

Z 2798

opdrachtgever

Rijkswaterstaat/RIKZ

Lange Termijnvisie Westerschelde
Cluster Morfologie
Achtergronddocument

januari 2000

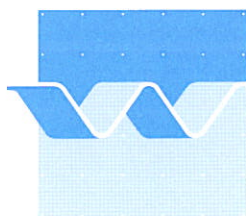
BD	61987
WL	Z2798
EXPL	WL Delft Hydraulics



C 145086

Lange Termijnvisie Westerschelde
Cluster Morfologie
Achtergronddocument

J.C. Winterwerp
M.C.J.L. Jeuken
M.J.F. Stive
H.J. de Vriend



wl | delft hydraulics

1. Inleiding

Door Rijkswaterstaat en de Vlaamse overheid wordt een Lange Termijnvisie voor het Schelde-estuarium opgesteld. De kerntaken van de Rijkswaterstaat, welke betrekking hebben op veiligheid, vlotte en veilige scheepvaart en een natuurlijke Westerschelde, krijgen in deze visie een centrale plaats. Om deze reden zijn er drie werkgroepen geformeerd: Toegankelijkheid, Veiligheid en Natuurlijkheid. Naast deze drie werkgroepen is ook het Cluster Morfologie ingesteld, nadat in de eerste fase van het project is geconstateerd dat de morfologie van het estuarium een belangrijke integrerende factor is tussen de drie genoemde functie, m.a.w. de visievorming loopt voor een belangrijk deel via het begrip van de morfologische processen in het Schelde-estuarium.

Per offerte-aanvraag RIKZ/AB-99.60451, d.d. 15 oktober 1999 en opdrachtbon 42992914, d.d. 28 oktober 1999 is aan WL | delft hydraulics opdracht gegeven RIKZ te helpen bij het uitwerken van de Cluster Morfologie. De activiteiten bestonden uit het bestuderen van een aantal documenten, betrekking hebbend op de morfologische ontwikkelingen in de Westerschelde, en documenten opgesteld door de verschillende werkgroepen. De rapportage van deze werkzaamheden is in het voorliggende Achtergronddocument vastgelegd. Daarnaast is door middel van een aantal discussie- en brainstormbijeenkomsten gewerkt aan een conceptueel model van het morfologisch functioneren van de Westerschelde. Het resultaat van die werkzaamheden is vastgelegd in de Samenvatting (WL rapport Z2798, d.d. januari 2000). Aan deze bijeenkomsten hebben velen meegedaan; de belangrijkste deelnemers vanuit de wekgroep zijn in alfabetische volgorde: A. Arends (RIKZ), J. Coossen (Zeeland), Y. Meersschaut (Borgerhout), P. Roelse (RIKZ), M. Taal (RA) en J.H. Vroon (RIKZ). Vanuit WL zijn betrokken geweest C. Jeuken, M. Stive, H. de Vriend en H. Winterwerp.

2. Inrichtingsmaatregelen

2a. Veiligheid

De inrichtingsmaatregelen richten zich op het handhaven en vergroten van de veiligheid tegen overstromen. Hierbij kan worden gedacht aan de volgende maatregelen:

- Dijkverzwaringen en geulrandverdedigingen (zie ook Toegankelijkheid).
- De aanleg van gecontroleerde overstromingsgebieden (GOG). Dergelijke gebieden zullen met name in het Zeeschelde/Schelde gebied tussen Antwerpen en Gent worden aangelegd met als beoogd resultaat een verlaging van de extreme hoogwaterstanden (stormcondities, extreem springtij). Tijdens extreme hoogwaterstanden bedraagt de waterstand in deze gebieden een 4 à 5 meter. In eerste instantie gaat het om ca. 1000 ha gecontroleerd overstromingsgebied. Een eventuele extra uitbreiding van ca 3700 ha wordt voorzien, waardoor het totale oppervlak gecontroleerde overstromingsgebieden in de toekomst ongeveer 4700 ha zou kunnen bedragen. Merk op dat dit totale oppervlak ongeveer een factor 2.5 groter is dan het huidige kombergingsoppervlak van de Zeeschelde/Schelde.
- Ontpolderen. Hierbij wordt in tegenstelling tot de vorige maatregel de ruimte voor de rivier permanent, d.w.z. gedurende het gehele getij en alle condities, vergroot. In het Zeeschelde/Schelde gebied kan deze ingreep bijdragen tot een grotere veiligheid tegen overstromen. In het meer zeewaartse deel van het estuarium zal een dergelijke maatregel meer gericht zijn op natuurherstel. Dit laatste komt doordat het ontpolderde gebied beduidend groter moet zijn om de grotere komberging in het zeewaartse deel van het estuarium te kunnen beïnvloeden.
- De aanleg van Gereduceerd Getij Gebieden (GGG). Hierbij gaat het in feite om een tussenvorm van gecontroleerde overstromingsgebieden en ontpolderen. Deze gebieden kennen bij ieder getij in de rivier een overeenkomstig getij van ongeveer een halve meter.
- Doorsteek naar de Oosterschelde.

2b. Toegankelijkheid

Voor het handhaven en verbeteren van de toegankelijkheid van het estuarium voor de scheepvaart kan worden gedacht aan de volgende inrichtingsmaatregelen:

- Nieuwe verdieping(en) van de vaargeul. Verdere verdiepingen van de vaarroute in de Westerschelde zullen leiden tot een vergroting van de baggerinspanning en veranderingen van de morfologie (structuur en dynamiek) en de waterbeweging in het estuarium.
- Wijzigingen in het technisch vaarwegbeheer (inspelen op morfologische ontwikkelingen van het systeem) en de daarmee samenhangende bagger- en stortvergunningen. Het effect van verdiepingen en onderhoud van de vaargeul kan sterk worden beïnvloed door het stortbeleid.
- Nog uit te voeren en eventuele nieuwe geulrandverdedigingen. Deze moeten enerzijds voorkomen dat de verplaatsing en verruiming van de hoofdgeulen een bedreiging gaat vormen voor de waterkeringen. Anderzijds zorgen de geulrandverdedigingen voor het handhaven van een vloeiende belijning (en verdieping?) van de vaargeul ten behoeve van de scheepvaart.
- De aanleg van een tweede containerkade bij Vlissingen. Voor deze uitbereiding van de haven van Vlissingen bestaan drie mogelijkheden (Arends en van Maldegem, 1999). Een daarvan betreft een buitendijkse landaanwinning ten oosten van de huidige haveningang waarvoor 10 Mm³ zand nodig is. Daarnaast zal afhankelijk van de gewenste scheepvaart

een verdieping en onderhoud van de vaarroute vanuit zee nodig zijn. Met name deze laatste ingreep kan duidelijke hydrodynamische en morfologische gevolgen hebben.

- De aanleg van een tweede zeesluis bij Terneuzen. Gebaggerd sediment dat tijdens baggerwerkzaamheden vrijkomt zal vermoedelijk in de Westerschelde moeten worden gestort. Dit kan afhankelijk van omvang en lokatie(s) invloed hebben op de morfologie en waterbeweging. Door de aanleg en ingebruikname zal het spuiregime bij Terneuzen veranderen.
- Aanleggen van het Deurganckdok. Langs de linkeroever van de Zeeschelde, ter hoogte van Antwerpen, wordt een nieuw havenbasin zonder sluizen aangelegd. Door het ontbreken van sluizen zal in het dok veel slib sedimenteren dat weer moet worden weggebaggerd. Door de aanleg van dit dok zal ook de komberging van het systeem (enigszins) vergroten.

2c. Natuurlijkheid

Vanuit de werkgroep Natuurlijkheid zijn nog concrete inrichtingsmaatregelen gedefinieerd. Eventuele inrichtingsmaatregelen zullen zich richten op het herstel en vergroten van de natuurwaarden van de Westerschelde (in het kader van natuurherstel-projecten). Hierbij zal worden getracht aan te sluiten bij een aantal inrichtingsmaatregelen op het gebied van veiligheid (werk met werk maken):

- Dijkverzwaringen/aanpassingen combineren met herinrichting van oevers.
- Gecontroleerde overstromingsgebieden (zie Veiligheid).
- Ontpolderen (zie Veiligheid).

Daarnaast kan worden gedacht aan:

- De kunstmatige bescherming, c.q. herstel van plaat- en schorgebieden die door ongewenste erosie worden bedreigd. Deze maatregel is vergelijkbaar met de bescherming van de noordrand van de Hooge Platen en het schorgebied van Ellewoutsdijk.
- Natuurbouw: het creëren van intergetijdegebieden door suppleties, c.q. depositie bevorderende maatregelen en het stimuleren van de ontwikkeling van kortsluitgeulen.

3. Beheersvragen

3a. Veiligheid

De beheersvragen op het gebied van veiligheid zijn:

1. Wat is het effect van een verdere verdieping op het getijregime in de Westerschelde, en op de extreme hoogwaters in het bijzonder?
2. Wat is het effect van de verschillende combinaties van GOG's op het getijregime?
3. Hoeveel GOG's zijn er nodig en in welke combinatie om de extreme hoogwaterstanden voldoende te verlagen?
4. Zijn de geul-, c.q. rivieroeveren stabiel?

3b. Toegankelijkheid

De volgende vragen zijn door de Werkgroep Toegankelijkheid geformuleerd:

1. Welke baggerinspanning dient geleverd te worden ten behoeve van vaarschema's met voldoende diepte van de vaargeul en eventueel grotere bochtstralen?
2. Welke verdere verdieping is morfologisch mogelijk, in het bijzonder het 46-voet-getijongebonden verdiepingsprogramma?
3. Wanneer ontstaat een omslag van een meergeulenstelsel naar een ééngenulstelsel, dit in relatie tot de baggerinspanningen en stortactiviteiten - wat dit laatste betreft wordt er op gewezen dat de baggerschepen een diepgang van 8 m hebben, welke vaardiepte dus aanwezig dient te zijn?
4. Wat gebeurt er met de morfologie en het verticale getij als gevolg van het verwijderen van grote hoeveelheden baggerspecie?
5. Hoe evalueren de stroomsnelheden bij verdergaande verdieping?
6. Wat is de invloed van een verdere verdieping, al dan niet in combinatie met GOG's en/of (grootschalige) ontpolderingen op de lokatie van het troebelingsmaximum in de Zeeschelde en de baggerinspanningen in Antwerpen?

3c. Natuurlijkheid

Een belangrijke vraag op het gebied van natuurlijkheid is in hoeverre en op welke wijze het huidige beleid (verdieping, stort- en zandwinstrategie) leidt tot wezenlijke veranderingen in de huidige morfologische structuur en dynamiek. Hierbij wordt in eerste instantie gedacht aan:

1. De ontwikkeling van de vijf belangrijkste plaatgebieden in de Westerschelde met daaraan gerelateerd het voorkomen van laag-dynamische slibrijke gebieden en ondiepwatergebieden met een zekere regeneratie op een tijdschaal van enkele jaren.
2. De aanwezigheid van het fenomeen kortsluitgeulen. Deze, over het algemeen kleinere geulen vormen een verbinding tussen de grote eb- en vloedgeulen en worden veelal gekenmerkt door een quasi-cyclisch geulgedrag (ontstaan, expansie en migratie en degeneratie). Door hun migratie zijn de kortsluitgeulen de meest dynamische elementen van het geul/plaat-systeem die op een tijdschaal van maanden tot jaren zorgen voor de regeneratie van de plaatgebieden.
3. De ontwikkeling van de Vlakte van de Raan in het mondingsgebied. Hoe ontwikkelt deze zich en op welke tijdschaal? Kan de Vlakte van de Raan als sedimentbuffer voor de Westerschelde fungeren, en zo ja, op welke tijdschaal?
4. Wat is de invloed van een verdere verdieping, al dan niet in combinatie met GOG's en/of (grootschalige) ontpolderingen op de lokatie van het zoutindringingsgebied op de Zeeschelde en de zout-zoetgradient op de Westerschelde?

Ten aanzien van Natuurlijkheid en een gezond ecosysteem leven ook enkele vragen op slibgebied:

1. Leidt een vermindering van de baggerinspanning tot een significante reductie van het bruto transport van slib en daarmee tot een verbetering van het doorzicht-/lichtklimaat.
2. Heeft een verdergaande onttrekking van slib op de Zeeschelde invloed op de sedimentsamenstelling van de platen in het oostelijk deel?

4. Relevante ruimte- en tijdschalen

In een estuarium kan onderscheid worden gemaakt tussen het momentane transport, het ebtransport, het vloedtransport en het resttransport. Door het resttransport over de geulen te integreren kan het resttransportveld worden ontbonden in een doorgaande component en circulaties binnen de genoemde eb- en vloedgeulensystemen. De doorgaande component van het resttransport veroorzaakt morfologische veranderingen op de schaal van het gehele estuarium. De circulerende transporten binnen de geulensystemen veroorzaken veranderingen op de schaal van deze systemen. Op dezelfde manier kan het transportveld verder worden ontbonden naar kleinere schalen. De kleinste relevante morfologische schaal is die van beddingvormen. Zo ontstaat een cascade van dynamische systemen, ieder met dynamische veranderingen op een specifieke ruimte- en tijdschaal:

Mega-schaal dynamiek. Veranderingen op de schaal van het hele estuarium of van de grootste compartimenten van het estuarium. De bijbehorende tijdschalen zijn eeuwen. De relevante natuurlijke ontwikkelingen en menselijke ingrepen (forcering) zijn zeespiegelrijzing en doorgaande zandwinning.

Macro-schaal dynamiek. Veranderingen op het niveau van hoofd- en nevengeulen, zoals functiewisseling van de geulen. De bijbehorende tijdschalen zijn decennia. De relevante externe forcering bestaat uit verdiepingen, onderhoudsbaggerwerk, storten van baggerspecie, de 18.6 jarige cyclus van het getij en dergelijke.

Meso-schaal dynamiek. Veranderingen zoals het ontstaan, migreren en verdwijnen van kortsluitgeulen, sedimenttransport over de platen, plaat-geul uitwisseling van sediment, enz. De bijbehorende tijdschalen zijn jaren. Relevante externe forcering bestaat uit extreme condities, getijbeweging, baggeren, storten en zandwinning.

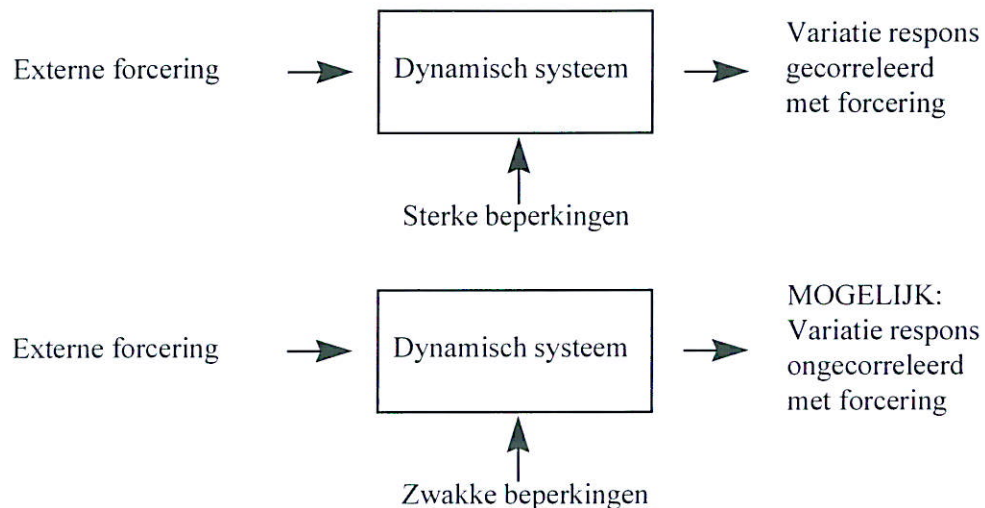
Micro-schaal dynamiek. Veranderingen op het niveau van beddingvormen, zoals megaribbels. Bijbehorende tijdschalen zijn dagen. Relevante externe forcering is alleen natuurlijk (getijbeweging, golfwerking).

Opgemerkt wordt dat bovenstaande indeling in schaalniveaus van morfologische dynamiek een schematisatie is. In werkelijkheid is het onderscheid tussen de verschillende schalen niet altijd duidelijk. Toch is een dergelijke schematisatie nuttig voor het analyseren van het systeem.

In de Westerschelde zijn een aantal ruimteschalen te onderscheiden. De grootste schaal is de megaschaal die in feite het hele estuarium omvat van de monding, inclusief de Vlakte van de Raan tot Gent. Dit is een gebied ter grootte van 150 - 200 km. Hoewel de huidige studie zich beperkt tot de Westerschelde zelf, zal toch een deel van de Zeeschelde mee in beschouwing genomen dienen te worden, zeg tot het zoutindringingsgebied bij Antwerpen. De relevante ruimteschaal wordt dan ca 150 km. Het estuarium is ten gevolge van bedijkingen op deze schaal gefixeerd, c.q. gelimiteerd, i.e. het heeft geen graden van vrijheid in het horizontale vlak (zie ook hoofdstuk 7).

Stive et al. (1998) presenteren een conceptueel model voor de morfologische dynamiek van de Westerschelde. Volgens hen geldt in het algemeen dat het gedrag van een dynamisch systeem wordt bepaald door aan de ene zijde externe aandrijving en aan de andere zijde de beperkingen die het systeem worden opgelegd (Figuur 4.1). De externe aandrijving kan bestaan uit zowel natuurlijke aandrijving als menselijke ingrepen. Met de beperkingen worden bijvoorbeeld de vastgelegde grenzen van een estuarium bedoeld, in het geval van een estuarien morfodynamisch systeem. Wanneer de beperkingen zwak zijn, kan het systeem vrij gedrag vertonen. Dat wil zeggen dat er zich morfologische veranderingen kunnen voordoen

die niet kunnen worden herleid tot variaties in de externe aandrijving. Dit vrije gedrag wordt veroorzaakt door de interne dynamiek van het systeem. Denk hier bijvoorbeeld aan de vorming van bodemribbels, bankvorming bij de kust en op open zee, maar ook aan de vorming van plaat-geulstelsels in estuaria. Beperkingen zijn meestal strijdig met dit vrije gedrag, dus wanneer er sterke beperkingen zijn zal vrij gedrag minder makkelijk optreden. In dat geval overheerst de respons op de externe aandrijving.

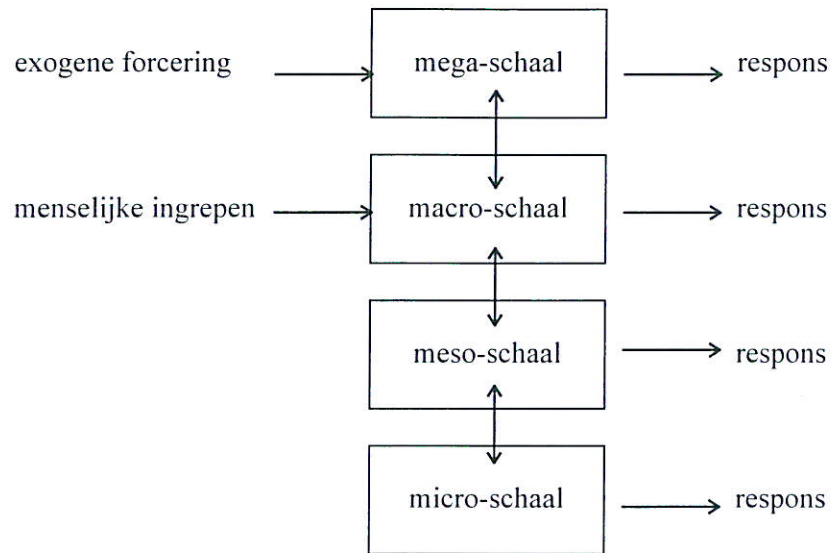


Figuur 4.1: Respons van een dynamisch systeem op externe forcing

Normaal wordt het gedrag van de Westerschelde beschreven door onderscheid te maken tussen autonome ontwikkeling en de effecten van ingrepen. Volgens het huidige conceptuele model is de autonome ontwikkeling de respons op natuurlijke forcing terwijl de effecten van ingrepen gelijk zijn aan de respons op die ingrepen. Het model zegt verder dat of de respons op ingrepen te herkennen is, sterk afhangt van de mate van beperking. Bij zwakke beperkingen vertoont het systeem meer vrij gedrag en is er een zwakke correlatie aanwezig tussen het gedrag van het systeem en de menselijke ingrepen.

Dit algemeen geschetste conceptuele model kan worden toegepast op het morfodynamische systeem van een estuarium als geheel, en het kan worden toegepast voor elk subsysteem binnen dat estuarium. Wanneer het systeem wordt onderverdeeld in vier schaalniveaus, de mega-, macro-, meso- en micro-schaal, kan elk schaalniveau als een dynamisch subsysteem worden beschouwd. Op elke schaal kan in principe externe forcing worden uitgeoefend en op elke schaal kan in principe ook een respons van die forcing worden verwacht. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 4.2. Van een externe forcing op een bepaald schaalniveau wordt in eerste instantie een respons van het systeem op hetzelfde schaalniveau verwacht. Maar via de interne wisselwerkingen, de interacties tussen de verschillende schaalniveaus, kan er ook respons van het systeem op andere schaalniveaus ontstaan. De interacties tussen de verschillende schaalniveaus kunnen voor een deel als onderlinge beperkingen worden beschouwd. Zo beïnvloedt de morfodynamische ontwikkeling op megaschaal de beschikbare ruimte voor de ontwikkeling van geulensystemen op macroschaal. Daarmee worden de beperkingen voor de morfologische dynamiek op macroschaal versterkt of verzwakt. Hetzelfde geldt voor de interactie tussen de macro-schaal en de meso-schaal. Het geulenpatroon op macroschaal bepaalt de randvoorwaarden voor de ontwikkeling van kortsluitgeulen. De invloed van lagere schaalniveaus op de hogere schaalniveaus gaat meestal via veranderingen van de eigenschappen van het systeem zelf, zoals verandering van de bodemruwheid invloed uitoefent op de waterbeweging, en daarmee op de hogere

schaalniveaus. Voor het analyseren van de eigenschappen van het systeem moet gekeken worden naar de fysische processen die binnen het systeem relevant zijn.



Figuur 4.2: Respons op externe forcering van een dynamisch systeem op diverse schaalniveaus

In hoofdstuk 4c is een ecologisch waardevol eco(deel)systeem gedefinieerd als een laag-dynamisch systeem met regeneratievermogen. In ruimte-schaal terminologie betekent dit dat het systeem op meso-schaal laag-dynamisch dient te zijn met tijdschalen voor vernieuwing, c.q. regeneratie van de orde van jaren, zeg 5-10 jaar. Ook op micro-schaal dient het systeem laag-dynamisch te zijn. Deze eisen zouden vertaald kunnen worden in termen van sedimenttransport: de morfologische veranderingen op meso-schaal worden vooral door het netto sedimenttransport bepaald, terwijl de morfologische veranderingen op micro-schaal vooral door de bruto sedimenttransporten worden bepaald.

5. Overzicht indicatoren

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van alle in de geraadpleegde documenten gevonden mogelijke indicatoren om de morfologische ontwikkelingen in de Westerschelde te monitoren, c.q. te beschrijven, en enige nieuwe. We beperken ons tot fysische indicatoren, doch niet slechts tot morfologische. De indicatoren zijn onderverdeeld in drie categorieën: waterbeweging, morfologie en sediment transport. In de navolgende subhoofdstukken wordt een eerste keuze gemaakt voor de drie aandachtsgebieden Veiligheid, Toegankelijkheid en Natuurlijkheid.

5a. Waterbeweging:

1. De veranderingen in de getijcomponenten. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen het horizontaal en verticaal getij. Het verticaal getij is vooral van belang voor veiligheid en toegankelijkheid - uit recent onderzoek blijkt dat, naast de voor de hand liggende amplitude, ook de fasehoek tussen de diverse componenten van invloed is op de waargenomen hoog- en laagwaters en de gemiddelde waterstand. Het horizontaal getij is met name van belang met betrekking tot het transport van sediment en opgeloste stoffen. Met name de hogere harmonische (amplitude en fasehoek) spelen een belangrijke rol bij het sedimenttransport.
2. Ook de absolute grootte van de langssnelheden en door nevengeulen, veelal kortsluitgeulen, geïnduceerde dwarsnelheden zijn van belang voor een veilige scheepvaart.
3. Het getijvenster is van belang voor de scheepvaart en wordt mede bepaald door de vorm van de getijkromme.
4. Getijvolume door geul.
5. Restdebiet door geul. Dit is analoog aan het netto transport door een geul.
6. Verhouding getijvolume hoofd-/nevengeul eventueel uitgedrukt in de dominantie factor zoals geformuleerd door Van Kleef (1994). Verandering van deze laatstgenoemde parameter blijkt goed te correleren met de sediment budget veranderingen van estuariene secties.
7. De zout-zoetgradiënt is van belang voor het ecosysteem en wordt bepaald door de rivierafvoer en de getijbeweging en daardoor mede door de morfologische ontwikkelingen. Ook heeft de zout-zoetgradiënt invloed op het horizontale resttransport via de gravitatie-circulatie.
8. In de monding van de Westerschelde zijn golfcondities van belang voor de toegankelijkheid (scheepvaart).
9. Bochtstralen zijn voor een veilige scheepvaart van belang, doch beïnvloeden ook de secundaire stromingen in de geulen.

5b. Morfologie:

10. Naast de getijslag is de waterdiepte zelf een belangrijke parameter - voor de scheepvaart zijn uiteraard de ondiepe delen maatgevend, terwijl de transporten en de morfologische processen juist meer door gemiddelde waarden worden bepaald.
11. Het op diepte houden van de vaarweg vergt baggeronderhoud. De grootte van de baggerinspanning, de te storten hoeveelheden specie en hun lokatie en de hoeveelheden en lokaties van zandwinning zijn voor de hand liggende indicatoren (en stuurgrootheden).
12. De gemiddelde bodemniveau veranderingen zoals gedefinieerd door Sistermans (1997).
$$\text{Dynamiekgetal} = (\text{erosievolume} + \text{sedimentatievolume}) / (\text{gebiedsoppervlakte} \times \text{tijdverschil})$$

Dit getal heeft de dimensie $[LT^{-1}]$ en fysisch betekent het de gemiddelde bodemniveau-veranderingssnelheid. Sistermans heeft het getal bepaald voor de zes lodingsvakken en voor verschillende tijdsintervallen. Hij constateert dat het dynamiekgetal afneemt naarmate het gehanteerde tijdsverschil groter wordt. Hij constateert ook dat het dynamiek getal in het oostelijke deel van Westerschelde is afgenomen.
13. Frequentie van functie-wisseling van de geulen. Functie-wisseling tussen hoofdgeul en nevengeul wordt als een belangrijk kenmerk van morfologische dynamiek op macro-schaal beschouwd. Daarom wordt als indicator voorgesteld het aantal keren per tijdseenheid dat een dergelijke functiewisseling plaatsvindt. Dit kan voor zowel het hele estuarium als voor een bepaald geul-plaat systeem worden gedefinieerd. Beperking: het tijdsinterval dat voor deze indicator wordt gebruikt moet relatief groot zijn ten opzichte van de morfologische tijdschaal behorend bij macro-schaal ontwikkeling.
14. Migratiesnelheid van geulen en nevengeulen; dit heeft waarschijnlijk een nauwe relatie met de frequentie van functie-wisseling. Tevens is migratie, c.q. uitschuren van geulen van belang voor de stabiliteit van oever-/dijkverdedigingen.
15. Het aantal kortsluitgeulen per hoofdgeul-nevengeul-plaat systeem. Als één van de indicaties dat de ingrepen van de afgelopen decennia negatieve invloed hebben op de morfologische dynamiek op mesoschaal wordt genoemd dat steeds minder kortsluitgeulen voorkomen. Dit is de achtergrond van de definitie van deze indicator.
16. Het aantal kortsluitgeulen per eenheid lengte van het estuarium. Deze indicator is afgeleid van de vorige. In plaats van kijken per geul-plaat systeem wordt nu gekeken naar het hele estuarium. Om een vergelijking met andere estuaria mogelijk te maken wordt het aantal door de lengte van het estuarium gedeeld.
17. Verhouding tussen het areaal en/of volume van de verschillende morfologische eenheden. Met morfologische eenheden worden hier eenheden zoals diepe geul, ondiep water, lage plaat, hoge plaat bedoeld. Deze indicator kan zowel per dwarsprofiel als per (deel-) gebied worden gedefinieerd. De grootte van het slikken- en schorrenareaal en van de intergetijde-gebieden zijn een maat voor de ecologische capaciteit van de Westerschelde. Uit recent onderzoek is gebleken dat de omvang van het intergetijdegebied in combinatie met de gemiddelde geuldiepte van belang zijn voor de asymmetrie van het verticale getij.
18. Moran functie. Afkomstig van Hofstede (1991) en gebruikt om de morfologische dynamiek van het Duitse Waddengebied te beschrijven.

19. De sedimentbalans van het estuarium zelf, of deelgebieden daarvan, is, indien te bepalen, een cruciale parameter om de huidige status van het systeem en die in de nabije toekomst te beschrijven.

5c. Sediment- en stoftransport:

20. Totaal (eb-/vloed-) transport door de geul. Morfologische veranderingen hangen nauw samen met het sedimenttransport. Het totale sedimenttransport tijdens vloed / eb door een geul is een maat voor de snelheid waarmee een geul op ingrepen binnen de geul kan reageren. Opgemerkt wordt dat deze indicator veel makkelijker uit model resultaten (2DH) is af te leiden dan direct uit metingen.
21. Het netto-transport door de geul. Morfologische veranderingen worden bepaald door het netto-transport, oftewel het verschil tussen eb- en vloed-transport. De grootte van het netto-transport is wellicht een indicator voor de morfologische dynamiek. Hier geldt nog sterker dat deze indicator moeilijk is te bepalen uit metingen. Model resultaten met betrekking tot deze indicator zijn ook meestal onnauwkeurig.
22. Het netto circulatie-transport rondom een plaat. Het netto-transport kan ontbonden worden in een doorgaande component en een component die circuleert rondom een plaat. De circulerende component is meer een indicator voor ontwikkelingen op macro-schaal terwijl de doorgaande component meer voor ontwikkeling op mega-schaal is.
23. Verhouding transport in nevengeul ten opzichte van de hoofdgeul. Uit de OOSTWEST studie is gebleken dat één van de kenmerken van de veranderingen tot nu toe is, dat de nevengeulen een steeds minder belangrijke rol spelen. Daarom wordt als indicator de relatieve verhouding tussen de transporten voorgesteld.
24. Verhouding ingreep ten opzichte van de transportcapaciteit in de beschouwde morfologische eenheid. Deze indicator wordt voorgesteld om de effecten van ingrepen te benadrukken. Uit een eerdere studie is gebleken dat wanneer de hoeveelheid baggeren/storten boven een bepaald percentage van het totale transport door de geulen komt, een hoofdgeul nevengeul systeem instabiel wordt (RIKZ, 1997; Dunsbergen & De Gelder, 1998; Fokkink, 1997).
25. Slibgehalte in de bodem. De bodemsamenstelling is meestal goed gecorreleerd met het lokale energieniveau en is een indicator voor de morfologische dynamiek op microschaal, en is tevens een cruciale parameter voor de ecologie.
26. Het doorzicht (extinctie) is een belangrijke ecologische parameter. Niet duidelijk is veranderingen voldoende onderscheidend zijn vast te leggen.
27. Netto transport bij de monding. Sediment import / export bij de monding van het estuarium is een indicator voor het optreden van veranderingen op megaschaal.

6. Morfologische kenmerken Westerschelde

Bij het ontwikkelen van een lange-termijn visie voor het Schelde-estuarium zijn ten minste drie morfologische aspecten van belang:

- De functie van het mondingsgebied van het estuarium in relatie tot de lange-termijn dynamische ontwikkeling.
- De fixatie van het estuarium, en daarmee samenhangend
- De aanwezigheid van een meergeulenstelsel.

Deze aspecten worden in de navolgende paragrafen kort toegelicht.

6a Het mondingsgebied

Het mondingsgebied, ook wel aangeduid als voordelta, vormt een groot (ca 950 km², 69 %) en integraal onderdeel van het totale Schelde estuarium. De morfologie van dit uitgestrekte gebied wordt gedomineerd door de getijdegeulen Wielingen, Oostgat en Deurloo en het plaatgebied Vlake van Raan. Laatstgenoemde is onder andere belangrijk als paai- en visserijgebied terwijl de geulen een natuurlijke toegang bieden voor de scheepvaart van en naar de havens langs het estuarium.

Voor het ontwikkelen van een lange termijn visie voor het Schelde estuarium zijn met name drie vragen over het morfologisch functioneren van de voordelta van belang:

- Hoe stabiel is de voordelta (Vlake van de Raan)?
- Functioneert de voordelta als een sedimentbuffer voor het binnengebied van het estuarium?
- Zo ja, wat zijn de bijbehorende morfologische tijdschalen (en mechanismen)?

De Vlake van de Raan bestaat gedeeltelijk uit harde geologische afzettingen (van der Spek, 1997) en is daardoor waarschijnlijk zeer stabiel. De grootste morfologische veranderingen die in de voordelta hebben plaatsgevonden zijn de verlegging en splitsing van de Deurloo rond 1970 en de kunstmatige verdieping van de Wielingen met name in het begin van de jaren tachtig. De beschikbare waarnemingen laten geen significante veranderingen in het sediment budget van de voordelta zien (? Van der Slikke 1997, 1998). Volgens de in deze notitie gepresenteerde hypothesen is het van groot belang voor het morfologisch functioneren van de Westerschelde dat dit gebied ook stabiel blijft, hetgeen op voorhand restricties oplegt aan menselijke activiteiten aldaar.

Uit eerder onderzoek is gebleken dat de voordelta's van relatief korte getijbekkens / zeegaten kunnen functioneren als sedimentbuffer voor het binnengebied (zie De Vriend, 1996 voor een overzicht). Een bekend voorbeeld is de ontwikkeling van het Friesche Zeegat als gevolg van de afsluiting van de Lauwerszee in 1969. De abrupte reductie van het getijprisma in dit gebied resulteerde in een aanpassingsproces (sedimentatie) van het geul-plaatsysteem in het binnengebied. Een groot deel van het benodigde sediment, voor het verkleinen van het doorstroomoppervlak van de geulen en de opbouw van platen, wordt tot op heden geleverd door de voordelta en het aangrenzende kustgebied. De tijdschaal waarop op dit proces zich manifesteert bedraagt dus meerdere decennia.

Dit concept waarbij de voordelta fungeert als een sedimentbuffer voor het binnengebied is recent toegepast in morfologische gedragsmodellen (De Vriend et.al. 1994, Stive et. al. 1998). Het is vooralsnog niet duidelijk in hoeverre de bestaande modelconcepten ook van

toepassing zijn op langere getijdebekkens zoals het Schelde estuarium. Overige aspecten die van belang zijn met betrekking tot de morfologische functie van het mondingsgebied zijn:

- De grotere afmeting (lengte) van het Schelde estuarium suggereert een grotere tijdschaal waarop een sedimentuitwisseling tussen voordelta en binnengebied optreedt.
- Het vaststellen van de richting van de sedimentuitwisseling tussen voordelta en binnen gebied ('import/export') is in de praktijk lastig door de beperkte nauwkeurigheid van de meetgegevens en de ingrepen in het estuarium. Schatting van een netto import lopen uiteen van 0.8-3Mm³/jaar (Stive en ..?, Vroon et al., 1997).
- De aanleg van de Oosterscheldekering heeft weinig effect gehad op het getij bij Westkapelle (Svasek, 1997).
- Het netto zandtransport in de Noordzee is vloed-gedomineerd. Deze vloed-dominantie geldt mogelijk niet voor het hele kustprofiel (Van der Slikke, 1999): het verschil in waterstand tijdens eb en vloed veroorzaakt onder de kust een netto stroming in zuidelijke richting en een residuele stroming in noordelijke richting op dieper water.

6b. De fixatie van het estuarium en het meergeulen stelsel

Bedijkingen en inpolderingen in het verleden hebben geresulteerd in een fixatie en stroomlijning van het totale estuarium. De breedte van het estuarium ligt in grote lijnen vast waardoor het systeem op megaschaal geen horizontale vrijheidsgraden meer heeft. De belangrijkste 'ophangpunten' langs de Westerschelde die al sinds ten minste 1800 aanwezig zijn, worden gevormd door de oeververdedigingen bij Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath. Daarnaast kan ook de Vlakte van Raan in de voordelta als een extra ophangpunt worden beschouwd.

Deze fixatie lijkt een grote invloed te hebben gehad op de morfologische ontwikkeling van het grootschalige systeem van geulen en platen in de Westerschelde dat wordt gekenmerkt door een opvallend regelmatig en repeterend patroon (Jeuken, 1998, in voorbereiding). Dit patroon dat wordt aangeduid als bochtgroep ('estuarine section' in het Engels) bestaat uit een grote gekromde ebgeul met daarnaast een grote rechte vloedgeul. De twee geulen zijn gescheiden door langgerekte plaatgebieden. Kleinere kortsluitgeulen (mesoschaal) vormen verbindingen tussen de grote eb- en vloedgeul. In de gehele Westerschelde kunnen sinds ongeveer 1930 vijf tot zes bochtgroepen ('estuarine sections') worden onderscheiden.

Dus op macro-schaal wordt de Westerschelde gekenmerkt door een meergeulensysteem. De horizontale vrijheid van dit geulsysteem wordt beperkt door de bedijkingen en de recente aanleg van geulwandverdedigingen. De dynamiek en flexibiliteit van het huidige geul-plaat systeem worden in belangrijke mate bepaald door de aanwezigheid en het quasi-cyclisch gedrag van de kortsluitgeulen (meso-schaal) en beddingvormen (micro-schaal). Het meergeulensysteem op macro-schaal is echter een voorwaarde voor het bestaan van kortsluitgeulen.

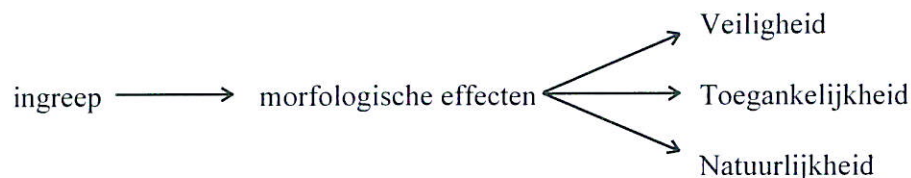
Observaties uit het verleden en een stabiliteitsanalyse van het geulsysteem (Wang, 1997) geven aan dat het huidige meervoudige geulsysteem onder invloed van menselijke ingrepen kan omslaan in een enkelvoudig geulsysteem. Uiteindelijk kan dit leiden tot een kleine geul die gedomineerd wordt door de rivierafvoer ('verlanding'). De tijdschaal van een dergelijk proces is vermoedelijk zeer groot (eeuwen) en wordt in belangrijke mate bepaald door de beschikbaarheid van sediment (in de voordelta en kust). Niettemin wordt deze situatie algemeen als ongewenst beschouwd. Belangrijke vragen zijn daarom:

- In hoeverre bevindt het huidige geul-plaatsysteem zich op een omslagpunt naar een één-geulsysteem (waar liggen de systeemgrenzen) en wat zijn de gevolgen van zo'n omslag?
- Indien omslag naar een één-geulsysteem zou optreden, hoe manifesteert zich dat op kortere termijn, zeg jaren tot decennia? Is het denkbaar dat sedimenttekorten lokaal worden aangevuld, waardoor een deel van het estuarium verlandt en een ander deel verdrinkt?

Uit eerder onderzoek naar met name korte getijdebekkens is gebleken dat de getijasymmetrie in dergelijke systemen sterk gecorreleerd is met morfologische eigenschappen van het plaat/geul systeem (zie Wang et.al., 1999 voor een overzicht). Zo blijkt een systeem met diepe geulen en een zekere hoeveelheid plaatgebieden te tenderen naar ebdominantie, terwijl ondiepere systemen de neiging hebben om vloed-dominant te zijn. Bij een bepaalde waarde van de verhouding plaat/geulvolume wordt de eb/vloeddominantie van een systeem in grote mate bepaald door de ratio getijamplitude/waterdiepte. In zo'n geval kan een systeem uitermate gevoelig worden voor positieve terugkoppelingen. Zo kan een toename van de geuldiepte leiden tot omslag naar een ebdominant systeem waarbij een eventuele export van sediment weer resulteert in verdere verdieping enz. Deze concepten lijken kwalitatief ook van toepassing op de Westerschelde (Wang et.al. 1999). Met dergelijke mechanismen, die zich vermoedelijk in eerste instantie manifesteren op de schaal van bochtgroepen, moet daarom wel degelijk rekening worden gehouden.

7. Ingreep-effectrelaties

In deze notitie worden de morfologische aspecten van de ontwikkelingen in de Westerschelde besproken. In de ingreep-effectrelaties worden daarom slechts die relaties aan de orde gesteld die een morfologische component hebben. In schematische vorm impliceert dat de volgende ordening:



De ingreep-effectrelaties dienen op drie tijdschalen te worden uitgewerkt, i.e.

- de korte termijn van een aantal jaren (tot ca 2005) - de bijbehorende ruimteschaal is de meso-schaal; op deze schaal heeft het systeem dus een vrije respons.
- de middellange termijn van een aantal decennia (tot ca 2030) - de bijbehorende schaal is de macro-schaal van de hoofdgeulen en bochtgroepen; op deze schaal is het systeem gefixeerd door een aantal ophangpunten.
- de lange termijn van een eeuw (tot 2100) - de bijbehorende schaal is de mega-schaal van het hele systeem.

De diverse ingrepen, die in hoofdstuk 3 geïnventariseerd zijn, kunnen geclusterd worden in drie beheersstrategieën:

1. Voortzetting huidig beleid met 43/48-voet toegankelijkheid, storten baggerspecie in westelijk deel van de Westerschelde en zandwinning t.g.v. ca 1.5 Mm³.
2. Verdere verdieping conform het 46-voet-getijongebonden verdiepingsprogramma of verder tot 55 voet. Ten behoeve van de huidige studie wordt **verondersteld** dat deze strategie zich van de eerste onderscheid door een limiterende bergingscapaciteit in de Westerschelde zelf, ten gevolge waarvan storten in bijvoorbeeld het mondingsgebied en een combinatie van zandwinning met baggeren noodzakelijk worden.
3. Meer ruimte voor de rivier in combinatie met 1 of 2 (ontpolderen, doorsteek naar Oosterschelde, geen harde constructies).

De effecten per aandachtsgebied leiden tot de relevante indicatoren - zie hoofdstuk 6 voor toelichting:

7a. Veiligheid

- Frequentie en duur extreem hoogwater met als indicatoren: 1) de (veranderingen in de) getijcomponenten,
- Geul- en dijkstabiliteit met als indicatoren: 2) absolute grootte van de langstroomsnelheden, 13) frequentie van functiewisseling geulen, 14) migratiesnelheid van geulen. Opgemerkt wordt dat stabiliteitsproblemen waarschijnlijk technisch oplosbaar zijn met bodembeschermingsmaatregelen.

7b. Toegankelijkheid

- Vaardiepte met als indicatoren: 1) de (veranderingen in de) getijcomponenten, 8) golfcondities in de monding, 10) waterdiepte,
- Getijvenster met als indicatoren: 1) de (veranderingen in de) getijcomponenten,
- Dwarsstroomsnelheden met als indicatoren: 2) de absolute grootte van de dwarsnelheden (= grootte langssnelheden door nevengeulen),

- Bochtstralen met als indicatoren: 9) bochtstraal, 13) frequentie van functiewisseling geulen,
- Baggerhoeveelheden met als indicatoren: 11) de grootte van de baggerinspanning,
- Bergingscapaciteit baggerspecie met als indicatoren: 10) waterdiepte, 11) de grootte van de baggerinspanning, 20/21/22/23) netto en bruto transporten in hoofd- en nevengeulen.

7c. Natuurlijkheid

- Gedrag plaat-geulcomplexen en dynamica van intergetijdegebieden met als indicatoren: in feite vrijwel alle in hfdst 6b genoemde indicatoren (12, 13, 14, 15, 16, 18)
- Areaal aan intergetijdegebieden naar soort (i.e. ondiepwatergebieden, intergetijdegebieden, slikken en schorren) met als indicatoren: 17) verhouding tussen het areaal en/of volume van de verschillende morfologische eenheden.

Mogelijke indicatoren voor de monitoring van de ontwikkeling van de morfologie zelf en het sedimenttransport zijn in de hoofdstukken 6b en 6c behandeld.

Voor de overzichtelijkheid worden de ingreep-effectrelaties in de matrix in Tabel 1 samengevat. Opgemerkt wordt dat in deze matrix geen onderscheid wordt gemaakt tussen de diverse ingreepcombinaties. Deze combinaties onderscheiden zich uiteraard wel ten aanzien van de grootte van de effecten; bepaling hiervan vraagt echter om kwantitatieve studies.

tijdschaal ruimteschaal		eeuw(en) mega-schaal	decennia macro-schaal	jaren meso-schaal	dagen-maanden micro-schaal
streefbeeld	V	-geen overstromingen	-geen oevererosie	-geen oevererosie	
	T	-ruim getijvenster	-grote bochtstralen -bergingscapaciteit baggerspecie	-veilige vaardiepte -geen dwarsstromen -minimaal baggeren -regeneratie igb's -niet te dynamisch	
	N	-arealen igb's -diversiteit -slibgehalte igb's			
aspecten	V	-waterstand -GOG's, GGG's -ontpolderen -doorsteken O'Schld	-geulmigratie -functiewisselingen -geulw.-verdediging	-geulmigratie	
	T	-getijkarakter	-geulmigratie -wel nevengeulen -stortlokaties -geulw.-verdediging	-drempelhoogte -geen nevengeulen -baggerstrategie	
	N	-kwaliteit igb's -zandwinning -GGG's	-meergeulensysteem	-zand-slibverhouding -meergeulensysteem -herinrichting oevers -natuurbouw	-zand-slibverhouding
processen	V	-getijcomponenten -komberging -langskanteling	-secundaire stroming -erosie	-secundaire stroming -erosie	
	T	-stroomsnelheden -getijcomponenten -bufferwerking Raan -netto transporten	-stroomsnelheden -sedimenttransporten -functie-wisseling -omslag	-stroomsnelheden -baggerwerk -omslag	-netto transporten
	N	-bufferwerking Raan -kanteling -netto transporten		-bruto transporten -geulmigratie	-bruto transporten

Tabel 1: Morfologische ingreep-effectmatrix; V = Veiligheid, T = Toegankelijkheid, N = Natuurlijkheid, igb = intergetijdegebied.

Analyse van deze tabel leert dat de eisen vanuit Veiligheid en Toegankelijkheid ten aanzien van de waterstand conflicteren, evenals de eisen vanuit Toegankelijkheid en Natuurlijkheid

nevengeulen. Daarentegen blijkt dat een meergeulensysteem wenselijk is vanuit zowel Toegankelijkheid als Natuurlijkheid.

Samenvattend kunnen per beheersstrategie (ingreepcombinatie) verschillende ingreep-effectrelaties onderscheiden worden. Deze worden in de navolgende alinea's kort uiteengezet. Hierbij wordt opgemerkt dat de structurering nog niet optimaal is en dat er met betrekking tot een aantal aspecten nog vragen bestaan.

1. Voortzetting Huidig Beleid

Kenmerken van deze strategie zijn: 46-voet toegankelijkheid, storten (van ca 14 Mm³ baggerspecie) in het westen, 2.6 Mm³ zandwinning en harde geulwandverdedigingen. Dit kan de volgende gevolgen voor de **morfologie** hebben:

1. Een verdere lokale fixatie van de hoofdgeulen - de invloed hiervan op voorzien in lokale zandhongerbehoefte is onbekend,
2. Het gangbare idee is dat door het onderhoudsbaggerwerk het getijprisma toeneemt, als gevolg waarvan de geulen op korte tijdschaal verruimen (positieve feed-back), waardoor lokaal een zandoverschot, dan wel een geringer zandtekort ontstaat. Enkele vragen/opmerkingen met betrekking tot dit punt:
 - Klopt bovenstaande? Waar/door wie wordt mechanisme uitgelegd?
 - Zijn er aanwijzingen/observaties uit het verleden die dit mechanismen bevestigen?
 - Dit mechanisme veronderstelt dat er geen veranderingen in eb/vloeddominantie op macro-mega-schaal optreden.
3. Baggeren kan in eerste instantie worden beschouwd als een ingreep op meso-schaal. Dit betekent dat het afvoeren van de baggerspecie naar het westelijk deel van het estuarium zal leiden tot een reductie van de aanzanding en baggerinspanning op de baggerlocaties totdat lokale aanpassingen van platen en nevengeulen optreden. De bijbehorende tijdschaal is dan in de orde van jaren. Echter de invloed van nivelleren van de lokale verstoring door plaat-geulinteracties is momenteel onbekend.
4. Het uitruimen (baggeren) van één van de geulen van een eb-vloedschaarsysteem (bochtgroep) heeft waarschijnlijk geen invloed op de stabiliteit van dat systeem. Het bergen van specie in één van die geulen wel: als het te bergen volume ca 10 % van de transportcapaciteit van dat systeem overschrijdt kan de geul verzanden waardoor uiteindelijk een nieuw evenwicht met een éengeulpatroon ontstaat. Het is onbekend of zo'n aanvankelijk lokale verstoring met een tijdschaal van jaren tot decennia van invloed is op de stabiliteit van het hele estuarium.
5. Een belangrijk, nog niet beantwoord aspect van de huidige stortstrategie betreft de transportpaden en accumulatiegebieden van het gestorte sediment. Verlaat dit het estuarium, wordt het (tijdelijk) opgeslagen op de Vlakte van de Raan, die daardoor als een buffer kan fungeren? Of is het zo dat het sediment vooral in afzonderlijke bochtgroepen wordt opgeslagen. De beschouwde tijdschaal speelt hierbij een belangrijke rol.

Met betrekking tot de **Veiligheid** zijn de volgende effecten relevant:

1. De fases van de diverse getijcomponenten zullen veranderen, met mogelijk hogere extreme waterstanden - dit effect zal de morfologische ontwikkelingen op de voet volgen.
2. Het grotere getijprisma resulteert waarschijnlijk in lokaal grotere stroomsnelheden met als gevolg meer lokale erosie en mogelijk stabiliteitsproblemen van geulen en/of oevers.

Met betrekking tot de **Toegankelijkheid** zijn de volgende effecten relevant:

1. Door storten in het westen neemt de vaarweg voor de baggerschepen toe en daarmee de baggerkosten.
2. De grootschalige ophangpunten van het estuarium fixeren de hoofdgeulen, hetgeen waarschijnlijk gunstig voor de toegankelijkheid is.
3. Op korte termijn is zandwinning gunstig aangezien daardoor de baggerinspanning zal verminderen.
4. Een meergeulensysteem is ook vanuit bergingscapaciteit essentieel. Dit limiteert echter ook de capaciteit in het estuarium zelf.
5. Indien de Vlakte van de Raan een grote buffercapaciteit heeft zou daarmee zowel de bergingscapaciteit als de lange-termijneffecten gunstig beïnvloed kunnen worden.
6. Door de geulwandverdedigingen worden de bochtstralen vastgelegd.

Met betrekking tot de **Natuurlijkheid** zijn de volgende effecten relevant:

1. Storten in het westen kan van invloed zijn op de lokale plaat-geulinteractie in de baggergebieden, en daarmee op de stabiliteit van de intergetijde-gebieden.
2. Storten (in het westen) vergroot de bruto transporten en daarmee de dynamiek op micro- en meso-schaal.
3. Een grote buffercapaciteit van de Vlakte van de Raan vergroot het zelf-herstellend vermogen van het estuarium op mega-schaal, dus op termijn van eeuwen.

II. Verdere Verdieping

Kenmerken van deze strategie zijn: 50/55-voet toegankelijkheid en een limiterende bergingscapaciteit in de Westerschelde zelf, ten gevolge waarvan storten in bijvoorbeeld het mondingsgebied en een combinatie van zandwinning met baggeren noodzakelijk worden. Dit heft voor de **morfologie** gevolgen aan die voor het huidige beleid, doch in extremere vorm. Daarnaast spelen de volgende zaken een rol:

1. Waar worden geschikte bergingslokaties gevonden met voldoende capaciteit. Kan de voordelta als zodanig fungeren, heeft de Vlakte van de Raan voldoende buffercapaciteit om lange-termijn effecten te compenseren?
2. Baggerwerkzaamheden en zandwinning zullen beter op elkaar dienen te worden afgestemd door bijvoorbeeld baggerspecie te storten op zandwinlokaties.

Met betrekking tot de **Veiligheid, Toegankelijkheid en Natuurlijkheid** zijn de effecten kwalitatief gelijk aan die bij het huidig beleid, doch mogelijk extremer. Het gedrag van de voordelta, c.q. Vlakte van de Raan verdient echter extra aandacht. De tijdschalen voor de diverse aanpassingen zullen erg groot zijn en het is onbekend of de weg naar een nieuw evenwicht rechtlijnig zal zijn, met andere woorden of het dynamisch gedrag op de lange termijn voorspeld kan worden uit waargenomen gedrag op de korte termijn.

III. Ruimte voor de Rivier

De belangrijkste kenmerken van deze strategie zijn de toepassing van Gereduceerd Getijgebieden (GGG's), mogelijk grootschalige ontpolderingen en/of een doorsteek naar de Oosterschelde, het vermijden van harde constructies, natuurbouw, i.e. het maken van intergetijde-gebieden met baggerspecie en het stimuleren van de ontwikkeling van nevengeulen. Dit kan de volgende gevolgen voor de **morfologie** hebben:

1. De GGG's hebben waarschijnlijk een minimaal effect op de waterbeweging en daarmee op de morfologie.
2. Grootschalige ontpolderingen en een forse doorsteek naar de Oosterschelde hebben wel een grote invloed op de morfologie: geulen worden ruimer door grotere komberging, er

zullen forse veranderingen in lokale transportpatronen optreden. Deze ingrepen vinden plaats op de mega-schaal, en de bijbehorende tijdschalen zullen eeuwen bedragen.

3. Door natuurbouw kunnen de bruto transporten fors toenemen - herstel van degenererende intergetijde-gebieden is waarschijnlijk een betere strategie. Door stimulatie van de ontwikkeling van nevengeulen zal de dynamiek van het systeem op meso-schaal toenemen.

Met betrekking tot de **Veiligheid** zijn de volgende effecten relevant:

1. Grotere dynamiek vergroot de gevaren van geulwandering.

Met betrekking tot de **Toegankelijkheid** zijn de volgende effecten relevant:

1. Het in standhouden van het meergeulensysteem garandeert een zekere bergingscapaciteit voor baggerspecie.
2. Dwarsgeulen zullen altijd (enige) dwarsstroming genereren, mogelijk hinderlijk voor de scheepvaart.

Met betrekking tot de **Natuurlijkheid** zijn de volgende effecten relevant:

1. Deze beheersstrategie is er op gericht om voorwaarden voor een gezond eco-systeem te scheppen. Hierbij horen intergetijde-gebieden en ondiepwatergebieden van verschillende kwaliteit, niet al te dynamisch, doch met een zeker regeneratie-vermogen.
2. Door de grootschalige fixatie op mega-/macro-schaal aan harde ophangpunten van de hoofdgeulen liggen de lokaties van oevergebonden schorren vast. Daarmee is ook hun regeneratie-vermogen minimaal.

Exogene effecten

Met betrekking tot exogene factoren spelen de volgende vragen een rol:

- Wat is de autonome ontwikkeling als gevolg van exogene effecten?
- Welke invloed wil de beheerder hierop uitoefenen?

8. Conclusies

De belangrijkste conclusies van de Voorbereidingsfase ten aanzien van het morfologisch gedrag luiden:

1. Vanuit een morfologisch standpunt gezien bestaat het Westerschelde estuarium uit de Westerschelde, de Vlake van de Raan en de Zeeschelde tot en met haar troebelingsmaximum.
2. Het estuarium kan zowel ruimtelijk als in de tijd op een aantal schalen bestudeerd worden. De mega-schaal beslaat het gehele estuarium; de bijbehorende tijdschaal bedraagt orde een eeuw. In ruimtelijke zin is het estuarium op deze schaal ingeklemd door het voordelta-gebied en de harde bedijkingen. Als gevolg kan het estuarium op deze schaal slechts verenigen.
3. De macro-schaal beschrijft de bochtgroepen en hoofdgeulen - waaronder de eb- en vloedgeulen. Op deze schaal is het estuarium al eeuwen "opgehangen" aan een aantal harde oevergroepen, zoals bij Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, enz. Op deze schaal kan het estuarium slechts verenigen, dan wel dat functiewisselingen tussen de hoofdgeulen optreden. Zo'n functiewisseling wordt echter in deze niet als een verandering in de morfologische kenmerken van het estuarium beschouwd. De bijbehorende tijdschaal is decennia.
4. Als gevolg kent het estuarium slechts vrijheid, i.e. vrije respons op de ruimtelijke meso- en micro-schaal, met een tijdschaal van jaren, en korter. Opgemerkt wordt dat de zogenaamde morfologische dynamiek zich in de Westerschelde dus alleen op deze schalen kan afspelen. Het is aannemelijk dat het vermogen van het estuarium om te herstellen van systeemvreemde ingrepen groter is naarmate het aantal vrijheidsgraden van het systeem groter is. Op deze wijze wordt dus de veerkracht van het estuarium direct gerelateerd aan de morfologische dynamiek van het systeem - de Westerschelde heeft veerkracht op de meso- en micro-schaal.
5. Kenmerkend voor het Westerschelde estuarium op de macro- en meso-schaal is het meergeulensysteem met eb- en vloedscharen. Verondersteld wordt dat deze scharen in belangrijke mate de ruimtelijke dimensies van het estuarium bepalen. Als zij zouden verdwijnen zullen de ruimtelijke afmetingen van het estuarium door de Schelde-afvoer bepaald worden en zal het huidige estuarium verenigen, ook wel verlanden genoemd.
6. Er wordt dus verondersteld dat het Westerschelde estuarium twee evenwichtscondities kent: een redelijk breed meergeulensysteem en een smal ééngelensysteem.
7. De directe morfologische respons op een ingreep vindt plaats op de schaal van die ingreep: baggeren bijvoorbeeld vindt plaats op de meso-schaal, en de eerste respons van het systeem zal op die schaal worden waargenomen. Verstoring op zo'n schaal kan leiden tot een omslag van het systeem als die verstoring groot genoeg is - zulks is bijvoorbeeld aangetoond voor stortactiviteiten in één van de geulen van een eb-vloedschaarsysteem; als de gestorte hoeveelheden 10 % van de transportcapaciteit overschrijden, zal die geul dichtslibben en een ééngelensysteem overblijven. Het is waarschijnlijk dat ook voor andere ingrepen zulke kritische effecten bestaan.
8. Voor een gezond natuurlijk eco-systeem is het gedrag van de intergetijdegebieden van belang. Deze gebieden dienen een zekere regeneratie te kennen. Morfologisch betekent dit een zekere mate van geulmigratie en afbraak en opbouw van de plaatsystemen op de meso-schaal.
9. De bovengenoemde dynamiek dient echter vanuit natuurbehoud, c.q. -ontwikkeling niet te groot te zijn omdat levensgroepen dan geen tijd krijgen zich te ontwikkelen. Morfologisch impliceert dit dat de bruto sedimenttransporten, die het voor regeneratie benodigde netto-transport bepalen, niet te groot mogen zijn. Dit geldt zowel op meso- als op micro-schaal.

De volgende ingreepcombinaties worden bestudeerd:

1. Voortzetting huidig beleid (i.e. 46-voet toegankelijkheid, storten baggerspecie in het westelijk deel van het estuarium en 2.6 Mm³ zandwinning),
2. Verder verdieping, en
3. Meer ruimte voor de rivier.

Literatuur - geraadpleegde documenten

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Beschrijving van trends in de fysische toestand, rapport RIKZ 97.049.

WL | Delft Hydraulics, 1998, Definitiestudie Morfologische Dynamiek Westerschelde, rapport Z2427.

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Westerschelde, stram of struis?, rapport RIKZ-97.023.

DG Rijkswaterstaat Directie Zeeland, 1998, Baggerspeciëstort Westerschelde.

Waterloopkundig Laboratorium, 1997, Studie naar morfologische effecten van storten en baggeren in de Westerschelde, rapport Z2310.

Svasek, 1999, Tussentijdse evaluatie 48'/43' verruiming en stortbeleid Westerschelde, 99187/1111

Technische Universiteit Twente, 1999, Getij-analyse Westerschelde hoe nu verder?

Witteveen + Bos, 1999, Getijanalyse Westerschelde

Svasek, 1999, Zandwinning Westerschelde, 99472/1137

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, 1999, Grootschalige effecten Westerschelde door havenuitbreiding Vlissingen (eindrapport), werkdocument RIKZ/AB-9987x

DG Rijkswaterstaat Directie Zeeland, 1999, Monitoring van de effecten van de verruiming 48' - 43' - Voortgangsrapportage periode 1997 - 1998

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, 1999, Onderzoek naar de effecten van baggeren, storten en zandwinning in de Westerschelde met behulp van het ESTMORF-model in het kader van MOVE, werkdocument RIKZ/OS-99.817x

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, 1999, Monitoring van de effecten van de verruiming 48'/43', rapport RIKZ-99.019

DG Rijkswaterstaat Directie Zeeland, Beoordeling van de effecten van de verdieping 48'/43', plan van aanpak rapport 2

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, De toestand van de Westerschelde aan het begin van de verdieping 48'/43' rapport 1, rapport RIKZ - 97.049



wL | delft hydraulics

Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

