechnical investigations of the Belgian Coast. NV Haecon ' 7th international harbour Congress'
- Groenendijk F., 1995.** Zand voor Nederland. Een analyse vanaf 1964 en een extrapolatie tot 2010 van het zandvolume in de Jarkus-zone. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Dienst Getijdewateren. Rapport RIKZ-95.003
- Israël, C.G. & S.W.E. Huijs, 1998.** Zandbalans Westerschelde 1994-1997, Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Directie Zeeland. Notitie NWL-98.15
- Kerckaert, P., 1989.** De aanzandingsmechanismen van het Zwin en de maatregelen om hieraan te verhelpen. *Water nr. 49 – november/december 1989, 213-220*
- Kohsiek, L.H.M. & J.P.M. Mulder, 1988.** Een verkenning van een veranderend watersysteem: de voordelta. Ministerie van Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Dienst Getijdewateren. Nota GWA0-88.002.
- Lambeek, J.J.P., 1991.** Zandgolven in Zeeland. Universiteit Utrecht. Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen. Geopro-rapport 1991.30
- Looff, A.P. de & H.J. Verhagen, 1986.** Mondingsgebied van de Westerschelde: getijstroom, golfgegevens, bodemligging en morfologische processen, GWWS-86.404, Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Dienst Getijdewateren.
- Malherbe, B., 1991.** A case study of dumping of dredged material in open areas. *Terra et aqua, nr 45, 5-32*
- Malherbe, B. & A. Bastin, 1983 (NV Haecon).** Sedimentbalansen en slihcicrulaties: tijdsevolutie van de zandbank "Bol van Heist", Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Wegen, Bestuur der Waterwegen, ZBO 83.3019.
- RIKZ & RIZA, 1994.** Tienjarig overzicht (presentatie van afvoeren, waterstanden, watertemperaturen, golven en kustmetingen) 1981-1990.
- Roelse, P en Maranus J.W., 1988.** Prognose kustontwikkeling Zeeland 1990-2090, beschrijving methoden en resultaten fase 2. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaa. Nota GWWS-88.409.
- Ryckaert, M. 1989.** De verzanding van het Zwin. *Water nr. 49 – november/december 1989, 204-207*
- Svašek, 1998a.** Lange termijn gedrag Westerschelde, definitiestudie zeespiegelrijzing. Project Verdieping. 98101/1044
- Snijders, G.H. & L. Walburg, 1998.** Morfologische ontwikkeling Voordelta 1980-1997. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ. Rapport RIKZ-98.019.
- Van Cauwenberghe, 1966.** Hydrografische analyse van de Scheldemonding ten oosten van de meridiaan 3°05'tot Vlissingen. *Het ingenieursblad, 35, 17, 565-576.*
- Van den Berg, J.H., 1987.** Toelichting bij de isallobatenkaart Voordelta 1975-1984. . Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Nota ZL 87.0020.
- Van der Spek, A.J.F., 1997a.** 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.*

- Van Vessem P., 1994.** Overzicht suppleties Nederlandse kust 1952-1994, . Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ. Werkdocument RIKZ/OS-94.136x
- Vermeulen, A., 1989.** Algemeen beleidsplan ter bescherming en behoud van het Zwin. *Water nr. 49 – november/december 1989, 225-232*
- Waterloorkundig Laboratorium, 1992.** Nederlandse sluffers- Verkennde inventarisatie naar abiotische parameters. Waterloorkundig Laboratorium.

Literatuurlijst K2000*WS

- Arends, A.A., P.Roelse & D.W.Dunsbergen, 1998.** Zuidwestkust van Walcheren, Studie kustontwikkeling ten behoeve van kusthandhaving, . Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ. RIKZ/AB-98.841.
- Croqué, J., 1998.** Onderzoek naar de oorzaak van de erosie aan de zuidwestkust van Walcheren, stageverslag, RIKZ/OS-98.876x
- DHV, 1998.** Kustlijnen voorspelling van zuidwest Walcheren. Voorspelling maximale erosie. IS-NW981093.
- Dunsbergen, D.W. & A. de Gelder, 1998.** Lange termijn gedrag Westerscheldemond. Workshops 21/04/97 en 09/01/98. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ. Werkdocument RIKZ/OS-98.107x.
- Haecon, 1999.** Literatuurstudie morfologie Belgische kust, NML 1856 00023.
- Meetdienst Zeeland, 1998.** Debietmetingen Mond W.S. Raai 14 (3) 17 maart, 9 en 29 april 1998. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Directie Zeeland. Notitienummer ZLMD-98.N.009C. (*tevens raai 14, 12 en 11*)
- Svašek, 1995.** KUST*2000. Definitiestudie: Westerscheldemond (no.1). RIKZ-256.
- Svašek, 1997.** Getijanalyse Westerscheldemond. Deel 1 en deel 2.
- Svašek, 1998b.** De rol van het getij in de morfologische ontwikkeling van de Westerscheldemond. Een modelmatige onderbouwing.
- Svašek, 1999.** Berekeningen waterbeweging en zandtransport Westerscheldemond, 99096/1090
- Van Enckevort, I., 1996.** Morfologisch onderzoek Westerschelde monding. Deel 1. Inventarisatie beschikbare literatuur over metingen in de Westerschelde monding. Deel 2. Morfologische ontwikkeling van de Westerschelde monding sinds 1800. IMAU-rapport R96-21.
- Van der Slikke, M.J., 1997.** Grootschalige zandbalans van de Westerscheldemonding (1969-1993) Een inventarisatie van de dieptegegevens(1800-1996). IMAU-rapport R97-18.
- Van der Slikke, M.J., 1998a.** Grootschalige en interne zandbalans Westerscheldemonding (1969-1993). IMAU-rapport R98-05.
- Van der Slikke, M.J., 1998b.** Morfologische parameterisatie Westerscheldemond, Oostgat/Deurloo geulencomplex. IMAU-rapport R98-07.
- Van der Slikke, M.J. 1999a.** Invloed van stormen op de zuidwestkust van Walcheren, uitwerking van de meetcampagne 1997/1998. IMAU-rapport R99-06
- Van der Slikke, M.J. 1999b.** Twee kortsluitgeulen, een vergelijking tussen Oostgat en Krabbengat. IMAU-rapport R99-11.
- Van der Spek, A.J.F. , 1997b.** De geologische opbouw van de ondergrond van het mondingsgebied van de Westerschelde en de rol hiervan in de morfologische ontwikkeling. NITG 97-284-B.
- Waterloorkundig Laboratorium, 1997.** Morfologische Interactie Westerschelde Estuarium en het mondingsgebied: ASMITA-Westerschelde. Een gedragsgeoriënteerd model. Z2253, Waterloorkundig Laboratorium

MIGRATIEKAART (Zeeuwsch-) Vlaanderen 1970 -> 1997

Legenda

- 1997/1995
- 1969/1970

Diepteklassen 1969

- 100 tot -20 m
- 20 tot -15 m
- 15 tot -12.5 m
- 12.5 tot -10 m
- 10 tot -7.5 m
- 7.5 tot -5 m
- 5 tot -2.5 m
- 2.5 tot NAP
- NAP tot 2.5 m

BIJLAGE B
Bron: RWS vakkodngen.
Datum: 05-OCT-1999

Schaal 1:75.000

10000

ZE

**SEDIMENTATIE-
EROSIEKAART**
(Zeeuwsch-)Vlaanderen
1970 -> 1997

Legenda

— 1997/1995
— 1969/1970

Verschilkaart

<-8 m
-8 t/m -2 m
-2 t/m -1 m
-1 t/m -0.5 m
-0.5 t/m -0.2 m
-0.2 t/m 0.2 m
0.2 t/m 0.5 m
0.5 t/m 1 m
1 t/m 2 m
2 t/m 8 m
>8 m

BIJLAGE B
Bron: RWS vaklodingen.
Datum: 06-OCT-1999

Schaal 1:100.000

ZEEUWSCH-VLAANDEREN

20690

15000

10000

5000

MIGRATIEKAART ZW Walcheren 1970 -> 1997

Legenda

— 1997/1995
— 1969/1970

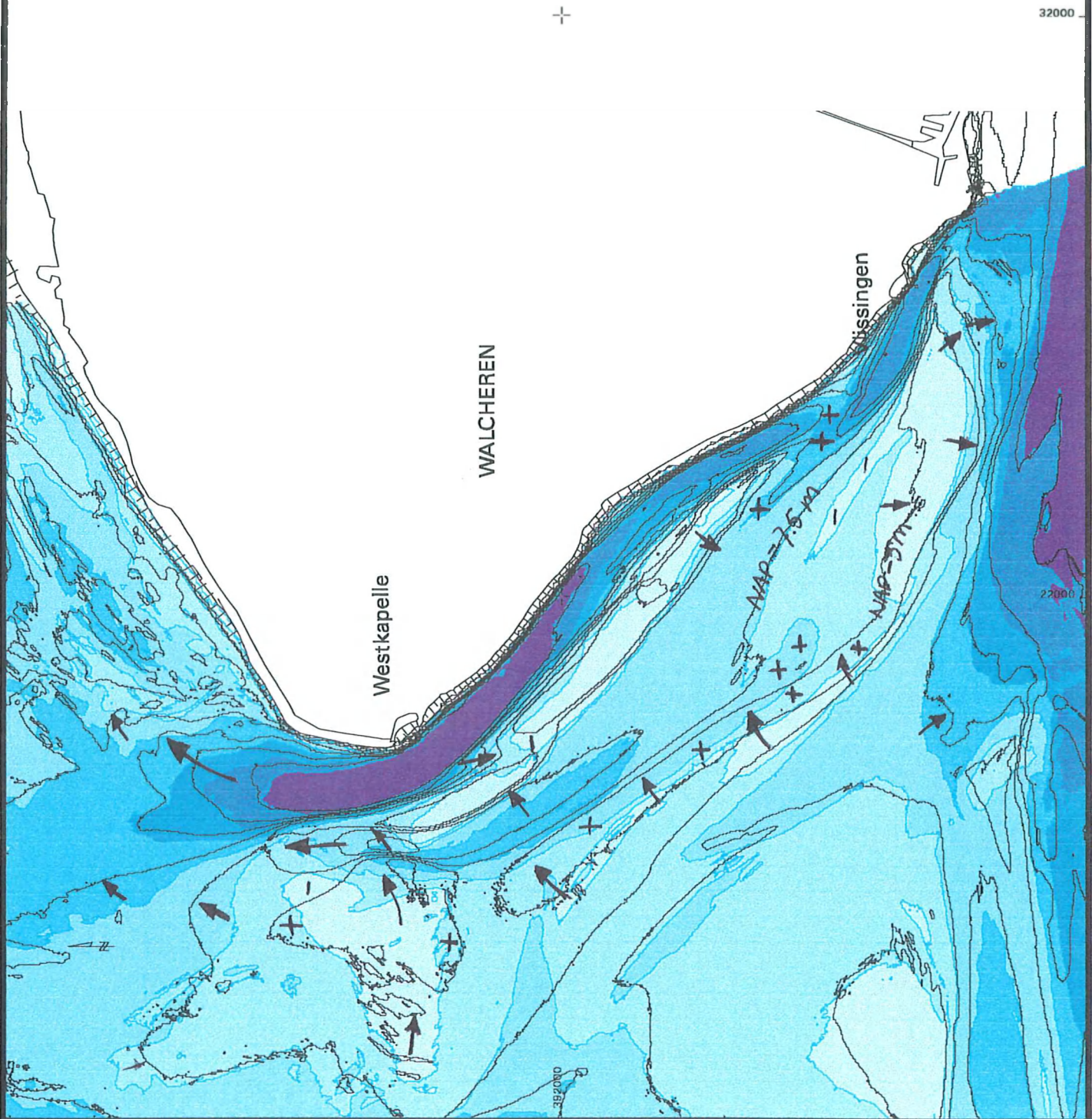
Diepteklassen 1969

-100 tot -20 m
-20 tot -15 m
-15 tot -12.5 m
-12.5 tot -10 m
-10 tot -7.5 m
-7.5 tot -5 m
-5 tot -2.5 m
-2.5 tot NAP
NAP tot 2.5 m

BIJLAGE B
Bron: RWS vaklodingen.
Datum: 05-OCT-1999

Schaal 1:100.000

Annemiek van der Slikke
Universiteit Utrecht



MIGRATIEKAART Westerscheldemonding 1970 -> 1997

Legenda

— 1997/1995

— 1969/1970

Diepteklassen 1969

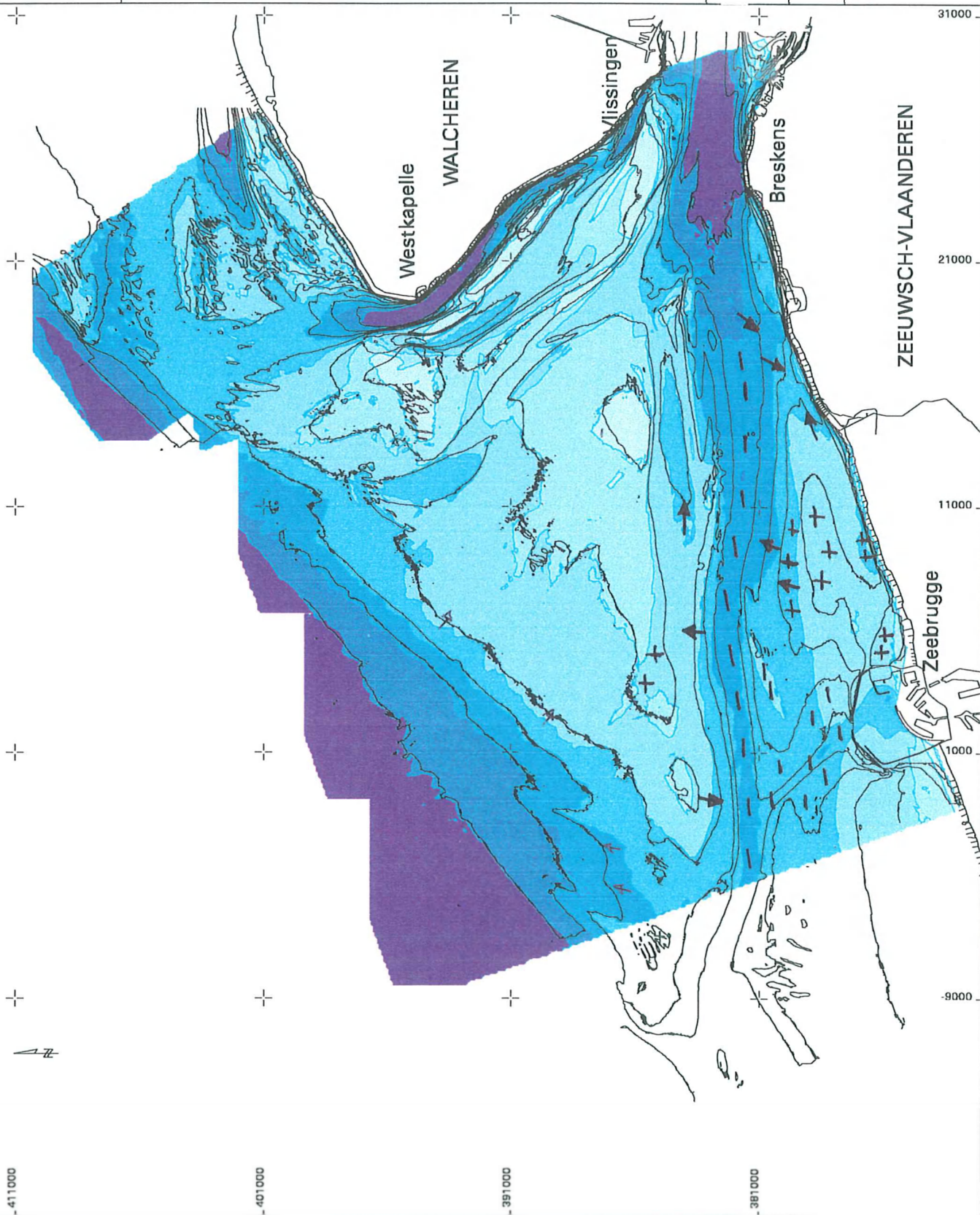
- 100 tot -20 m
- 20 tot -15 m
- 15 tot -12.5 m
- 12.5 tot -10 m
- 10 tot -7.5 m
- 7.5 tot -5 m
- 5 tot -2.5 m
- 2.5 tot NAP
- NAP tot 2.5 m

BIJLAGE B

Bron: RWS vakkodngen.
Datum: 05-OCT-1999

Schaal 1:225.000

Annemika van der Slikke
Universiteit Utrecht

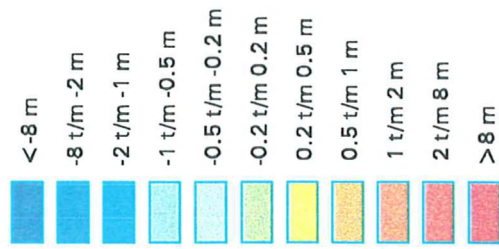


SEDIMENTATIE- EROSIEKAART Westerscheldemonding 1970 -> 1997

Legenda

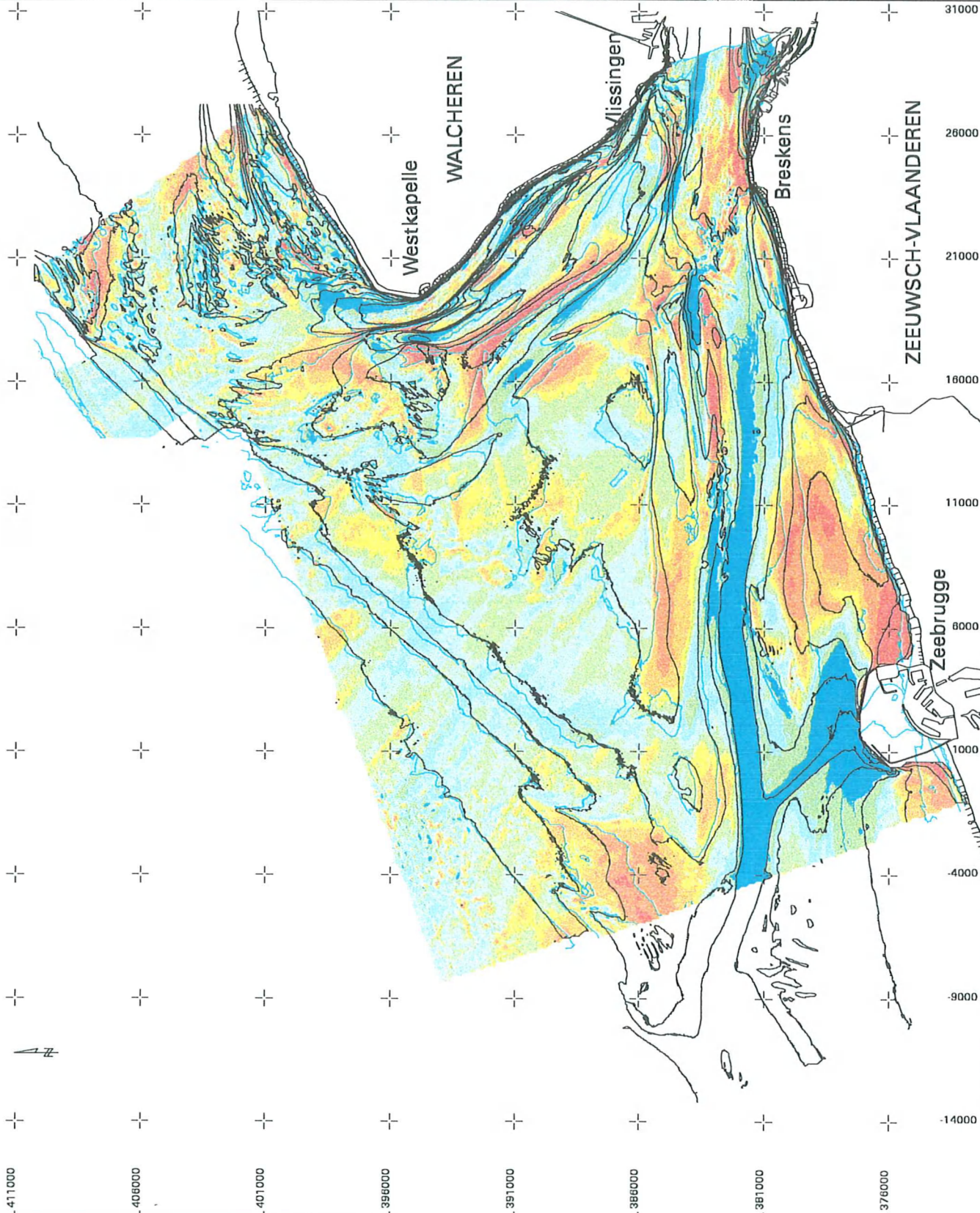
— 1997/1995
— 1969/1970

Verschilkaart



BIJLAGE B
Bron: RWS vaklodgingen.
Datum: 06-OCT-1999

Schaal 1:225.000



BIJLAGE C

Nr.	Scenario's & omschrijving mbt prognose 2020	rel. ZSS (m/eeuw)	Getijslag bij Vliissingen (gem getij 1991(0))	Zandwinning Westerschelde (Mm3/jaar)	storten hoeveelheid in de monding NL+Be Mm3/jaar	Vaargeul Westerschelde	Vaargeul monding	eiland op de hooge platen L x B	eiland op de Raai L x B
1	Vanaf eind 1998 (na verdieping '48/'43 van de Westerschelde)	0.20	3.90 m	2.6	0+6	-	-	-	-
2	Toenemende ZSS	0.80	3.90 m	2.6	0+6	-	-	-	-
3	Toenemende getijslag	0.20	4.20 m	2.6	0+6	-	-	-	-
4	Geen zandwinning Westerschelde	0.20	3.90 m	0	0+6	-	-	-	-
5	Toename zandwinning Westerschelde	0.20	3.90 m	5	0+6	-	-	-	-
6	Storten langs kust ZV vanuit Westerschelde	0.20	3.90 m	2.6	1+6	-	-	-	-
7	Verdiepen Westerschelde (alle specie blijft in de Westerschelde)	0.20	3.90 m	2.6	0+6	tot 18 m -NAP 3 bodem	-	-	-
8	Verdiepen Wielingen (specie storten in de monding langs de kust Zeeuwsch Vlaanderen)	0.20	3.90 m	2.6	?+6	-	tot 20 m -NAP + 2 m hooft diepte	-	-
9	((Eiland op de Hooge Platen))***	0.20	3.90 m	2.6	0+6	-	-	100x100	-
10	(Eiland op de Vlakte v.d. Raai)***	0.20	3.90 m	2.6	0+6	-	-	-	?x?
11	Algemene verdieping	0.20	3.90	2.6	?+6	tot 18 m	tot 20 m	-	-

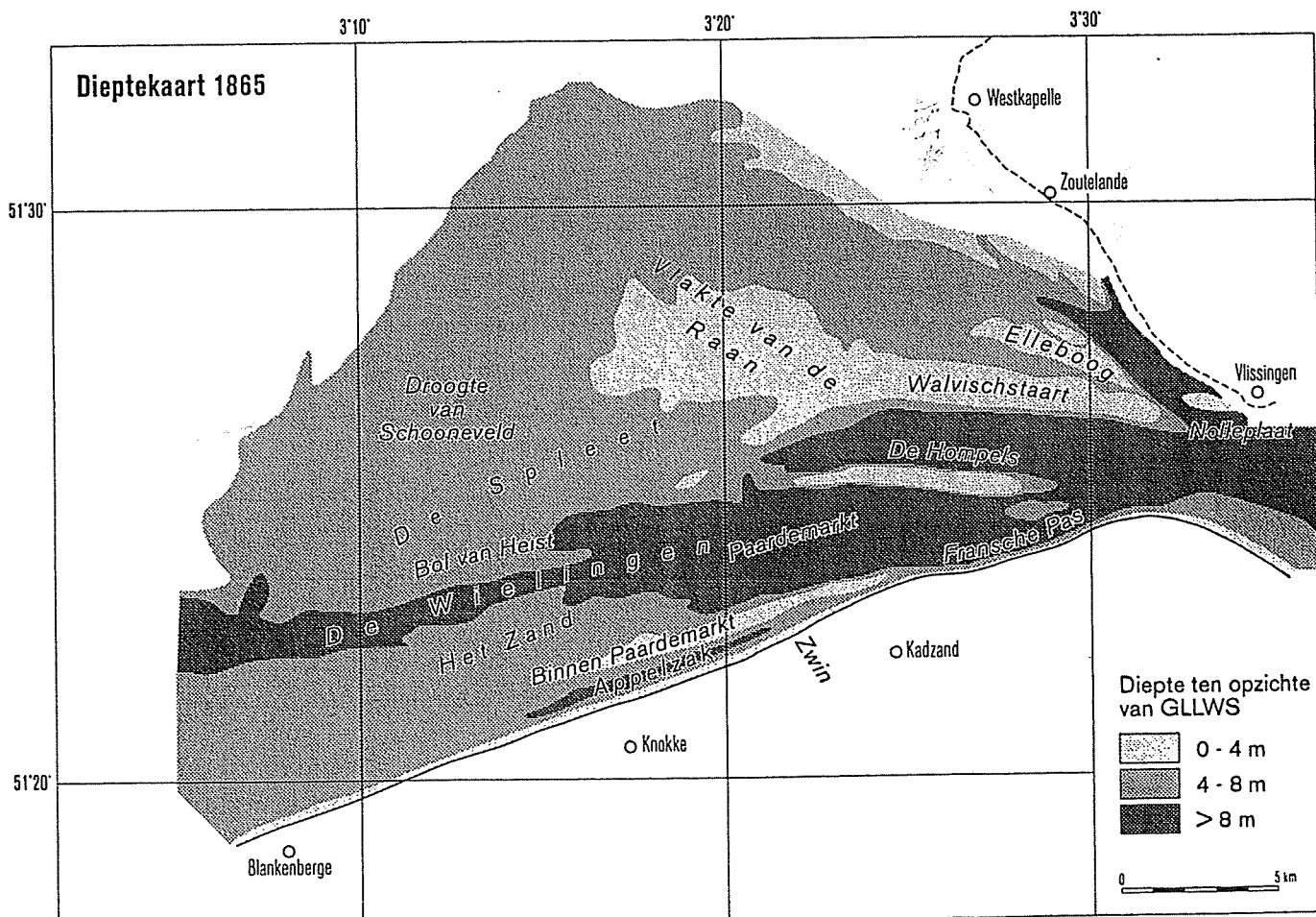
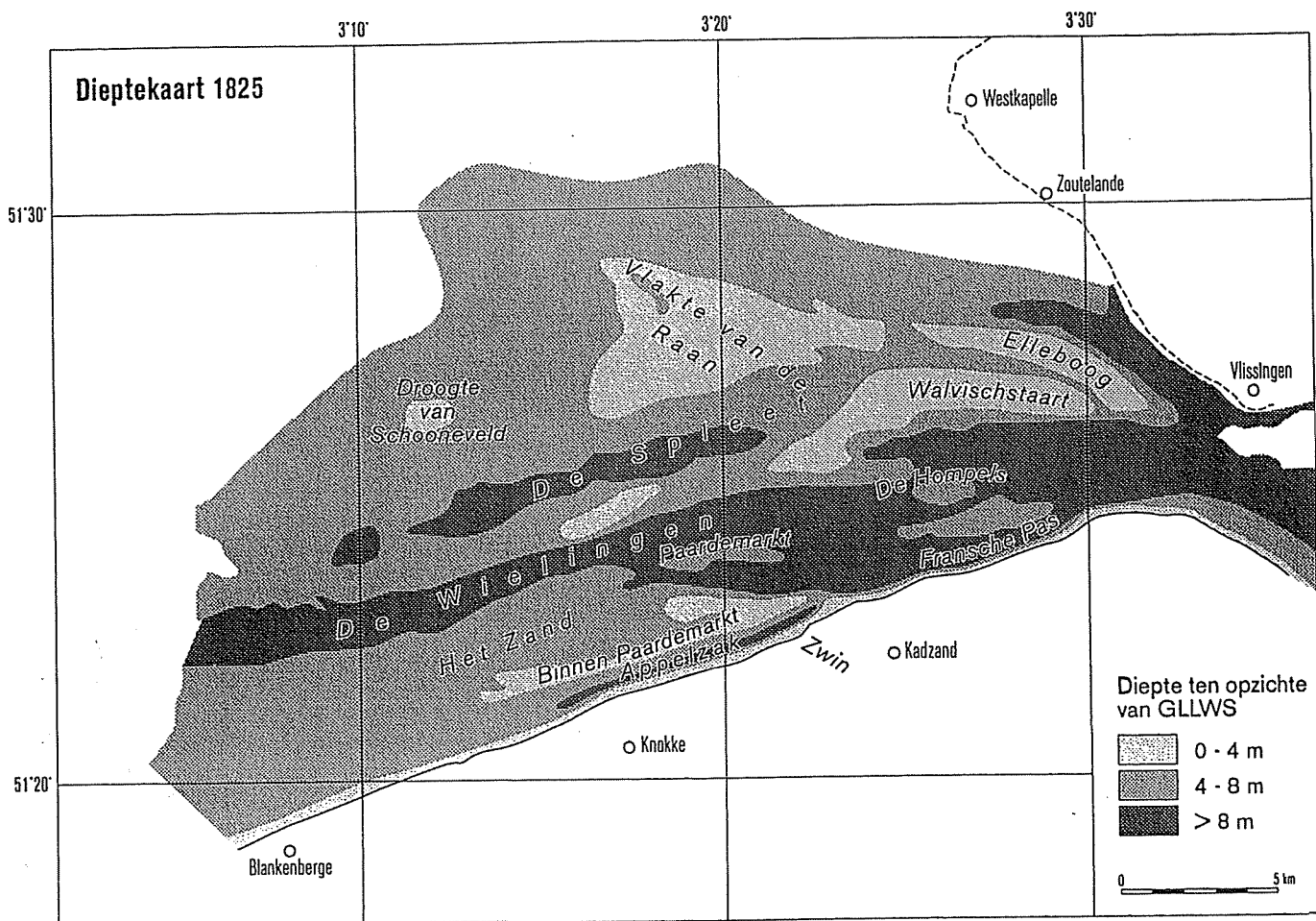
Ingriep kan effect hebben op zandwinning, onderhoud WS, verdieping monding en Westerschelde, hoeveelheid te storten specie.

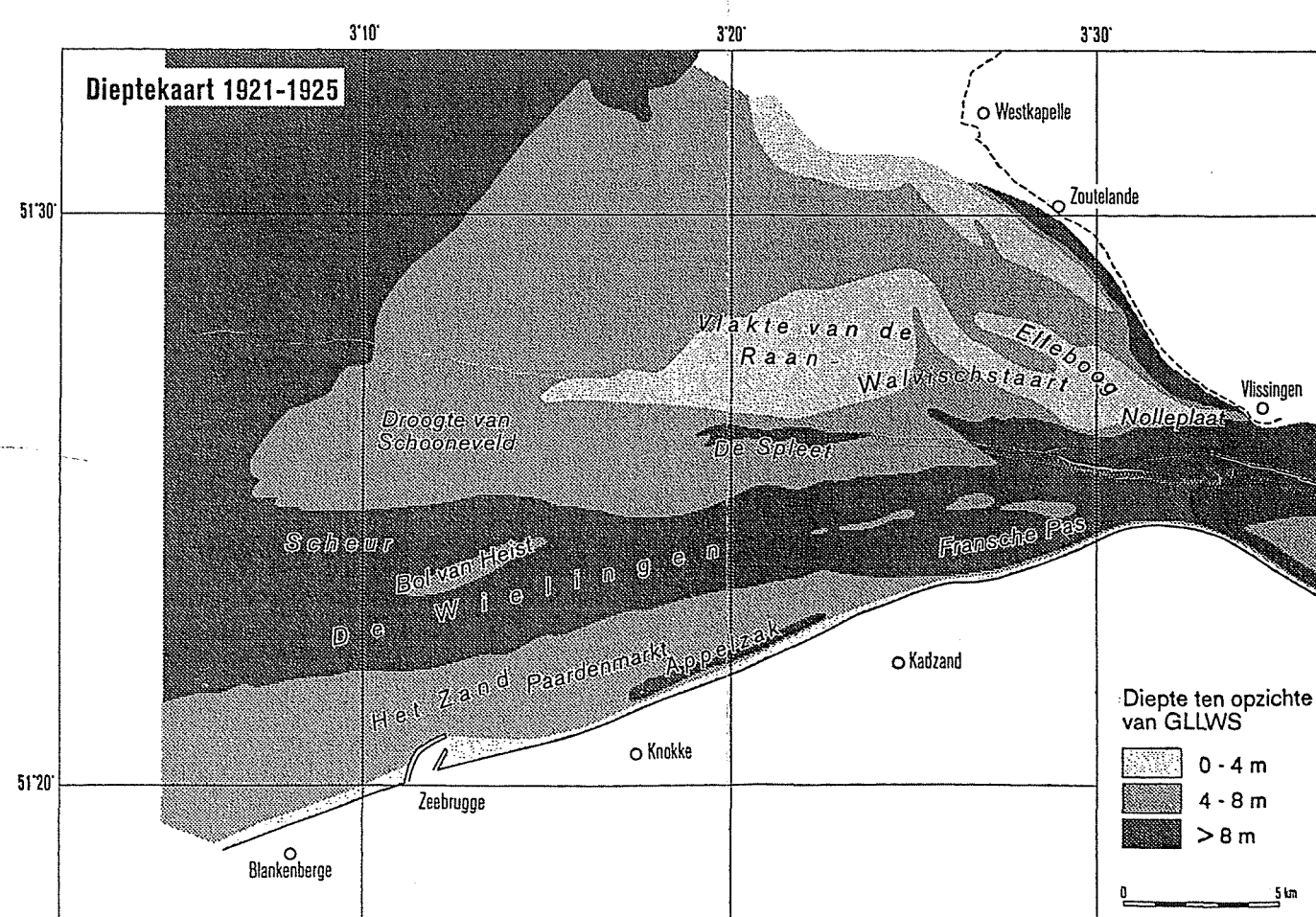
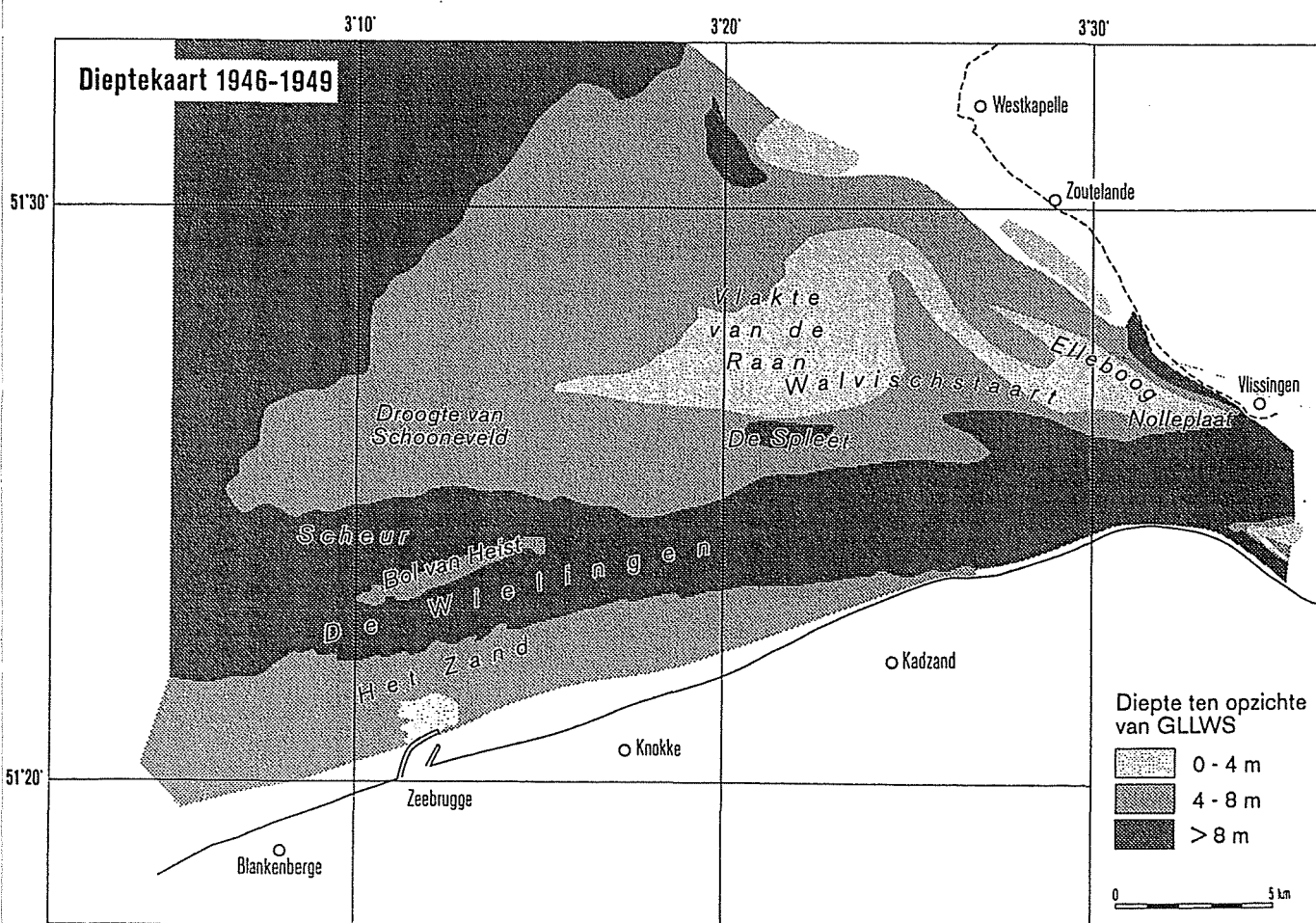
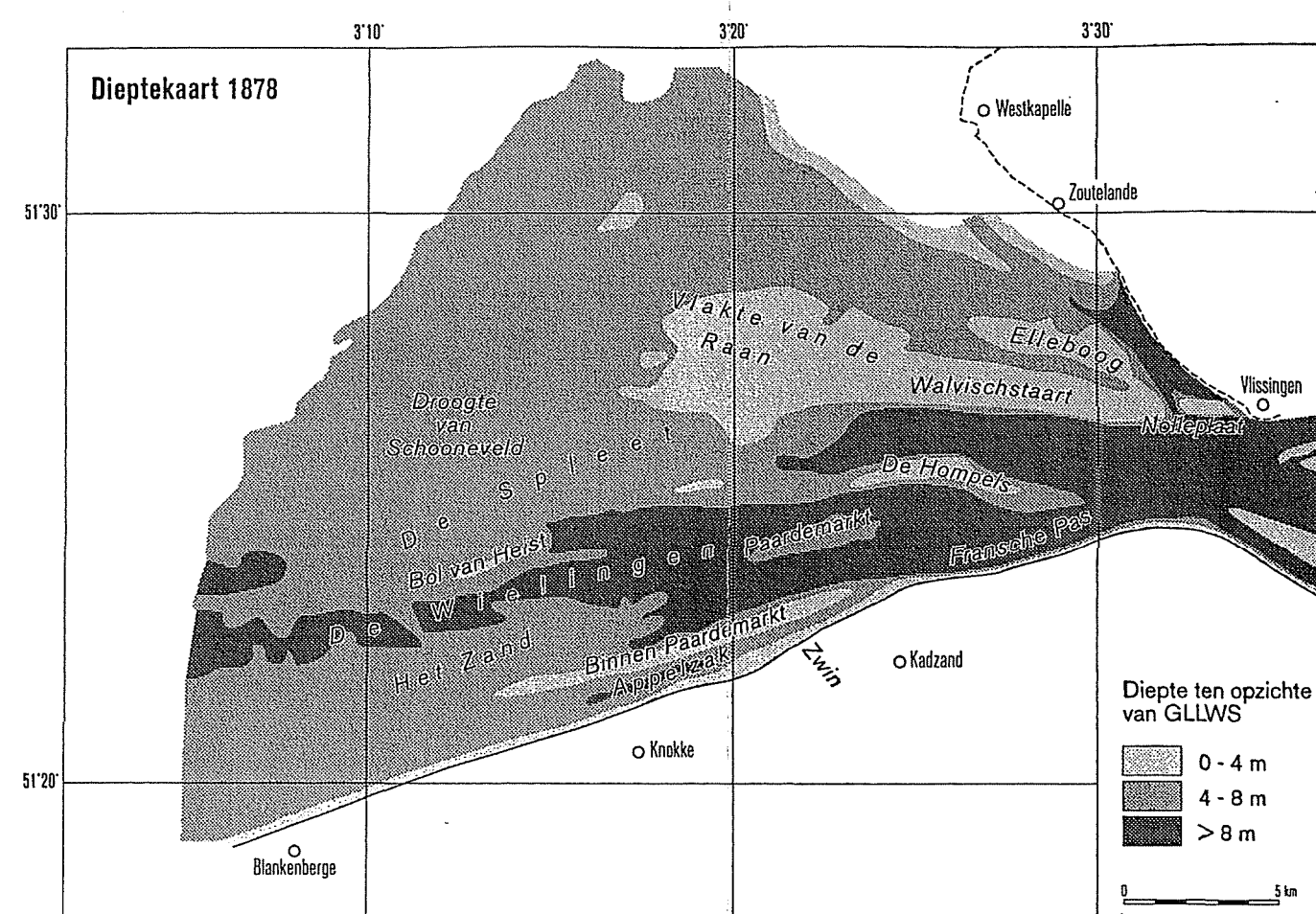
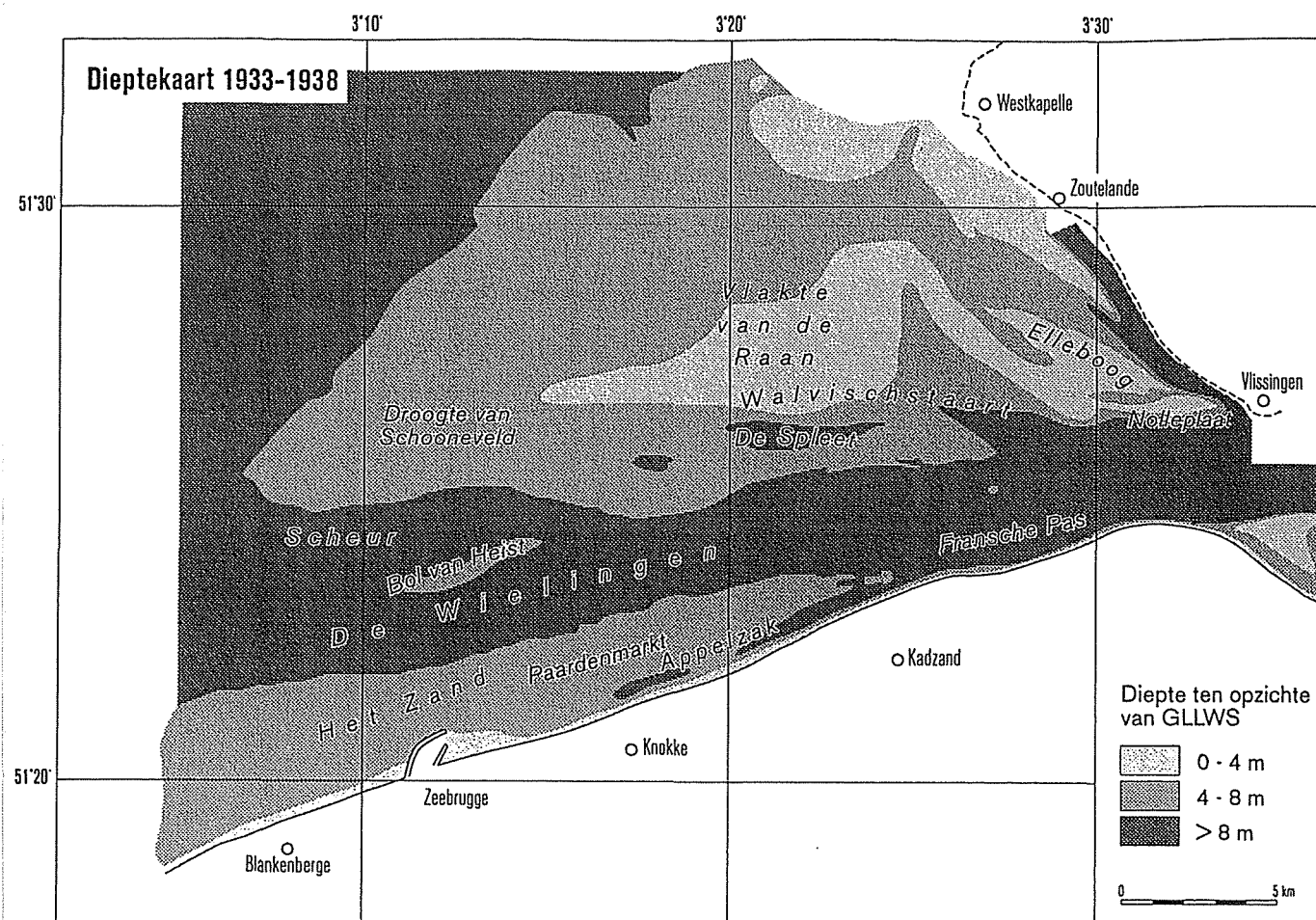
*De term 1991(0) is kenmerkend voor de gemiddelde hydraulische toestand van begin 1991

**Onderhoud WS(Mm3/jaar) bij verdieping '48/'43= 13 Mm3/jaar

***Voor de eilanden ingriep mag zelf een plek worden gekozen

slipstrand?
waan komt het
vandaar
0+6?





Figuur 3.1. De ontwikkeling van de Scheur/Wielingen tot "hoofdgeul" in de periode 1850-1950
naar van Cauwenberghe (1966) door Cartografisch Laboratorium van Fysische Geografie van Universiteit Utrecht

