

ministerie van verkeer en waterstaat

rijkswaterstaat

dienst getijdewateren

de oosterschelde

naar een nieuw onderwaterlandschap

De Oosterschelde naar een nieuw onderwaterlandschap

Eindrapport Project Geomor

Nota DGW. AO 87.029

Geomor nota 87.02



© Copyright 1987. RWS Dienst Getijdewateren.

COLOFON

Samenstelling en redactie:

Drs. L.H.M. Kohsiek, Dr. J.P.M. Mulder,
Drs. T.Louters, Drs. F. Berben

Vormgeving tekeningen:

J.F.W. de Brabander, J. van de Broeke,
M. van Moolenbroek

Fotografie:

Omslag : H. van Reeken

Foto 1 (pag. 4) : H. Baptist

Foto 2 (pag. 4) : H. van Reeken

Foto 3 (pag. 4) : H. van Reeken

Foto 4 (pag. 6) : Aerocamera - B. Hofmeester

Foto a (pag. 16) : L. Kohsiek

b (pag. 16) : H. van Reeken

c (pag. 16) : L. Kohsiek

Foto 5 (pag. 24) : C. Joesse

Foto 6 (pag. 26) : H. van Reeken

Foto a (pag. 30) : H. van Reeken

Foto 7 (pag. 44) : Slagboom en Peeters

Druk:

Pitman BV, Westhavendijk 152, Goes.

Inhoud	3
Samenvatting	5
Probleem: Zandhonger Oosterschelde	9
Vragen	11
Ontwikkelingen in het verleden	13
De Oosterschelde als systeem	17
Geulen	19
Maatgevende morfologische processen Voorspelling geulontwikkeling	
Platen en slikken	23
Maatgevende morfologische processen Verschuivingen in morfologische processen Extrapolatie morfologische processen in ruimte en tijd Voorspelling erosie platen en slikken	
Literatuuroverzicht	45
Dankwoord	48

Foto 1,2,3 Een impressie van de functies
van de Oosterschelde: fouragerende vogels,
karakteristieke sporen van mosselvisserij en
een binnenvaartschip tussen de dijken en de
plaat



Samenvatting

onderwaterlandschap

Het onderwaterlandschap van de Oosterschelde bestaat uit geulen, afgewisseld met platen en slikken en, aan de rand, rijkbegroeide schorren. De platen en slikken zijn als het ware de voedselschuren voor wadvogels. Ze doen dienst als kweekgebieden voor mosselen en kokkels. De geulen bepalen door hun diepte en ligging de scheepvaartmogelijkheden en de stabiliteit van dijken.

dynamisch evenwicht

De omvang en vorm van de geulen, platen, slikken en schorren wordt binnen de dijken bepaald door het dynamisch evenwicht tussen de getijdebeweging, de golfwerking en het sediment.

Door de aanleg van de Oosterscheldewerken is het dynamisch evenwicht verstoord. Het getijvolume, de hoeveelheid water die het bekken bij vloed in- en bij eb uitstroomt, is afgenomen. De afmetingen van de geulen zijn aan deze afname nog niet aangepast: het doorstroomoppervlak is te groot. Opvulling van de geulen is de eerste stap in de realisatie van een nieuw dynamisch evenwicht. Zolang dit niet is bereikt lijden de geulen honger, zandhonger. Deze zandhonger is berekend op ca. 500 miljoen m³.

zandhonger

Om deze honger te stillen zijn er twee "bronnen". De een wordt gevormd door platen, slikken en schorren, welke bij volledige afbraak slechts ca. 160 miljoen m³ zand kunnen leveren. De andere zandbron is de Noordzee. De zandimport door de kering is berekend op ca. 1 miljoen m³ per jaar. Het kan dus 4 à 6 eeuwen duren, voordat er opnieuw een evenwicht wordt bereikt. Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele zeespiegelrijzing.

geulopvulling

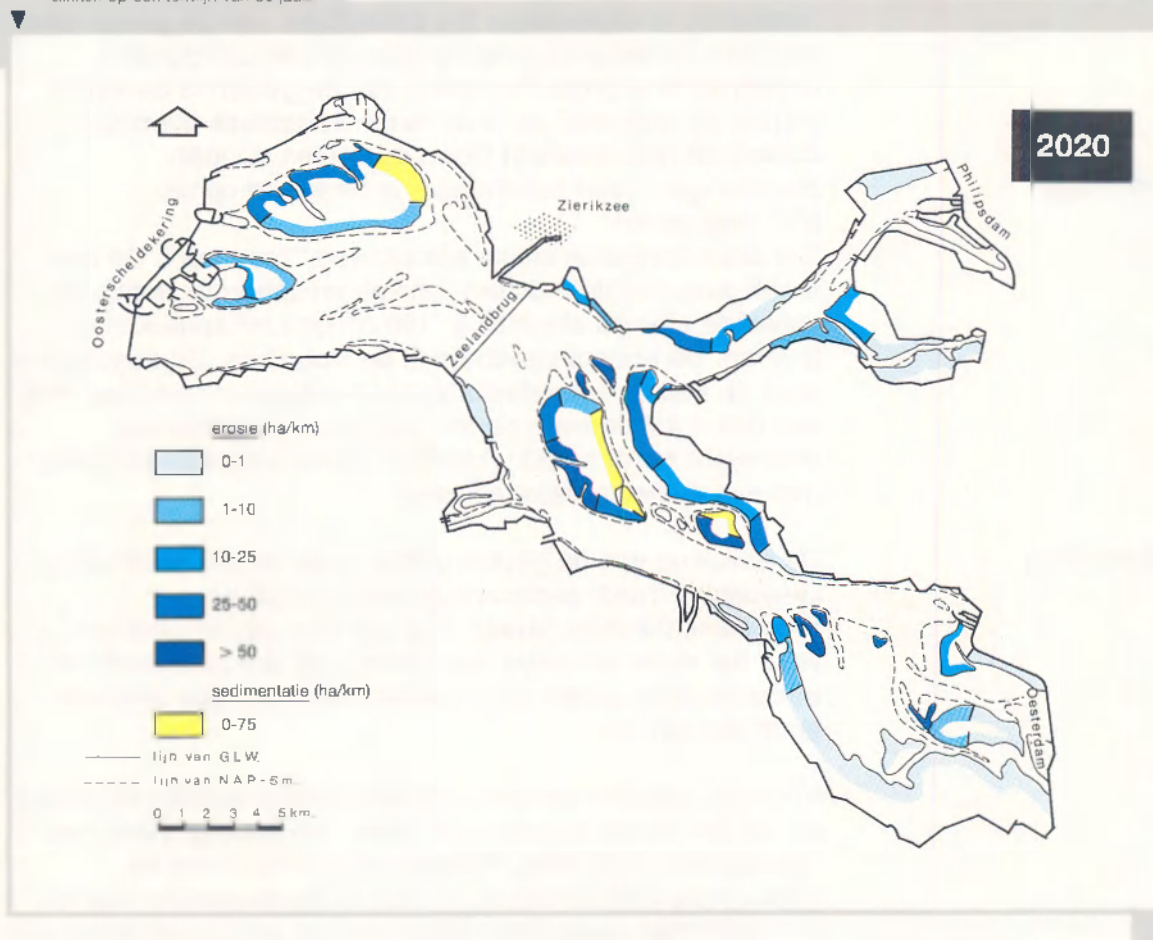
De opvulling van de geulen gebeurt niet overal gelijkmatig. Gewoonlijk treedt sedimentatie vooral op in de binnenbochten van geulen. Dat zijn dan ook de plaatsen waar het eerst van extra aanzanding sprake zal zijn. In de buitenbochten zullen de stroomafwaarts gelegen delen het eerst aanzanden.

Vóór de realisatie van de stormvloedkering werden de platen en slikken vooral opgebouwd tijdens omstandigheden met springtij en rustig weer. Afbraak vond plaats door de golfwerking gedurende storm. Na het gereedkomen van de stormvloedkering zal de stroomsnelheid gemiddeld afnemen.

Foto 4. De Roggenplaat met op de achtergrond de stormvloedkering



Fig. 0. Afslag en aangroei van platen en slikken op een termijn van 30 jaar.



erosie
platen en slikken

Bij een snelheidsafname van 30% zal als gevolg hiervan bij rustig weer het zandtransport vanuit de geulen met 75% of meer afnemen. Met andere woorden: de opbouw vanuit de geul neemt dramatisch af, de afbraak door de golven gaat daarentegen gewoon door. De platen en slikken zullen netto eroderen.

In 1987 bedraagt het totale areaal aan platen, slikken in de Oosterschelde 10.900 ha.

Uitgaande van een afname van 30% in de hoeveelheid in- en uitstromend water, is berekend dat over de eerste 5 jaar na de realisatie van de stormvloedkering ca. 350 ha. plaat- en slikareaal verloren gaat. Bij een getijvolume reductie van 20%, zoals naar voren komt uit recente berekeningen, bedraagt het verlies ca. 300 ha.

Na 5 jaar zijn de allergrootste onevenwichtigheden in het systeem aangepast. De afbraak van de platen en slikken zal dan geleidelijk langzamer gaan verlopen. Na 30 jaar is een verlies berekend variërend tussen ca. 1400 en 1600 ha bij een afname van het getijvolume van 20% respectievelijk 30% (Fig.0). De totale verliezen aan plaat- en slikareaal blijken weinig te verschillen bij een getijvolume reductie van 20 of 30%. De zandhonger is weliswaar verschillend, maar de grootte orde ligt nog altijd tussen de 400 en 600 miljoen m³.

De lage afbraaksnelheid van platen en slikken en de geringe zandimport uit de Noordzee hebben tot gevolg dat het geulsysteem pas over enkele eeuwen opnieuw in evenwicht zal zijn. De zandimport uit de Noordzee zorgt ervoor dat dit evenwicht het eerst in het mondingsgebied wordt gerealiseerd. Het totale verlies aan plaat- en slikareaal over enkele eeuwen wordt geschat in de orde van 3500 ha. Het onderwaterlandschap van de Oosterschelde zal in een nieuwe evenwichtssituatie bestaan uit zeer brede, relatief ondiepe geulen, waartussen en waarlangs met name in het middengebied en de noordelijke tak nog slechts kleine platen en weinig slikken aanwezig zullen zijn.

beheer en beleid

Voor de huidige beheers- en beleidshorizon moet rekening worden gehouden met:

- * een verkleining van de draagkracht van het watersysteem voor wadvogels en andere groepen organismen, die gebonden zijn aan het voorkomen van platen en slikken.
- * een verschuiving in mogelijke locaties voor mossel- en kokkelproductie.

Voortdurende afslag van plaat- en slikranden zal mogelijk lokale schade berokkenen aan de huidige percelen. Hier tegenover staat een uitbreiding van de mogelijkheden in de geulen door een afname van de stroomsnelheid [59].

- * lokale verondieping in scheepvaartroutes.
- * een vergroting van de veiligheid van de oevers.

Fig. 1. Evenwichtsrelatie tussen gelijvolume en doorstroomoppervlak en zijn betekenis voor het effect van de afname van het gelijvolume

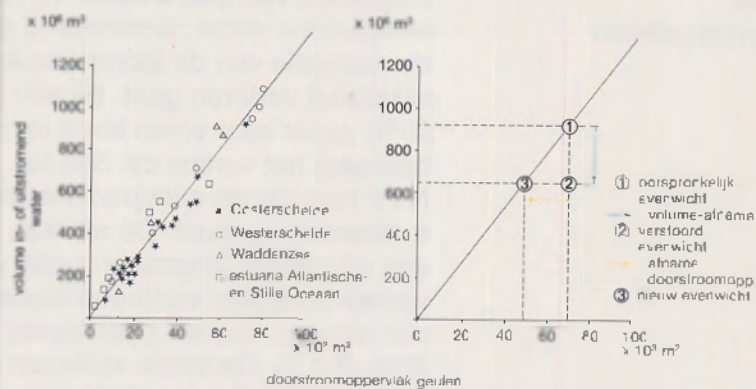
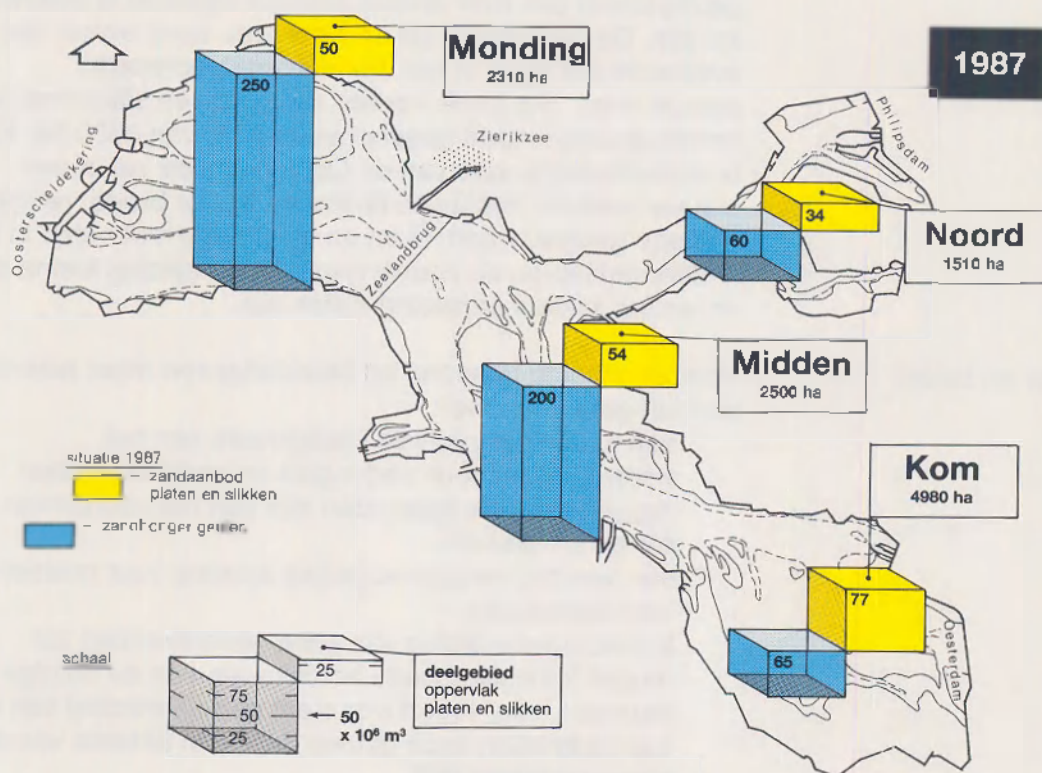


Fig. 2. De verandering van de geulen in vergelijking met het zandaanbod van platen en slikken in 1987.



Probleem: Zandhonger Oosterschelde

getijdebekken

De Oosterschelde was en is een getijdebekken: bij vloed stroomt Noordzeewater het bekken binnen en bij eb stroomt gemiddeld dezelfde hoeveelheid water naar buiten. De waterbeweging is er de oorzaak van dat de Oosterschelde geen "zandbak" is, maar een systeem dat voortdurend streeft naar een dynamisch evenwicht tussen geulen, platen, slikken en schorren.

Door de aanleg van de stormvloedkering is de doorstroomopening van de Oosterscheldemonding verkleind. Als gevolg hiervan stroomt er minder water de Oosterschelde in en uit; het zogenaamde getijvolume is afgenomen, evenals het verschil tussen gemiddeld hoog- en laagwater, het gemiddeld getijverschil [66].

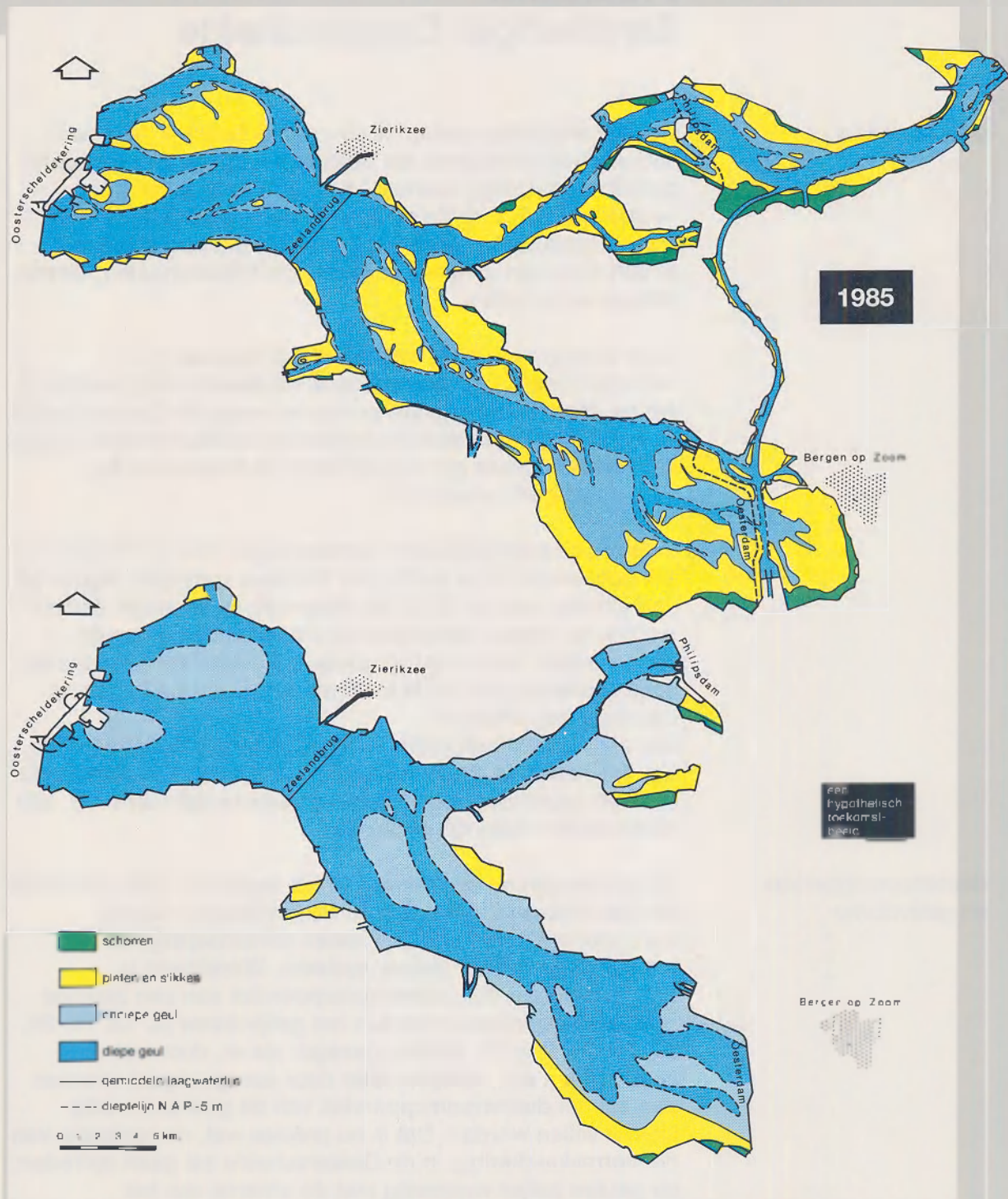
Volgens de oorspronkelijke berekeningen zou de afname van het getijvolume 30% bedragen. Recente metingen wijzen op een afname van ca. 20%. Bij deze waarde is echter onder andere de invloed van onderhoud aan schuiven van de kering buiten beschouwing gelaten. Hoeveel de gemiddelde getijvolume-afname in de toekomst exact zal bedragen, is daardoor nog onzeker.

Dat door elke verandering in het getijvolume het genoemde streven naar een dynamisch evenwicht in het Oosterschelde systeem wordt doorkruist, is boven elke twijfel verheven. Het navolgende maakt dat duidelijk.

doorstroomoppervlak
en getijvolume

De geulen zijn de slagaders van het systeem; meer dan 90% van het transport van water en zand vindt hier plaats. Veranderingen in de geulen leiden onherroepelijk tot aanpassingen in het gehele systeem. Wereldwijd is aangetoond dat het doorstroomoppervlak van een zandige geul lineair gerelateerd is aan het getijvolume [3, 13, 16, 29, 30, 45, 74] (Fig. 1). Anders gezegd: als er, door wat voor oorzaak dan ook, minder water door een geul gaat stromen dan zal het doorstroomoppervlak van de geul evenredig kleiner willen worden. Dat is nu precies wat, na realisatie van de stormvloedkering, in de Oosterschelde zal gaan optreden: de geulen zullen evenredig met de afname van het getijvolume gaan opvullen (Fig. 1).

Fig 3 Vormt een Oosterschelde nagenoeg zonder platen, slikken en schorren een mogelijk toekomstbeeld?



zandhonger

Zolang de opvulling niet is gerealiseerd bestaat er geen evenwicht in het systeem.

Voor deze opvulling is zand nodig; hoeveel zand, is uitgerekend op basis van de bovengenoemde evenwichtsrelatie. Hierbij is er van uitgegaan dat de afname van het getijvolume 20 à 30% bedraagt.

De zandhonger van de Oosterschelde geulen blijkt 400 à 600 miljoen m³ zand te bedragen.

Om deze zandhonger te stillen zijn er twee mogelijkheden:

1) platen, slikken en schorren worden afgebroken.

2) zand wordt vanuit de Noordzee geïmporteerd.

De maximaal mogelijke afbraak van de platen, slikken en schorren kan slechts ca. 160 miljoen m³ zand leveren

[14, 41] (Fig. 2), terwijl veel meer zand nodig is. Hiervan

uitgaande zou een realistische voorspelling van het

toekomstig uiterlijk kunnen zijn: een Oosterschelde

nagenoeg zonder platen, slikken en schorren (Fig. 3).

Het werkelijke eindbeeld wordt echter mede bepaald door de

omvang van mogelijke zandimport vanuit de Noordzee en het

verloop van de afbraaksnelheid van platen en slikken.

Vragen

bedreiging functies

In de Oosterschelde is de aanwezigheid van platen en

slikken essentieel voor de belangrijkste gebruiksfuncties, de

natuur- en visserijfunctie [54]. De platen en slikken zijn voor

wadvogels en sommige soorten vissen als het ware "voedsel-

schuren". De mossel- en oesterpercelen en de kokkelvisserij

zijn aan deze plaatsen gekoppeld.

Tussen de platen en slikken meanderen de diepe getijde-

geulen. De ligging en de diepte van deze geulen is van

belang voor de mosselkweekpercelen, de scheepvaart en de

stabiliteit van dijken en oevers.

De zandhonger bedreigt de omvang van de voedselschuur,

de huidige visserijpercelen en lokaal, de vaardiepte. Om de

ernst van deze bedreiging in te kunnen schatten is de

beantwoording nodig van een aantal vragen.

Fig. 4. De Oosterschelde in de Romeinse tijd



hoofdvragen

De primaire vraag is:

Waar en met welke snelheid verdwijnen platen en slikken in de geul?

Andere vragen zijn:

Waar zanden de geulen het eerst op?

Op welke termijn wordt er opnieuw een evenwicht bereikt tussen de waterbeweging en de vorm en omvang van de geulen, platen, slikken en schorren?

Hoe groot is de mogelijke zandimport?

project Geomor

Om deze vragen te beantwoorden is in 1982 het project Geomor opgezet [67]. Dit project is gestart als een samenwerkingsproject tussen de voormalige hoofdafdelingen Milieu en Inrichting en Waterloopkunde van de Deltadienst. In 1985 is het project overgedragen aan de Dienst Getijdewateren. Verschillende projectonderdelen zijn gerealiseerd in samenwerking met externe instituten. Met name kunnen worden genoemd: het Waterloopkundig Laboratorium (Divisie HAKO), de Rijksuniversiteit Utrecht (Vakgroepen: Fysische Geografie, Sedimentologie en Bodemkunde), de Technische Universiteit Delft (Vakgroep Vloeistofmechanica).

De voorliggende eindnota is gebaseerd op enkele tientallen onderliggende nota's, rapporten, verslagen, artikelen en notities (literatuuroverzicht). In relevante gevallen is naar gebruikte literatuur verwezen.

Voordat op de bovengestelde vragen een antwoord kan worden gegeven, volgt een schets van de historische ontwikkeling en van de samenhang binnen het systeem.

Ontwikkelingen in het verleden

Romeinse tijd

Reconstructies van het Schelde-estuarium gaan terug tot de Romeinse tijd [39, 74, 94, 95, 96] (Fig. 4). De Oosterschelde vormde toen de belangrijkste tak van de Schelde met de monding ongeveer op de plaats van de huidige. Aangenomen wordt dat het estuarium een breedte had van minder dan 1 km. Dit is ongeveer 10 à 20% van de huidige afmeting.

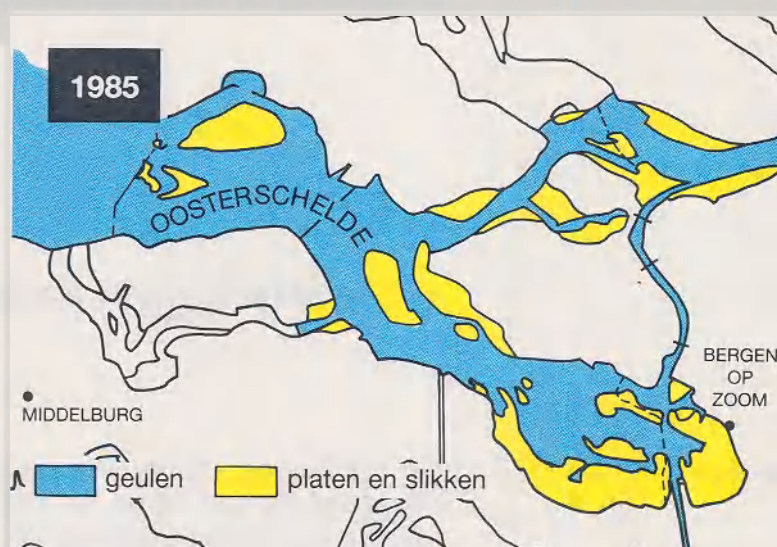
Middeleeuwen

Deze relatief smalle Schelde-arm breidde zich in de tweede helft van de Middeleeuwen verhoudingsgewijs sneller uit dan voorheen. Dit werd mede veroorzaakt door een toenemende menselijke activiteit in het gebied. Grote delen van het land daalden enerzijds door veenaafgravingen, anderzijds door

Fig. 5 De Oosterschelde in de 16e eeuw



Fig. 6 De Oosterschelde in 1985



klink als gevolg van verbeterde ontwateringstechnieken. De lagere ligging ten opzichte van de zee had tot gevolg dat bij dijkdoorbraken tijdens stormvloed, grote delen van het Scheldegebied overstromd werden en voorgoed verloren gingen. De meest dramatische stormramp deed zich voor in 1530 bij de zogenaamde Felixvloed. Vooral in het oostelijk deel van het Schelde-estuarium zijn toen grote stukken land aan de zee prijsgegeven.

Aan het eind van de Middeleeuwen was ten gevolge van landverlies het getijvolume dat door het Oosterschelde bekken stroomde met honderden miljoenen kubieke meters toegenomen. De monding van het bekken, gevormd door de Hammen, was te klein om het toegenomen getijvolume te verwerken. Als reactie paste de Hammen zich in eerste instantie aan door een verdieping en verbreding. In de loop van de 14e en 15e eeuw ontwikkelde zich nabij de monding een tweede afvoergeul, de Roompot. Een ander gevolg was dat de Hammen een grotere meanderbocht vormde, waardoor de kustlijn zo'n 4 km naar het noorden opschoof. Grote delen van de polders op Schouwen gingen daardoor verloren. In de 16e eeuw was de Oosterschelde uitgegroeid van een kleine zeearm in de Romeinse tijd, tot een breed estuarium met getijdegeulen en zandplaten, slikken en schorren (Fig. 5). Deze aanpassing van de geulen aan de vergroting van het getijvolume ging in de eeuwen daarna door. Zijwaartse uitbreiding van de geulen was in veel gevallen onmogelijk door de aanwezigheid van dijken. Vergroting van de geulomvang kon dan ook alleen maar plaats vinden door verdieping. Het Zipe, de verbindingsgeul tussen de Grevelingen en Oosterschelde, verdiepte in nog geen eeuw 25 m.

20e eeuw

Vanaf het begin van deze eeuw ging de mens in de Oosterschelde steeds meer bagger- en kanalisatiewerkzaamheden uitvoeren. Deze ingrepen veroorzaakten in de periode van 1870 tot 1960 een getijvolume vergroting van ongeveer 15%. Als reactie hierop ontstond in de monding een nieuwe geul, de Schaar van de Roggenplaat.

In 1959 werd begonnen met de bouw van de Deltawerken. Als gevolg van de sluiting van de Grevelingen (1960-1964) en van het Volkerak (1969) nam in de periode 1960-1983, het getijvolume met 7,6% toe. De totale toename van het getijvolume tussen 1872 en 1983 leidde tot een export van zand uit de Oosterschelde naar de zee van zo'n 340 miljoen m³ [74] (Fig. 6).

toekomstperspectief

Met het gereedkomen van de stormvloedkering en de compartimenteringsdammen in 1986 en 1987 zijn de Deltawerken voltooid. Door de bouw van de kering is het systeem Oosterschelde andermaal verstoord. In de afgelopen 1000 jaar werd het natuurlijk milieu telkens gedwongen zich aan te passen aan vergrotingen van het getijvolume. Nu is het omgekeerd: er is sprake van een vermindering van het getijvolume. De aanpassing zal tegengesteld verlopen. Dat

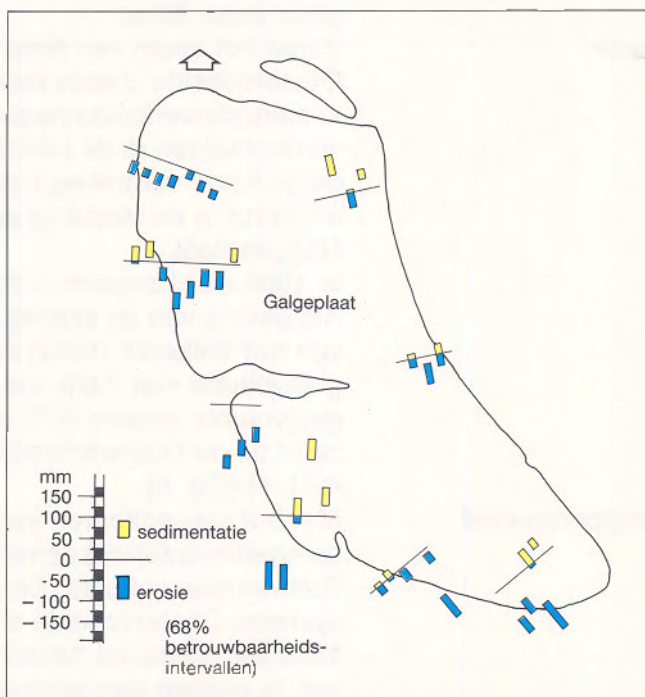
METINGEN

Allerlei metingen in de sleutelgebieden zijn in 1982 gestart. De metingen zijn globaal in twee groepen onder te verdelen:

- 1) De metingen gericht op het verkrijgen van een beeld over de variatie in de tijd van belangrijke parameters als stroomsnelheid, golfhoogte, zandconcentratie. Hiertoe zijn op de Galgeplaat (foto A) twee, op de Roggenplaat (foto B) en op de slikken van de Rattekaai elk één continue werkend meetstation ingericht.
Voor de twee meetstations op de Galgeplaat is zo een meetreeks opgebouwd vanaf 1983 tot heden. Om de variatie in morfologische effecten te registreren zijn naast deze hydraulische meetstations een 100-tal meetlocaties ingericht, waar sinds 1983 sedimentatie en erosie semi-continue (elke 14-dagen) zijn gemeten.
- 2) De metingen gericht op de variatie van relevante parameters in de ruimte. Hiertoe is, naast genoemde sedimentatie- en erosie metingen, een groot scala verschillende typen metingen uitgevoerd:
 - Op circa honderd verschillende locaties 13-uurs stroom- en zandtransportmetingen in geulen (foto C).
 - Bodembemonsteringen van nagenoeg alle platen en slikken in de Oosterschelde.
 - "Sonar" opnamen en luchtfoto's van de detail morfologie zoals ribbels.
 - Bemonstering van bodemalgen



De gegevens van de onder 1) genoemde metingen zijn geanalyseerd met behulp van een statistisch model (STAMOR). Dit model berekent het aandeel van stormen en rustig weersituaties aan de totale jaarlijkse sedimentatie en erosie. Als voorbeeld is in de figuur hiernaast per meetlocatie op de Galgeplaat aangegeven of er onder stormcondities erosie dan wel sedimentatie optreedt en hoe groot die erosie en sedimentatie gemiddeld per jaar is.



wil zeggen, er zal opvulling van het bekken plaatsvinden in plaats van verruiming. In het verleden had het natuurlijk milieu eeuwen nodig om zich aan dergelijke ingrepen aan te passen. Men dient er dan ook vanuit te gaan, dat het instellen van een evenwicht opnieuw eeuwen zal duren.

De Oosterschelde als systeem

kracht en weerstand

De Oosterschelde is de afgelopen 2000 jaar uitgegroeid van een enkele meanderende getijdegeul tot een estuarien systeem met geulen, platen, slikken en schorren. De omvang, de positie en de dynamiek van deze morfologische eenheden wordt bepaald door de wisselwerking tussen de krachten als stroom en golven en weerstandbepalende factoren als korrelgrootte en cohesie van het sediment. De krachten worden aangedreven door het getij en de wind.

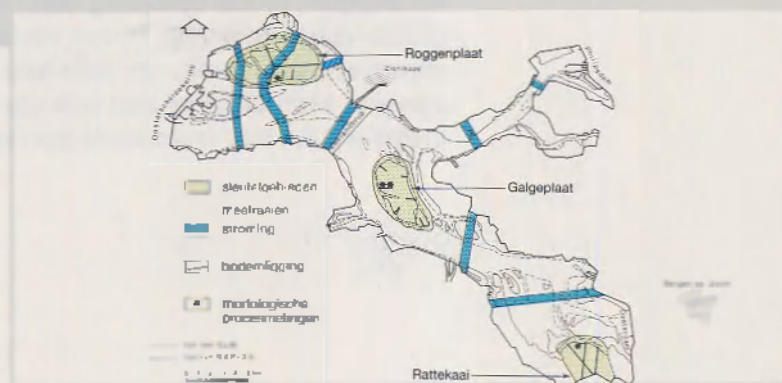
Ruimtelijk gezien zijn er grote verschillen:

- * De stroomsnelheden zijn in de monding het grootst en in de kom het kleinst. Voor het getijverschil geldt precies het omgekeerde [15, 41, 56].
- * De golfhoogte is groot als de wind over een grote lengte van relatief diep water strijkt. In het algemeen zal gezien de overheersende westelijke windrichting, de golfhoogte aan de westzijde van een plaat of slik groter zijn dan aan de oostzijde [15, 32, 41, 63].

De weerstandbepalende factoren kennen gedeeltelijk ook een ruimtelijke differentiatie:

- * De korrelgrootte neemt globaal van de monding in richting van de kom af [46, 47, 48, 93].
- * Cohesieve en dus resistente afzettingen als klei- en veenlagen komen veelvuldiger achterin het bekken voor dan nabij de monding [64, 76].
- * Bodemalgen, die het zand en slib kunnen verkitten, komen overal op platen en slikken voor. De soorten-samenstelling en daarmee de mate van verkitting varieert slechts licht [86, 87]. De betekenis van bodemalgen als weerstandbepalende factor is relatief gering [41, 92]. Derhalve wordt deze factor verder buiten beschouwing gelaten.

Fig. 7. De ligging van de meetgebieden in de Oosterschelde.



BOCHTSTROMING: THEORIE

De centrifugale kracht

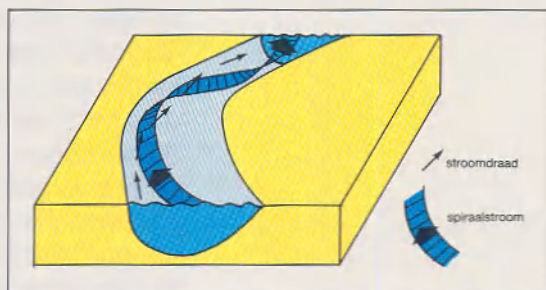
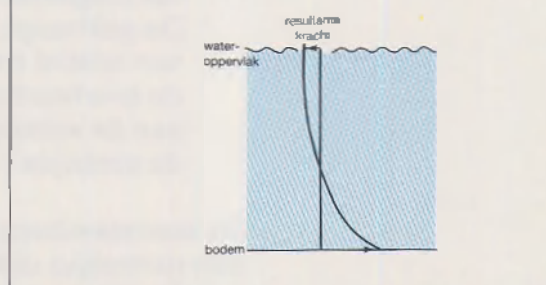
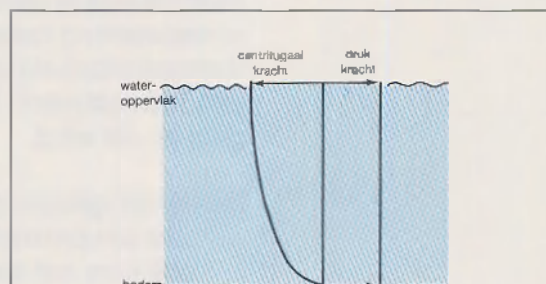
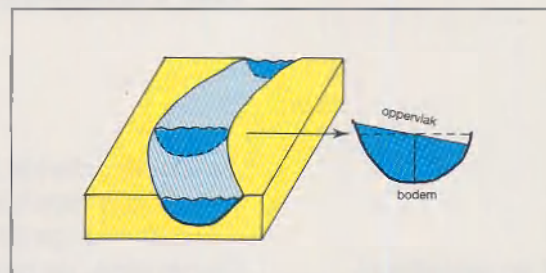
Waterdeeltjes die een bocht doorlopen ondervinden een kracht, de zgn. centrifugale kracht, die de deeltjes naar de buitenbocht duwt. Daardoor wordt langs de buitenbocht het wateroppervlak verhoogd. Er ontstaat een verhang naar de binnenbocht toe (Fig. A). Ten gevolge van het verhang gaat een hydrostatische tegenkracht werken die naar de binnenbocht gericht is. Deze is over de hele waterdiepte constant en gelijk aan de gemiddelde centrifugale kracht. De centrifugale kracht is echter evenredig met het kwadraat van de snelheid. De snelheid zelf neemt logaritmisch toe vanaf de bodem tot het wateroppervlak, zodat ook de centrifugale kracht toeneemt in deze richting. Aan het oppervlak is de centrifugale kracht groter dan de drukkracht; aan de bodem is het omgekeerd (Fig. B). Het gevolg is dat het water aan het oppervlak richting buitenbocht stroomt, en aan de bodem richting binnenbocht. Op deze manier ontstaat een secundaire stroming in de bocht.

De stroming in de secundaire richting en de stroming in de hoofdrichting zorgen samen voor een spiraalvormige stroming door de bocht (Fig. C). Met de centrifugale kracht en het ontstaan van een spiraalvormige stroming hangt ook samen dat de hoogste snelheden in de buitenbocht bereikt worden.

De Corioliskracht

Ten gevolge van de draaiing van de aarde wordt op bewegende waterdeeltjes (en ook op luchtdéeltjes) een kracht uitgeoefend die op het noordelijk halfrond, kijkend in de richting van de stroming naar rechts gericht is. Door deze kracht ondervinden de waterdeeltjes op het noordelijk halfrond een versnelling naar rechts. Er ontstaat een verhang waardoor in tegengestelde richting een drukkracht gaat werken. De drukkracht is constant over de diepte; de Corioliskracht is evenredig met de stroomsnelheid en neemt dus van bodem tot wateroppervlak toe. Daardoor is het effect van de Corioliskracht op de stroming hetzelfde als het effect van de kromming van de geul: ook de Corioliskracht veroorzaakt een spiraalvormige stroming. Het verschil met de invloed van de centrifugale kracht is dat de Corioliskracht het water aan het oppervlak altijd naar de rechter oever beweegt.

In een geulbocht kunnen de centrifugale- en de Corioliskracht in dezelfde richting werken of tegengesteld. In het eerste geval wordt de secundaire stroming versterkt; in het andere geval hangt het van de grootte van beide krachten af welke overheerst en welke oriëntatie de secundaire stroming heeft. In de meeste gevallen in de Oosterschelde is de invloed van de kromming sterker dan de invloed van de Corioliskracht. Slechts in zeer flauwe bochten of rechte stukken kan de invloed van de Corioliskracht overheersend zijn.



In ruimtelijke zin zijn vooral de dijken de grenzen van dit estuariene systeem.

Naast ruimtelijke verschillen bestaat er ook een aanzienlijke variatie in de tijd. Te denken valt aan verschillen tussen springtij en doodtij, eb en vloed, stormachtige en rustige periodes en wisselende windrichtingen.

sleutelgebieden

Gelet op de variaties in tijd en ruimte is gekozen voor een onderzoek, dat zich uitstrekt over meer jaren en zich concentreert in een aantal sleutelgebieden. Op basis van de algemene gradiënt in krachten en weerstandbepalende factoren van de monding naar kom, zijn als sleutelgebieden gekozen: de Roggenplaat, Galgeplaat en Rattekaai met aangrenzende geulen (Fig. 7).

Geulen

Maatgevende morfologische processen

eb- en vloedscharen

In getijdegeulen zijn twee stromingsrichtingen te onderscheiden samenhangend met eb en vloed. Van wezenlijk belang is dat de eb- en de vloedstroom in een meanderende geul verschillende invloed ondervinden van de bochtwerking (centrifugale kracht) en van de Corioliskracht. De eb- en de vloedstroom vallen niet volledig samen maar volgen verschillende banen. Het stromingspatroon en het daaraan gerelateerde zandtransportpatroon zijn er de oorzaak van dat een getijdegeul zich kan splitsen in een eb- en vloedgedomineerde tak. In deze zogenaamde scharen worden door de getijstrooming de buitenbochten geërodeerd. Het losgewoelde zand wordt getransporteerd naar de binnenbocht. Hier kan een zandbank ontstaan, die kan uitgroeien tot boven het wateroppervlak en dan een zandplaat vormt [3, 82].

meanderbochten

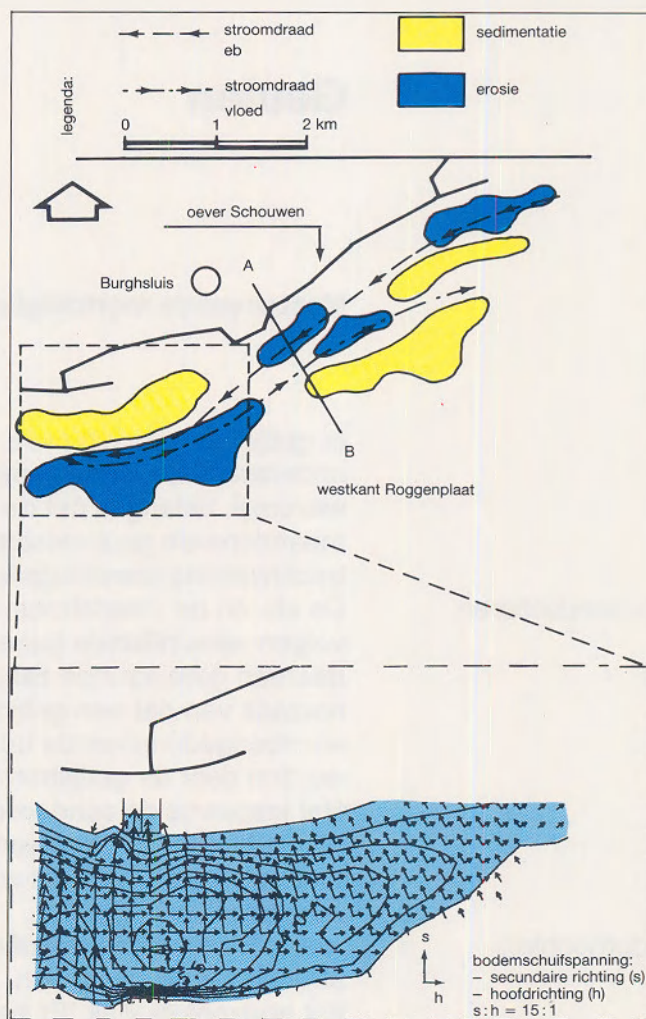
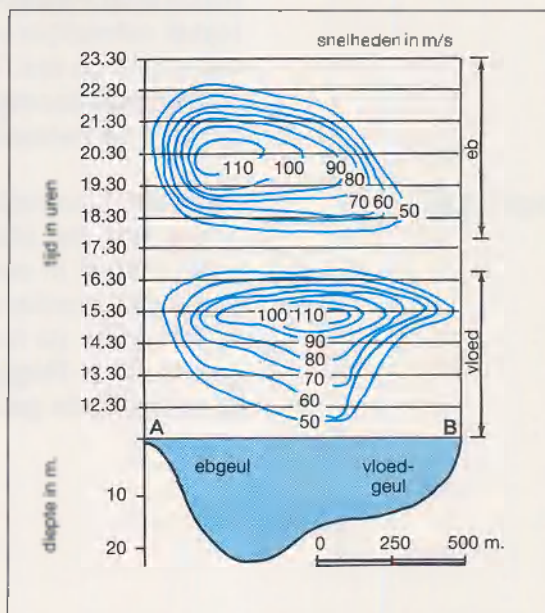
Niet alleen het dwarsprofiel van de geul past zich aan de strooming in de bocht aan, maar ook de vorm van de geul in het horizontale vlak. Er bestaat namelijk een relatie tussen de 'golflengte' van de meander en het getijvolume: hoe groter dit is des te groter de meander.

BOCHTSTROMING GETIJDEGEULEN

Uit metingen van de stroomsnelheid met een aantal meescheppen langs een transect min of meer loodrecht op de hoofdstroming, komt duidelijk het bestaan van een vloed- en een ebgedomineerd geulgedeelte naar voren. Bijvoorbeeld in de Hammen (Fig. A): Het zwaartepunt van de stroming ligt tijdens vloed tegen de noordwestelijke rand van de Roggenplaat aan. Daar ligt ook de buitenbocht van de vloedstroom. Hetzelfde geldt voor de oever van Schouwen tijdens eb: deze vormt de buitenbocht voor de ebstroom.

De recentelijke sedimentatie- en erosiegeschiedenis (1960-1983) laat zien dat in beide buitenbochten erosie plaats vindt (Fig. B). Sedimentatie treedt op in de binnenbocht.

De invloed van de bochtwerking en de Corioliskracht op de stroming in een bocht wordt gemodelleerd door SECFLO. Dit model is een bewerking van het WAQUA dieplegemiddelde stromingsmodel. Het model berekent o.a. de grootte en de richting van de bodemschuifkracht, i.e. de kracht die het water op de zanddeeltjes aan de bodem uitoefent, zowel in de hoofdstromingsrichting als in de richting daar loodrecht op, de secundaire richting (Fig. C). Deze geeft inzicht in de grootte en richting van het zandtransport op de bodem.



Wanneer het getijvolume verandert dan past de geul zich aan en krijgt een andere bochtkromming en meanderlengte. Het komt erop neer, dat de plaatsen van sedimentatie en erosie in een bocht veranderen. Verklaring hiervoor is het volgende: wordt het getijvolume kleiner dan gaat dit gepaard met een afname in stroomsnelheid. Daardoor neemt de intensiteit van de erosie in de buitenbocht af, terwijl de plaatsen van de maximale erosie van de buitenbocht en van maximale sedimentatie aan de binnenbocht, stroomopwaarts komen te liggen. Dit laatste heeft te maken met een snellere aanpassing van de lagere stroomsnelheden aan de kromming van de bocht. Het resultaat is op den duur een kleinere meander [3].

Voorspelling geulontwikkeling

Ten gevolge van de bouw van de Oosterscheldewerken vermindert de hoeveelheid water die door de geulen stroomt met 20 à 30%. Samenhangend daarmee vermindert de maximale stroomsnelheid in de geulen zowel bij vloed als bij eb met een vergelijkbaar percentage. Een uitzondering vormt het Zijpe, waarin de maximale stroomsnelheden als gevolg van de aanleg van de Philipsdam met zo'n 70 à 80% afnemen.

methode

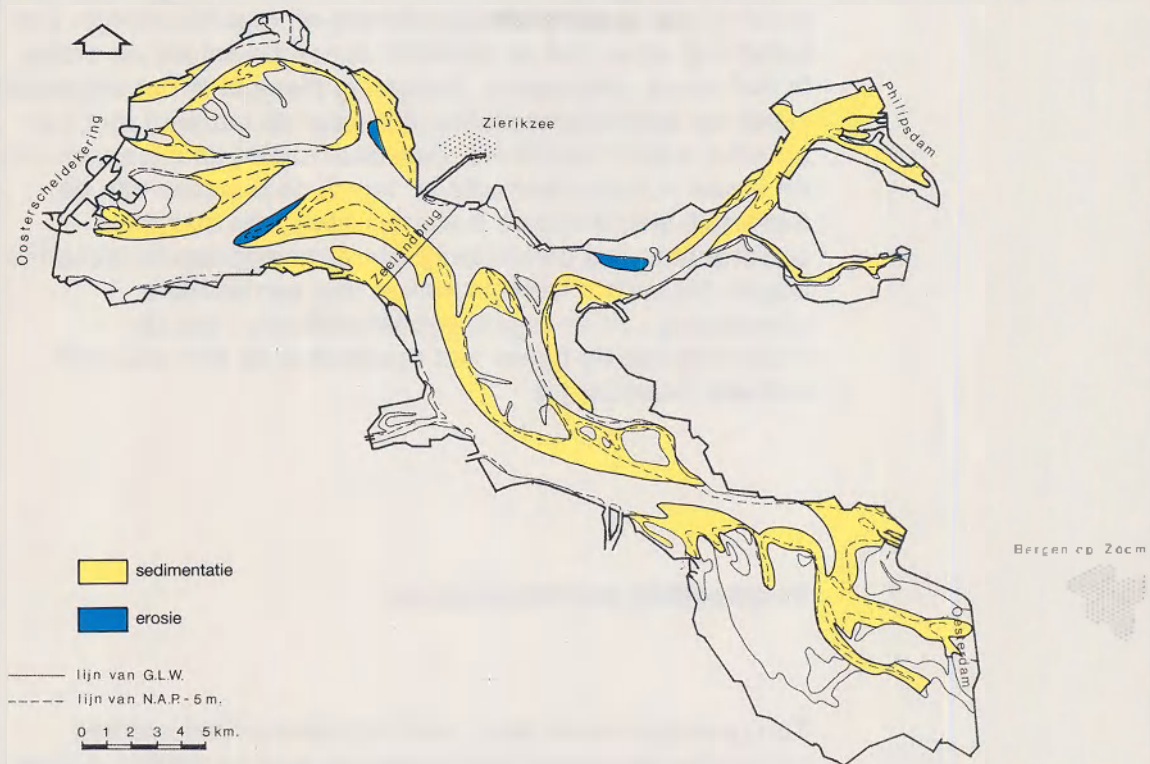
Om te komen tot een voorspelling over de gevolgen van deze snelheidsreductie voor de vorm en afmetingen van de afzonderlijke geulen in de Oosterschelde, is gebruik gemaakt van kennis over het verband tussen de getijstromen en de ligging van de eb- en vloedscharen vóór de verandering van het getij.

Daarvoor waren hulpmiddelen zoals het modellen WAQUA [57] en SECFLO [7, 8, 9, 10, 50, 51], stromingsmetingen [88, 89, 90] en morfologische kaarten [22, 23, 24, 25, 26, 27, 28] beschikbaar.

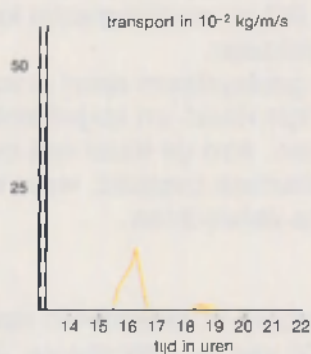
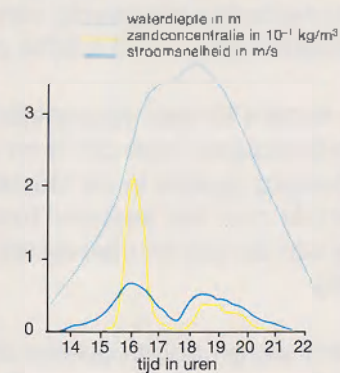
Voor elk geulsysteem apart is voorspeld hoe het stromingsbeeld in het vloed- en ebgedomineerde gedeelte zal veranderen. Aan de hand van deze voorspelling zijn in de geulen plaatsen bepaald, waar sedimentatie of erosie het eerst is te verwachten.

voorspelling

De gemiddeld te verwachten opvulling komt overeen met 20 à 30% van de waterdiepte. De opvulling van de geulen zal echter niet overal gelijkmatig zijn. De gebieden waar de te verwachten opvulling meer dan het



SPRINGTIJ 20 februari 1984



DOODTIJ 13/14 februari 1984

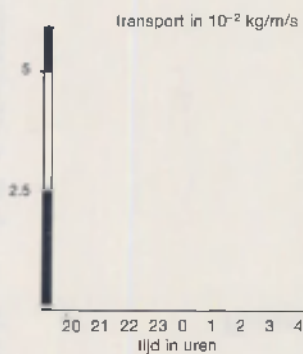
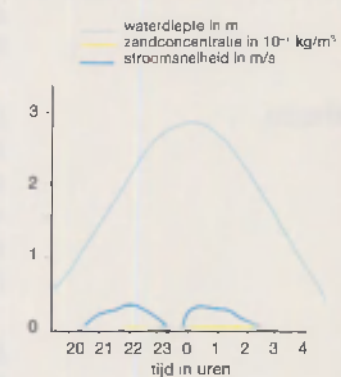


Fig. 9. Het verloop van waterdiepte, stroomsnelheid, zandconcentratie en zandtransport bij gemiddene springtij en doodtij enkele uren vóór de voltooiing van de Oosterscheldewerken.

gemiddelde bedraagt, zijn de binnenbochten, waar van nature al sedimentatie optreedt, en daarnaast de stroomafwaartse delen van de buitenbochten.

Andere plaatsen zijn de geultakken die doodlopen, zoals onder andere bij de Philips- en Oesterdam (Fig. 8). Lokaal is erosie te verwachten waar een vloedgeul verandert in een ebgeul en omgekeerd [4, 41].

Platen en slikken

Maatgevende morfologische processen

opbouw

Platen en slikken worden opgebouwd door zand dat door de getijstrooming uit de geulen wordt aangevoerd. Dat zand bezinkt voornamelijk op de randen van de plaat. Daar nemen de stroomsnelheden sterk af. Bovenop de plaat komt maar een klein gedeelte van het aangevoerde sediment terecht.

De hoeveelheid zand die op de platen en slikken wordt afgezet, varieert met het getij. Gedurende doottij zijn de stroomsnelheden in de geul en op de plaatrand laag.

Er treedt nauwelijks zandtransport op richting plaat. De oorzaak daarvan is, dat de kritische snelheid nodig voor de erosie van zand, amper wordt bereikt.

Tijdens springtij zijn de stroomsnelheden beduidend hoger. Dit gaat vooral op voor de vloed-snelheden, die gemiddeld meer dan 50% hoger zijn dan bij doottij. Dit heeft tot gevolg dat het zandtransport tijdens springtij hoger is.

Het verschil met doottij-transporten kan een factor 10 tot 20, of zelfs meer zijn (Fig. 9).

De bijdrage van het zandtransport uit de geul aan de opbouw van de plaat gedurende springtij is 4 à 5 maal groter dan de bijdrage gedurende doottij.

Opbouw van de plaat wordt geconstateerd na een periode van rustig weer [5, 15, 32, 37, 41, 55].

afbraak

Bij storm kunnen in de Oosterschelde golven ontstaan die 0.5-1.0 m hoog worden. Dergelijke golven beïnvloeden het sedimenttransport aan de bodem in gebieden waar het

Fig. 10. Het verloop van de windsnelheid, waterdiepte, stroomsnelheid, zandconcentratie en zandtransport bij gemiddelde gelijk en storm, in de situatie vóór de voltooiing van de Oosterscheldewerker.

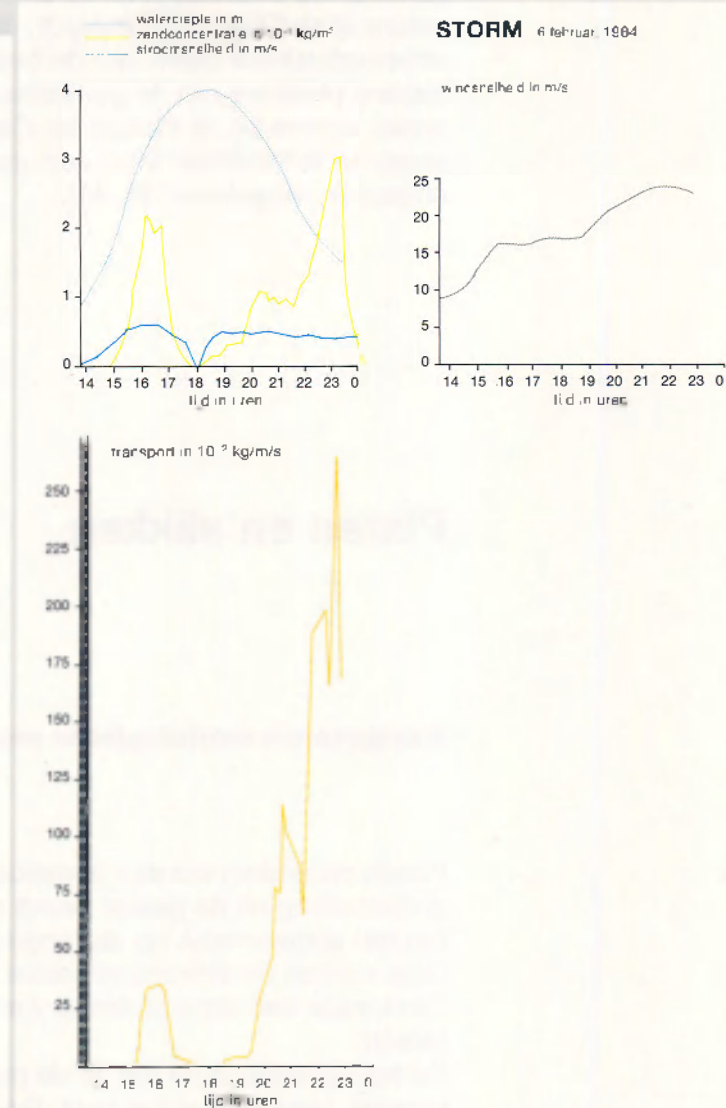


Foto 5. Een voorbeeld van de erosie van een plaatrand ten gevolge van storm (Galgeplaat).



ondieper is dan 2-2.5 m. De golfbeweging van het wateroppervlak veroorzaakt namelijk een heen en weer gaande beweging van het water aan de bodem. Hierdoor wordt het zand extra opgewerveld en ontstaan hogere zandconcentraties, die grotere transporten mogelijk maken (Fig. 10).

Op plaatsen waar golven breken is het opwervelingseffect door golven het sterkst.

Bij storm zijn dat vooral de randen van platen en slikken, die geëxposeerd zijn op de windrichting. Na perioden met stormachtig weer wordt op deze plaatsen vrijwel altijd erosie gemeten [11, 15, 37, 41].

De erosie die optreedt tijdens een storm is bij doortij ook groter dan bij springtij.

Dit wordt enerzijds veroorzaakt, doordat bij springtij de waterdiepte gedurende een deel van de vloed- en ebcyclus te hoog is voor golfinvloeden op de plaatrand. Anderzijds doordat bij springtij een aanzienlijke aanvoer van zand uit de geul plaats vindt, die eventuele erosie compenseert.

Het zand dat bij storm op de rand wordt geërodeerd, komt afhankelijk van de stromingsrichting voor een deel bovenop de plaat en in de geul aan de zijzijde terecht.

Van invloed hierbij is, naast de getijstrooming, de strooming die door de wind wordt opgewekt. Met name bij kleine waterdieptes boven op de platen kan een aanzienlijke windgedreven strooming ontstaan, die de richting en de kracht van de getijstrooming kan beïnvloeden.

voorbeeld Galgeplaat

Bijvoorbeeld voor de Galgeplaat geldt dat bij doortij het zand, dat tijdens vloed de plaat op getransporteerd wordt, al bezinkt vlak over de plaatrand; er ontstaat een lage zandrug. Dit heeft twee oorzaken:

- 1) op de plaatrand is een groot deel van de golven gebroken en heeft daardoor veel energie verloren;

- 2) op de plaatrand vermindert de stroomsnelheid sterk door toenemende invloed van de bodemruwheid.

Verder van de rand groeien de golven door de wind enigszins, waardoor de opwerveling van zand toeneemt. Gecombineerd met een plaatafwaarts gerichte windgedreven strooming, veroorzaakt dit erosie op het centrale deel van de plaat.

Tijdens springtij gaan door de grotere waterdiepte de afname van de golfenergie en de stroomsnelheden geleidelijker. Daardoor wordt in deze periode het op de rand geërodeerde zand gelijkmatiger over de plaat verspreid [41].

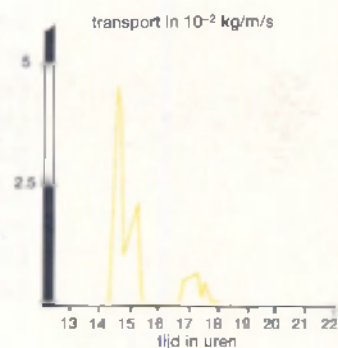
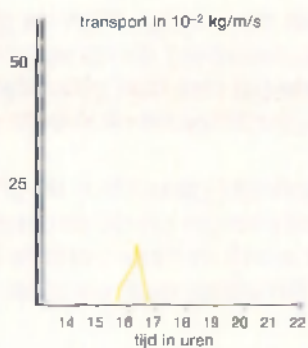
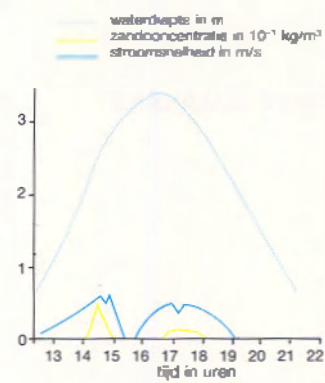
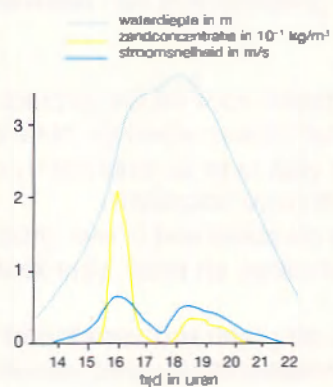
Foto 6 De akoestische zandtransportmeter, dit apparaat kan de stroomsnelheid, de stroomrichting, de zandconcentratie en de waterdiepte tegelijkertijd, momentaan meten



Fig. 11 Het verloop van de waterdiepte, stroomsnelheid, zandconcentratie en zandtransport bij springtij en rustig weer zonder (20-2-1984) en met (30-9-1985) gereduceerd getij

SPRINGTIJ 20 februari 1984

SPRINGTIJ 30 september 1985



stroomsnelheden
en zandtransport

Verschuivingen in morfologische processen

De zandaanvoer vanuit de geul is bepalend voor de mogelijkheden tot de opbouw van de platen en slikken. Hoe groot het zandtransport na de voltooiing van de Oosterscheldewerken is, is afhankelijk van de stroomsnelheden die nu in de geul en op de plaatranden bereikt worden.

In het voorgaande is reeds gewezen op een reductie van de stroomsnelheden in de geul tot 70 à 80% van de oorspronkelijke waarde. Daarmee samenhangend zal het zandtransport in de geul reduceren tot ca. 25% van de vroegere waarde [44, 79, 80].

In vergelijking met de geul heeft op platen en slikken de bodemwrijving een relatief grotere invloed op de stroomsnelheid. De reductie in de snelheden kan op platen en slikken dan ook oplopen tot 40% van de oorspronkelijke waarde [18].

De consequenties van de stroomsnelheidsreductie op platen en slikken worden aardig geïllustreerd door metingen op de rand van de Galgeplaat in 1985 (Fig. 11); in die periode was het getijverschil te Wemeldinge bij springtij gelijk aan het huidige gemiddeld getijverschil na voltooiing van de Oosterscheldewerken.

Onder deze condities bij rustig weer en tijdens springtij waren de maximale zandconcentraties op 0.3 m boven de bodem gereduceerd tot ongeveer 25% van de vroeger voorkomende 0.2 kg/m^3 . De transporten van zand daalden daarbij tot gemiddeld 15% van de vroegere waarde. Bij doodtij waren de zandconcentraties altijd al gering (0.01 kg/m^3), evenals de transporten.

Verhoudingsgewijs zijn op het deel van de plaat waar de metingen verricht zijn, de concentraties meer bij vloed dan bij eb afgenomen. In aanmerking genomen, dat de vloed verantwoordelijk is voor de aanvoer van zand, wordt verwacht dat de aangroei van de plaat zal stagneren. Aangezien de afname in stroomsnelheden en zandtransporten een algemeen verschijnsel is in het hele Oosterschelde bekken, zal het opbouwende effect van de getijstrooming in het gehele Oosterschelde bekken grotendeels wegvallen.

Fig. 12 Het verloop van het getijverschil te Wemeldinge van januari 1985 tot juli 1987.

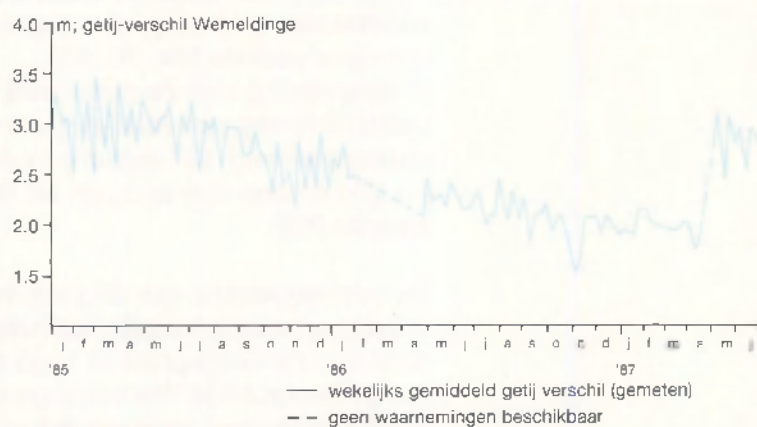
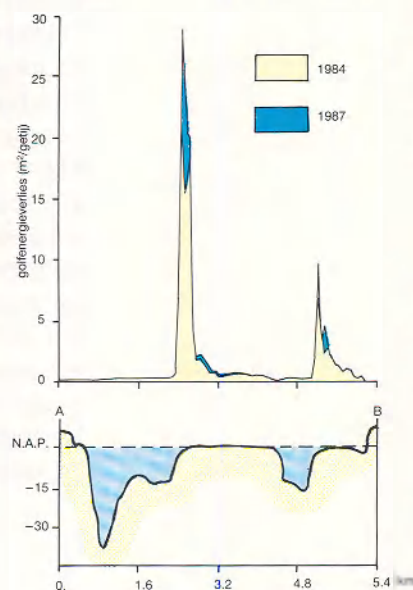


Fig. 13 Modelberekening (HISWA) van het golfenergieverlies over het traject Kals-Stavenisse, voor de oorspronkelijke situatie (1984) en een situatie met gereduceerd getij (1987).



waterstanden

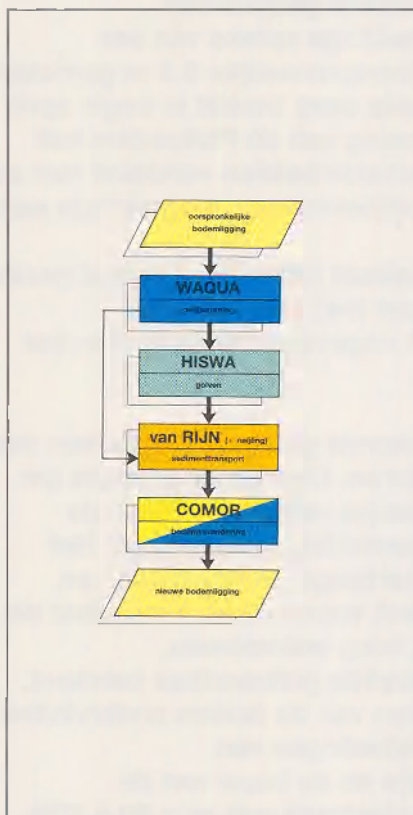
De effecten van de verschillende bouwfases van de Oosterscheldewerken op het verticale getij zijn af te lezen aan het verloop van het gemiddeld getijverschil. Vanaf mei 1985 was bij Wemeldinge sprake van een geleidelijke reductie van het oorspronkelijke 3.5 m gemiddeld getijverschil. De laagste waarde werd bereikt in begin april 1987 (Fig. 12). Na gereedkoming van de Philipsdam half april 1987, werd het Oosterschelde bekken verkleind met als gevolg dat het gemiddelde getijverschil bij Wemeldinge weer steeg tot ca. 3.2 m. De reductie is niet voor elke plaats hetzelfde. Globaal gezien neemt deze van west naar oost toe; van ongeveer 0.20-0.40 m in het westen tot ongeveer 0.60-0.80 m in het oosten.

golven

Het windklimaat zal in de toekomst gemiddeld genomen over langere perioden niet veranderen. Daar de strijklengte om golven te laten groeien nauwelijks verandert, zullen de golfcondities op diep water gemiddeld gelijk blijven. Het effect van de golven op de morfologie van de platen en slikken verandert wel. Dit wordt vooral veroorzaakt door de verlaging van het gemiddeld hoog waterniveau. Een lagere waterstand bij dezelfde golfcondities betekent, dat de weerstand die de golven van de bodem ondervinden groter wordt. Dit blijkt uit berekeningen van golfenergieverliezen. Deze zijn na de bouw van de Oosterscheldewerken op de plaatrand met zo'n 30 à 40% toegenomen en boven op de plaat nagenoeg niet veranderd (Fig. 13).

conclusies

Op de plaatranden zal bij storm door de toegenomen golf invloed de hoeveelheid losgewoeld materiaal sterk stijgen. Dit zal echter slechts resulteren in een geringe stijging van de netto erosie als gevolg van de sterk gedaalde transportcapaciteiten. Op de centrale delen van de platen en slikken zal bij storm de toename in zandtransporten door de windgedreven stroming, zorgen voor een compensatie van de gedaalde transportcapaciteit van de getijstroming. Bij gevolg zullen op de centrale delen de morfologische effecten bij storm nauwelijks veranderen [41].

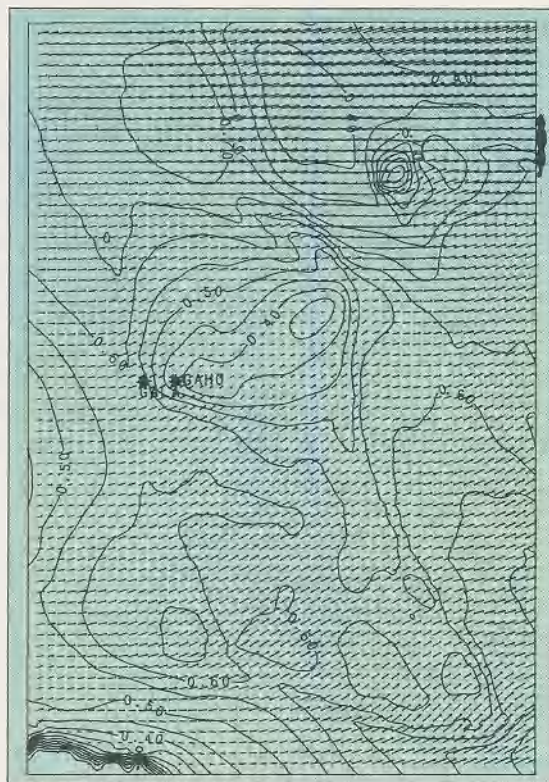
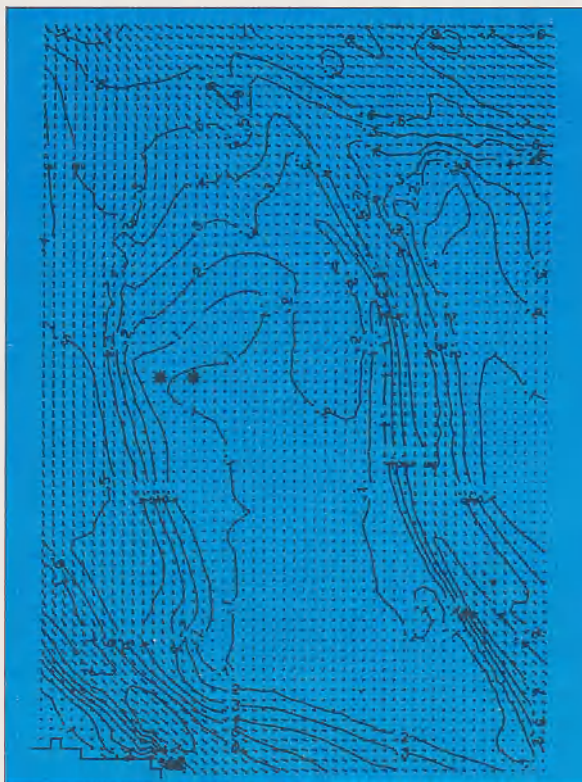


HET MORFOLOGISCHE MODEL COMOR.

Metingen kunnen slechts op enkele plaatsen worden uitgevoerd. De meetresultaten geven derhalve slechts lokale informatie over het effect van morfologische processen. Voor een beter ruimtelijk inzicht in de morfologische processen is in samenwerking met het Waterloopkundig Laboratorium, het computermodel COMOR ontwikkeld. De naam COMOR is een afkorting van COastal MORphology.

Het betreft een morfologisch model, opgebouwd uit een aantal modules (Fig. A). Hiermee kunnen het getij, de golven en het sedimenttransport voor een willekeurige plaats en tijdstip worden berekend. De basis van deze berekeningen vormt een schematisatie van de oorspronkelijke bodem (Fig. B). Het berekende sedimenttransport kan tenslotte met behulp van dit model vertaald worden naar sedimentatie of erosie.

Voor het getij is het model WAQUA beschikbaar. WAQUA is een 2-dimensionaal model, dat voor een gekozen gebied aan de hand van een gegeven bodemschematisatie en getijrandvoorwaarden, de waterstand en de over de diepte gemiddelde stroomsnelheid kan berekenen. Met de getijmodule WAQUA is het mogelijk de waterbeweging na te bootsen (Fig. C).



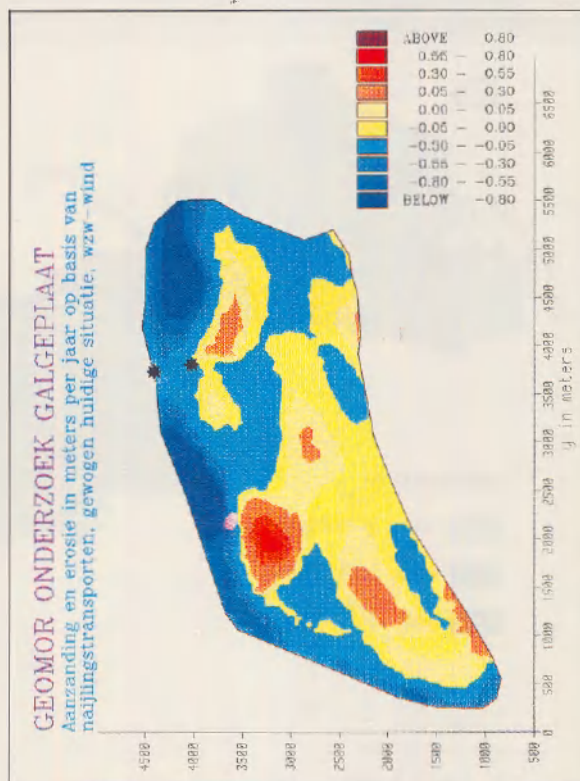
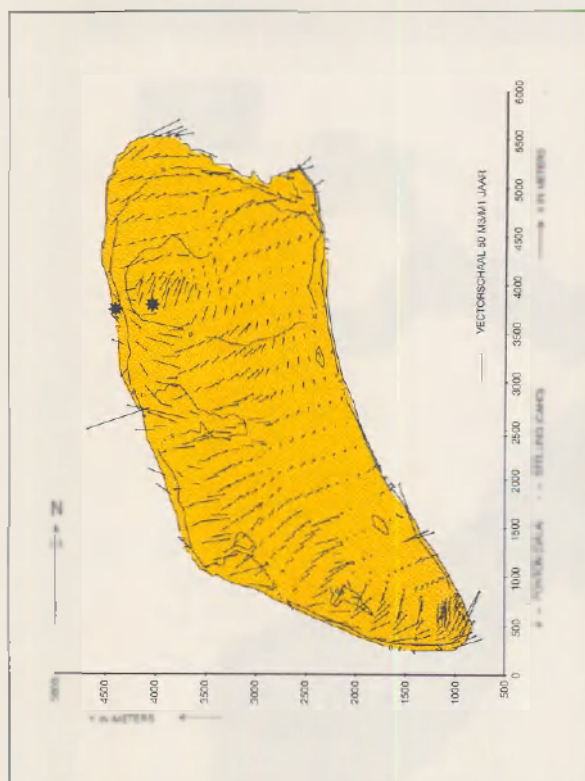
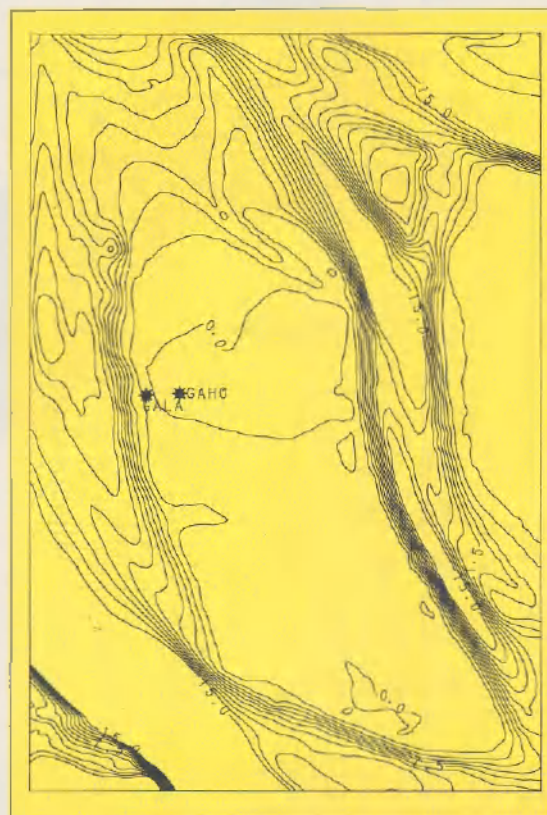
De golfmodule HISWA is een 2-dimensionaal golfmodel waarmee kenmerkende golfeigenschappen zoals golfhogte, periode en golfenergie berekend kunnen worden in een gebied met gelijkstroming en afwisselende waterdiepten (Fig. D).

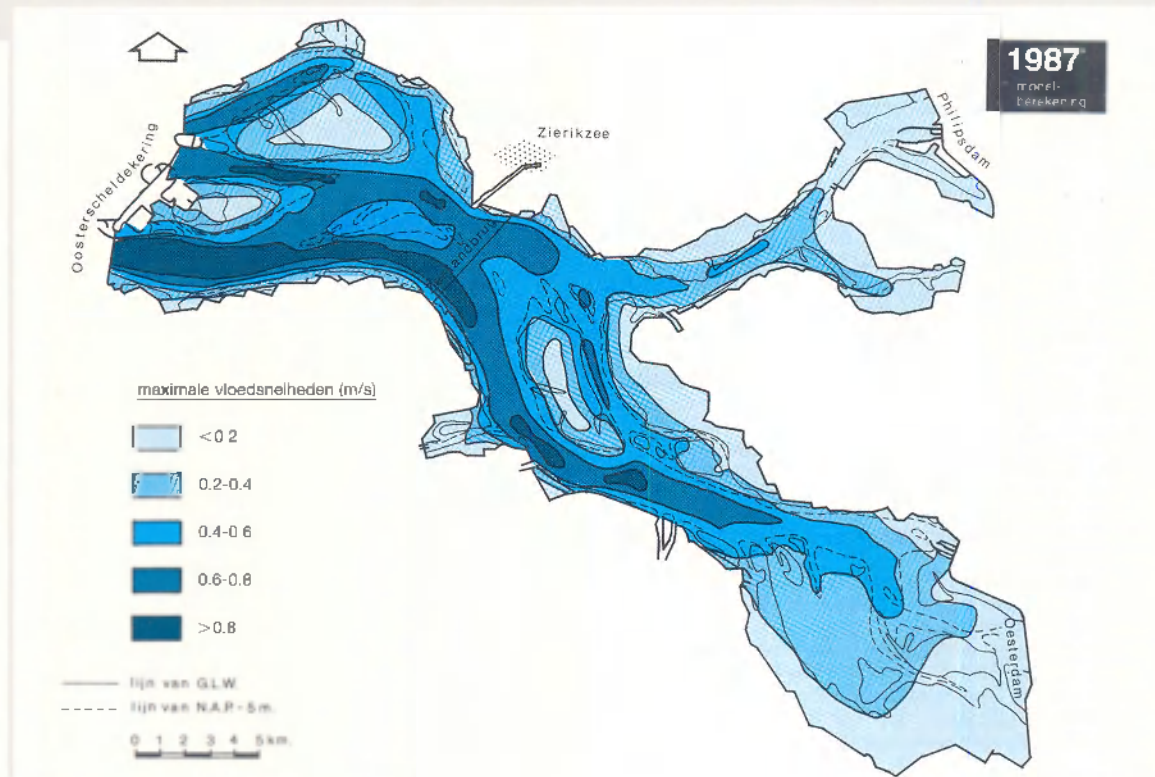
De sedimenttransportmodule in COMOR is gebaseerd op de transportformule van Van Rijn. Deze formule houdt rekening met invloeden van stroming en al dan niet aanwezige golven. De transportformule veronderstelt dat er een lokale evenwichtssituatie bestaat tussen het sedimenttransport en de invloeden van golven en stroming. In de Costerschelde komt het echter vaker voor dat tengevoege van het versnellen of vertragen van de stroom, het werkelijk transport kleiner dan wel groter is dan het evenwicht transport. Er is dan sprake van een naitjend transport. Deze naitjendseffecten kunnen in berekeningen van het transport meegenomen worden.

Het model COMOR is voor de Galgeplaat toegepast. Voor bepaalde tijdstippen die representatief worden geacht voor een bepaalde periode van gelijk zijn de zandtransporten berekend (Fig. E). De bodemverandering die gedurende een vloed-ebcycclus optreedt als gevolg van het zandtransport is vervolgens berekend met behulp van de COMOR-module voor sedimentatie en erosie.

De getijomstandigheden zijn niet altijd het zelfde als gevolg van astronomische en klimatologische effecten op de waterbeweging. Daardoor verschillen de netto transporten per getijsituatie. Voor een morfologische voorspelling van de Galgeplaat over een langere periode is derhalve informatie noodzakelijk over het astronomisch en klimatisch effect op sedimenttransport. Door de bodemveranderingen te berekenen voor een aantal getijsituaties die representatief zijn voor een langere periode is het mogelijk de morfologische veranderingen voor die periode te benaderen.

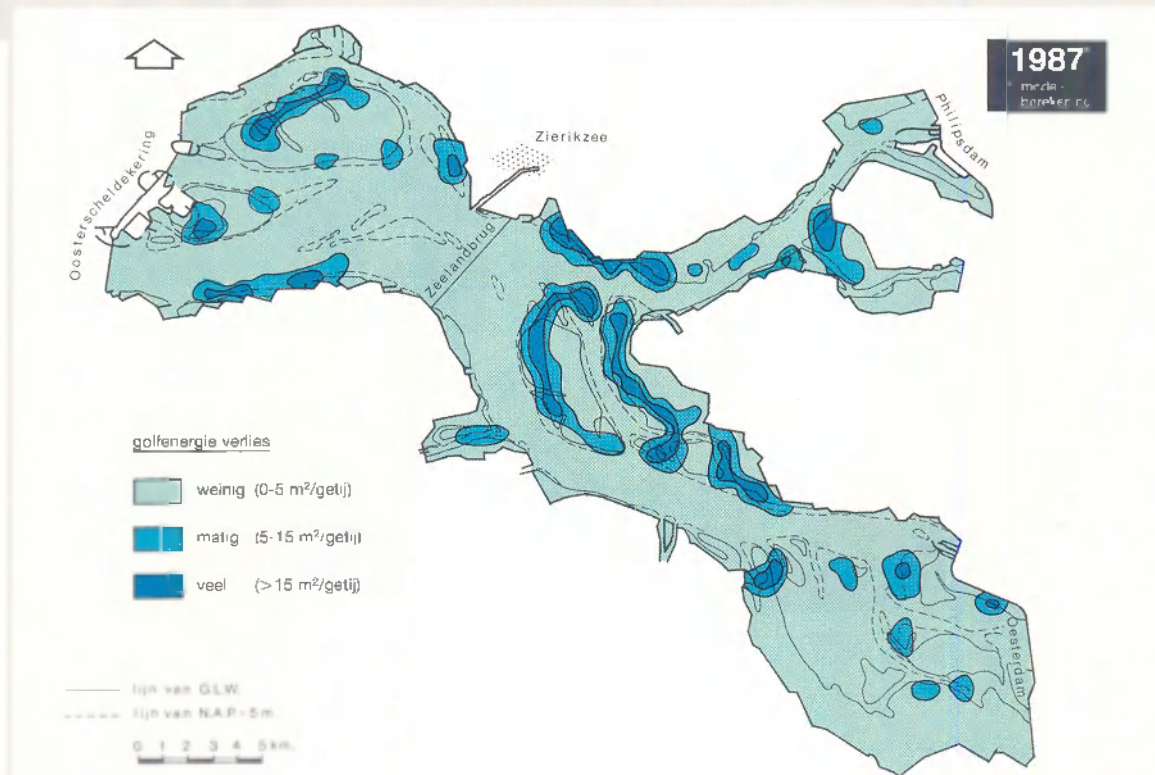
Uiteindelijk zijn een 4-tal situaties doorgeredend: drie situaties met wind (NNW, WNW en WZW) en één met rustig weer. De resultaten van deze berekeningen zijn gewogen bij elkaar opgeteld. Als voorbeeld is het resultaat gegeven van een berekening voor de situatie met WZW wind (Fig. F).





▲ Fig. 14. Het stromingsbeeld in de Oosterschelde bij maximale vloedsnelheden, geldig voor de situatie ná voltooiing van de Oosterscheldewerken; een modelberekening (WAQUA)

▼ Fig. 15. Een beeld van de golfenergieverliezen in de Oosterschelde bij WZW wind, in de situatie ná voltooiing van de Oosterscheldewerken; een modelberekening (HISWA).



Extrapolatie morfologische processen in ruimte en tijd

verkenning

De verschuiving in morfologische processen, welke optreedt onder invloed van de Oosterscheldewerken zal zeker gevolgen hebben voor de omvang van het plaat- en slikareaal. Om deze gevolgen voor de gehele Oosterschelde te kunnen kwantificeren is het nodig rekening te houden met variaties in de ruimte, zoals is gemeten in de sleutelgebieden en is af te leiden uit de spreiding in drijvende krachten en weerstandbepalende factoren. De morfologische processen op de korte en langere termijn kunnen ook sterk verschillen omdat dan, in meer of mindere mate, factoren gaan meespelen als de omvang van mogelijke zandimporten en het snelheidsverloop van morfologische processen in de tijd.

hulpmiddelen

De extrapolatie van de morfologische factoren in ruimte en tijd is gebaseerd op:

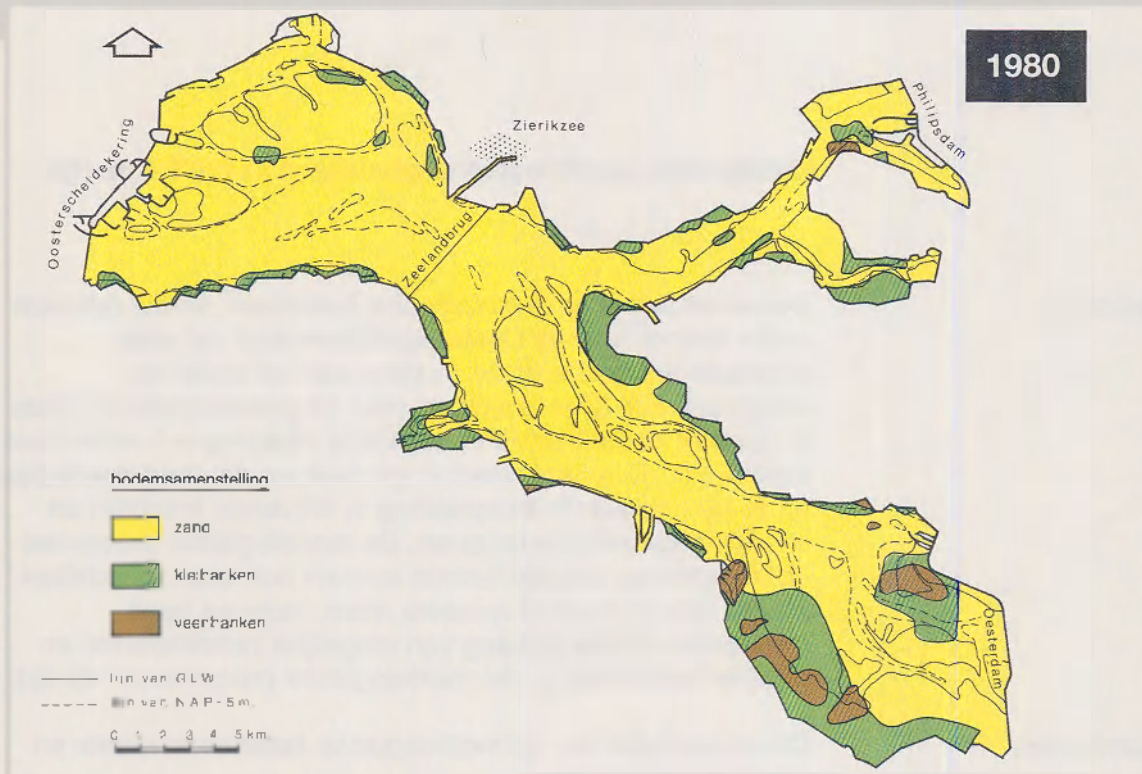
- * een grondige analyse van de metingen in de sleutelgebieden, zowel uit de oorspronkelijke situatie (1983-1985) als de periode met extreme getijreductie (1986-1987).
- * berekeningen met de (wiskundige) modellen STAMOR [41], COMOR [12, 17, 18, 55, 60, 64, 80], WAQUA, en HISWA [6, 18, 19, 41], voor een situatie vóór en een situatie ná de aanleg van de Oosterscheldewerken.
- * inventarisaties van de sedimentologische opbouw en de korrelgrootte van het oppervlaktesediment in de gehele Oosterschelde.

variatie in de ruimte

De karakteristieke sedimentatie- en erosiesnelheid verschilt van plaats tot plaats en wordt bepaald door een combinatie van drijvende krachten zoals stroming (Fig. 14) en golven (Fig. 15) en weerstandbepalende factoren zoals bodemsamenstelling-klei, veen, zand (Fig. 16) - en de korrelgrootte van het oppervlaktesediment (Fig. 17). De verdeling van deze krachten en factoren over de sleutelgebieden gecombineerd met de over meer jaren waargenomen sedimentatie en erosie, heeft geleid tot het afbakenen van karakteristieke zones. Zo is de Galgeplaat onderverdeeld in vijf sleutelzones, een centraal deel en vier randzones; de Roggenplaat in een centraal deel en drie randzones en de Rattekaai in een centrale en een randzone. Voor elke sleutelzone is de relatie tussen optredende sedimentatie of erosie en de bepalende krachten en factoren gekwantificeerd.

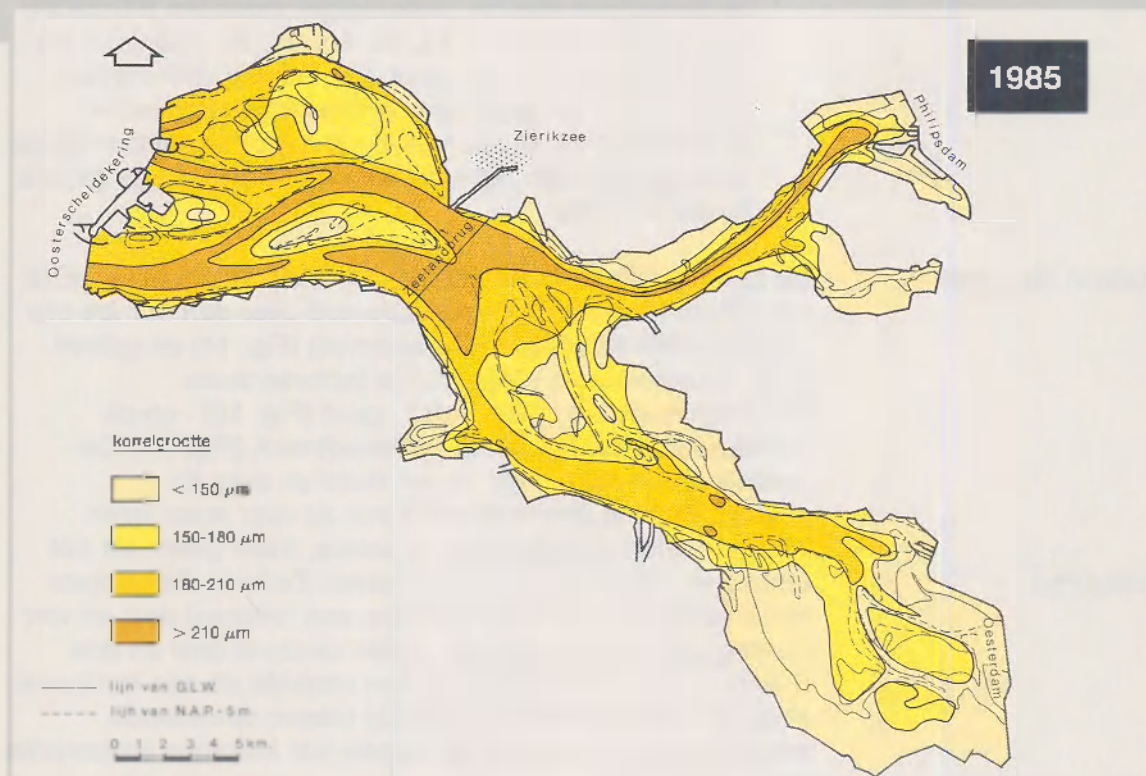
sleutelzones

Van deze kennis is gebruik gemaakt om te komen tot een



▲ Fig. 16. De bodemsamenstelling van de Oosterschelde.

▼ Fig. 17. De korrelgrootte van het oppervlakesediment in de Oosterschelde.



uitspraak over de morfologische processen buiten de sleutelgebieden. De platen en slikken buiten de sleutelgebieden zijn daartoe allereerst op basis van de verdeling van de genoemde krachten en factoren opgedeeld in met de sleutelzones vergelijkbare zones. Via de relatie, geldend voor de sleutelzones is daarna een bijbehorende sedimentatie- en erosiesnelheid berekend.

variatie in de tijd

De tijdshorizon van de voorspelling is onderverdeeld in een drietal fasen:

- * een berekening van de morfologische veranderingen op korte termijn; een periode van 5 jaar, die een indruk geeft van de beginsnelheid van de ontwikkelingen;
- * een berekening voor de middellange termijn; een periode van 30 jaar, waarin de beleidsrelevante veranderingen naar voren komen;
- * een berekening voor de lange termijn, waarmee een beeld wordt verkregen van de uiteindelijke gevolgen en de tijdsduur welke nodig is voor het bereiken van een nieuw evenwicht.

korte termijn

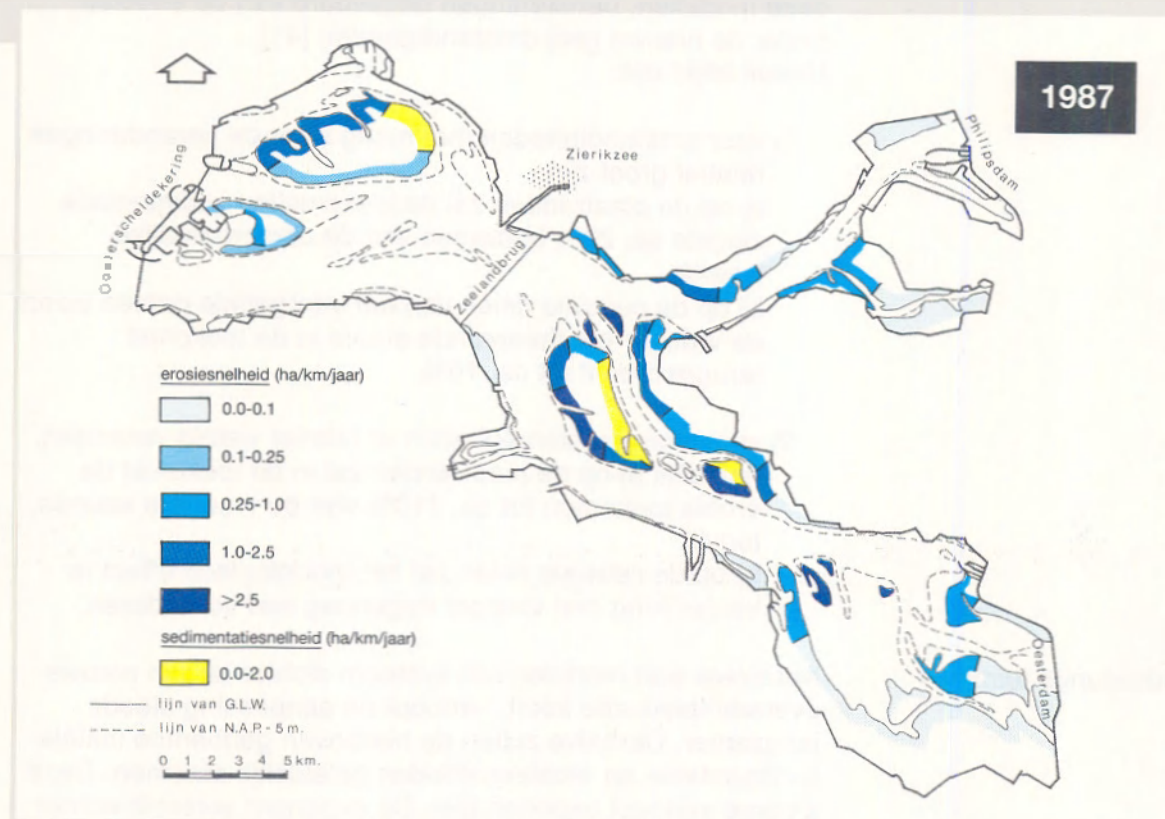
Voor de korte termijn is de voorspelling van de morfologische veranderingen gebaseerd op berekeningen van de verschillen ten opzichte van de oorspronkelijke situatie. Met de modellen STAMOR en COMOR zijn daartoe allereerst de morfologische effecten berekend over de periode van één jaar in de oorspronkelijke situatie (1984). Vervolgens zijn met deze modellen, berekeningen uitgevoerd van de effecten onder de nieuwe getij omstandigheden [41]. Hieruit blijkt dat:

- 1) voor omstandigheden met rustig weer de veranderingen relatief groot zijn:
 - a) op de plaatranden zal de toekomstige sedimentatie slechts ca. 20% bedragen van de oorspronkelijke waarde,
 - b) op de centrale delen van het intergetijde gebied wordt de vroeger overheersende erosie in de toekomst teruggebracht tot ca. 10%.
- 2) voor stormomstandigheden er relatief weinig verandert, namelijk
 - a) op de plaatranden zal in de toekomst de erosie toenemen tot ca. 110% van de vroegere waarde, terwijl
 - b) op de centrale delen zal het morfologisch effect in vergelijking met vroeger nagenoeg niet veranderen.

middellange termijn

Naarmate een morfologisch systeem dichterbij zijn nieuwe evenwichtssituatie komt, verloopt de aanpassing steeds langzamer. Derhalve zullen de hierboven genoemde initiële sedimentatie- en erosiesnelheden geleidelijk afnemen. Deze afname verloopt exponentieel. De exponent verschilt echter van systeem tot systeem.

Fig. 18. De beginsnelheid van afslag en aangroei van platen en slikken ná voltooiing van de Oosterscheldewerken.



Voor de morfologische ontwikkeling in de Oosterschelde is een zodanig verloop gekozen dat voor korte termijn (de eerste 5 jaar) de processnelheid gemiddeld 95% van de initiële sedimentatie- en erosiesnelheid is, voor de middellange termijn (van 5 tot 30 jaar) gemiddeld 65% en voor de lange termijn (van 30 jaar totdat een nieuw evenwicht bereikt is) achtereenvolgens, van 30 tot 100 jaar gemiddeld 34%, van 100 tot 200 jaar 4% en na 200 jaar 0.1% van de initiële snelheid. De keuze voor juist dit verband is mede gebaseerd op het verloop van de snelheid van de morfologische ontwikkelingen zoals gemeten in het estuarium van de Eider (Noord-Duitsland), die in 1936 gedeeltelijk werd afgedamd [49], en in de Grevelingen na de afdamming in 1971 [42].

lange termijn

Zandimport vanuit de Noordzee, zandwinning en zeespiegelrijzing zijn van belang voor de uitspraken over de morfologische ontwikkelingen op de lange termijn. Hoe groot de toekomstige zandimport zal zijn is slechts bij benadering te zeggen. Met name de ontwikkelingen op de Voordelta en van de ontgrondingskuilen aan weerszijden van de stormvloedkering zijn hierbij van belang. De eerste metingen uit mei 1987 duiden op een zandimport van ca. 1 miljoen m³ per jaar [75]. Bij deze orde van grootte van zandimport is het op voorhand duidelijk, dat bij een totale zandhonger van 400 à 600 miljoen m³ deze import alleen een rol speelt op een termijn van eeuwen.

Zandwinning met een omvang zoals voorkwam in de jaren '60 en '70 zou de zandhonger kunstmatig sterk kunnen vergroten. Op basis van het huidige beleidsplan van de Oosterschelde wordt aangenomen, dat zandwinning in de toekomst in de Oosterschelde is uitgesloten.

Het effect van een eventuele zeespiegelrijzing op lange termijn is, mede gezien het scala aan voorspellingen hierover, buiten beschouwing gelaten. Globaal kan gesteld worden dat bij een relatief grote zeespiegelrijzing, waarmee de zandimport geen gelijke tred houdt, de zandhonger toeneemt.

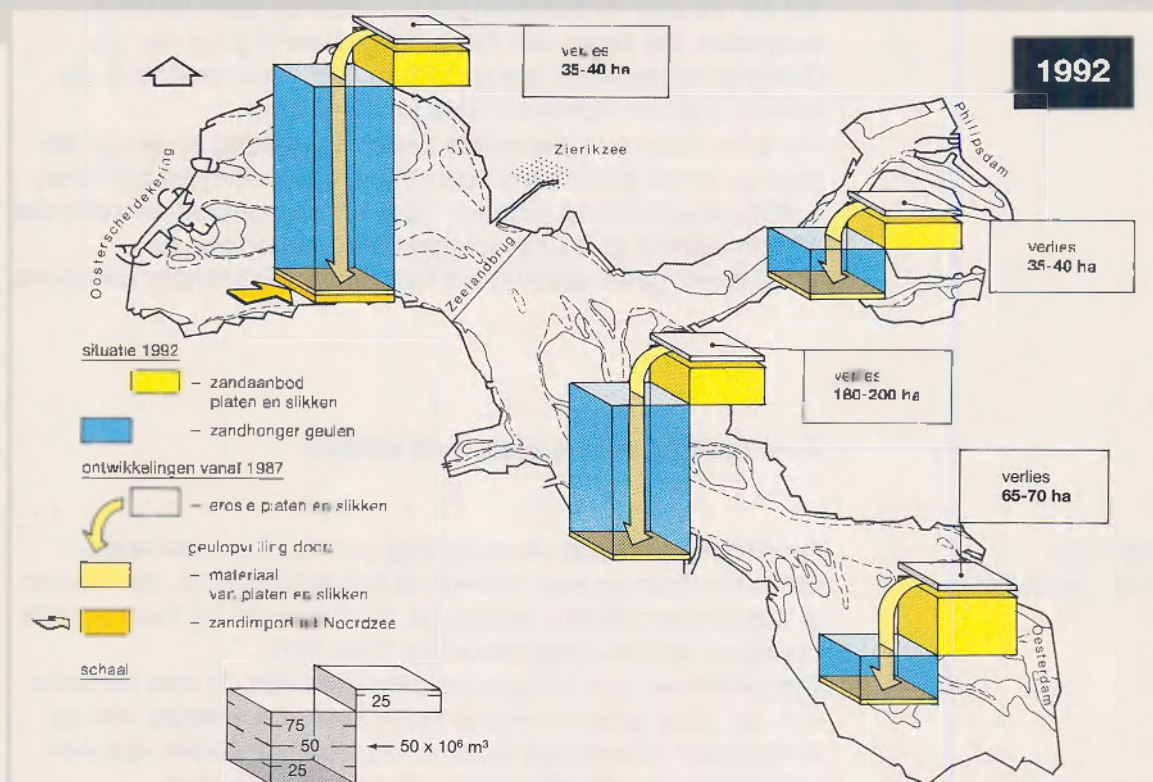
Voorspelling erosie platen en slikken

percentage
reductie getijvolume

De eerste metingen na voltooiing van de Oosterscheldeerwerken wijzen op een afname in het getijverschil, die kleiner is dan oorspronkelijk voorspeld; bijvoorbeeld bij Yerseke 6% in plaats van de oorspronkelijke 13% [66].

Omgerekend naar het getijvolume betekent dit een reductie van ca. 20% tegen oorspronkelijk 30%. De waarde van ca. 20% is een voorlopige waarde, waarbij het sluiten van een aantal schuiven in de kering, in het kader van het toekomstige onderhoudsprogramma, buiten beschouwing is

Fig. 19. De voorspelling per deelgebied van het verlies aan paal- en slikareaal op een termijn van 5 jaar.



gelaten. Het wordt onder andere om bovengenoemde reden waarschijnlijk geacht dat de uiteindelijke getijreductie zal liggen tussen de 20 en 30%.

Gezien deze onzekerheden is bij de voorspelling uitgegaan van een drietal waarden voor de reductie van het getijvolume, namelijk;

- * 30% de oorspronkelijk voorspelde waarde;
- * 20% een recent gemeten en berekende waarde;
- * (10% een "theoretische" ondergrens).

voorspelling

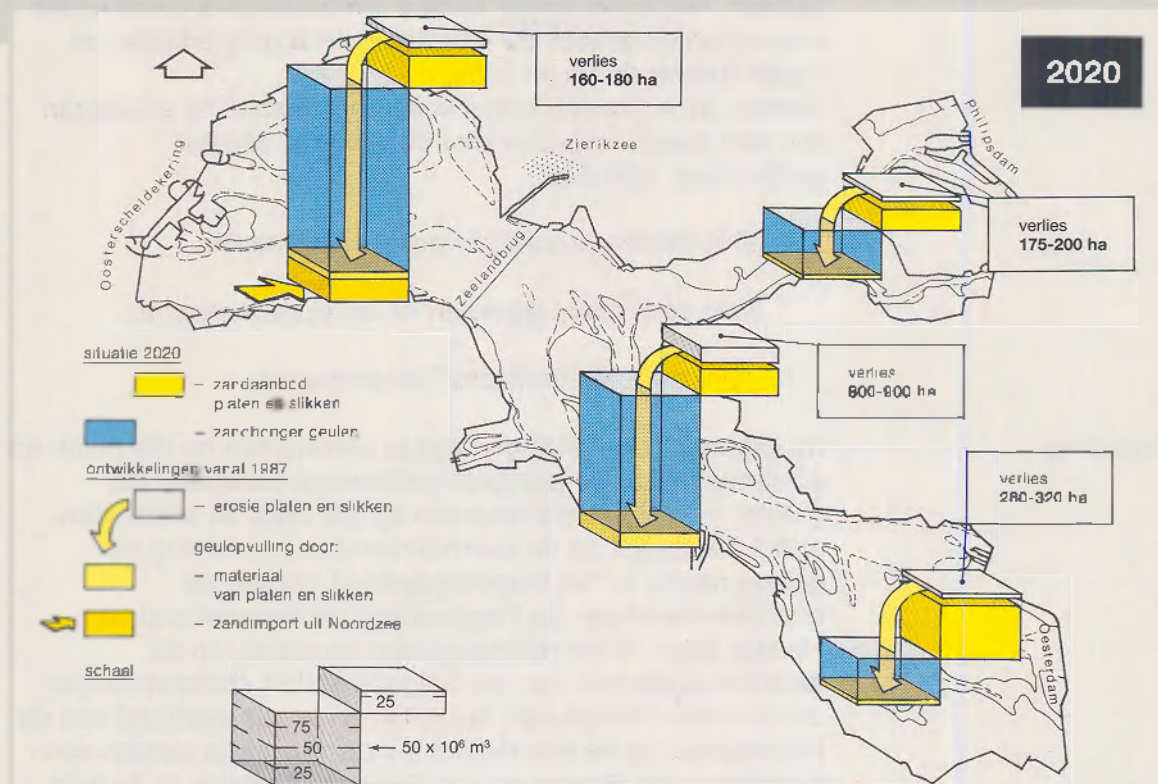
De grootste veranderingen zijn te verwachten op die plaat- en slikranden waar de jaarlijkse golfenergie dissipatie het grootst is. Met andere woorden op die plaat en slikranden, welke het meest op de overheersende windrichting zijn geëxponeerd. In het mondingsgebied zijn dat de noordwestrand van de Roggenplaat en de westrand van Neeltje Jans; in het middengebied de noord- en de zuidwestelijke rand van de Galgeplaat, het noordwestelijke deel van de Slikken van de Dortsman en de westrand van de Middelpaalt; in de noordelijke tak de westelijke randen van de slikken van Vianen en van Dwars in de Weg; in de kom tenslotte, de noordwestelijke randen van de platen ten noordoosten van Yerseke en van de Hoge Kraayer (Fig. 18).

1992

Voor de korte termijn wordt een verlies aan plaat- en slikareaal in de gehele Oosterschelde berekend van 315 à 350 ha (Tabel 1 en Fig.19).

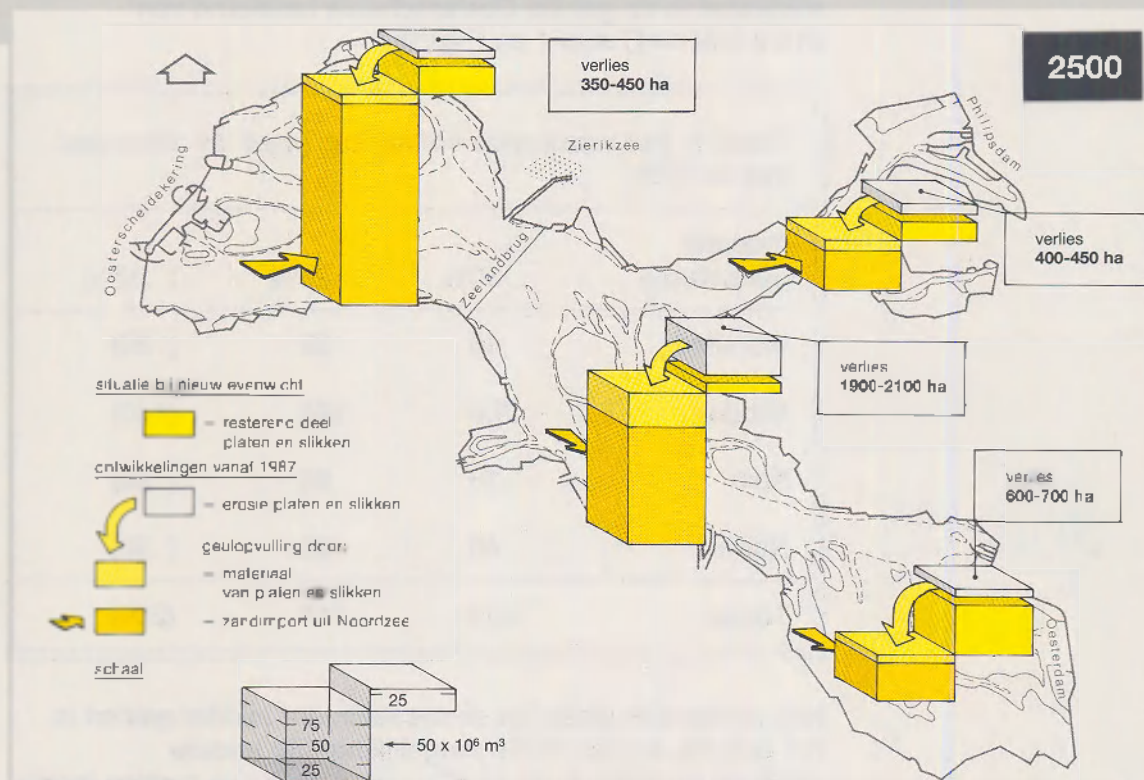
Tabel 1 : Het voorspelde verlies aan plaat- en slikareaal (ha) in 1992.			
reductie getijvolume	30%	20%	(10%)
Monding	40	35	(30)
Midden	200	180	(140)
Kom	70	65	(50)
Noord	40	35	(30)
Totaal	350	315	(250)

Het verlies aan plaat- en slikareaal in het middengebied is het grootst, omdat hier in vergelijking met andere deelgebieden de plaat- en slikranden over een grotere lengte zijn geëxponeerd op de overheersende windrichtingen.



▲ Fig. 20 De voorspelling per deelgebied, van het verlies aan plaat- en slikareaal op een termijn van 30 jaar.

▼ Fig. 21 De voorspelling per deelgebied, van het uiteindelijke verlies aan plaat- en slikareaal.



Het berekende verlies op de middellange termijn varieert tussen de 1415 en 1600 ha (Tabel 2 en Fig. 20).

Tabel 2: Het voorspelde verlies aan plaat- en slikareaal (ha) in 2020.			
reductie getijvolume	30%	20%	(10%)
Monding	180	160	(120)
Midden	900	800	(630)
Kom	320	280	(220)
Noord	200	175	(140)
Totaal	1600	1415	(1110)

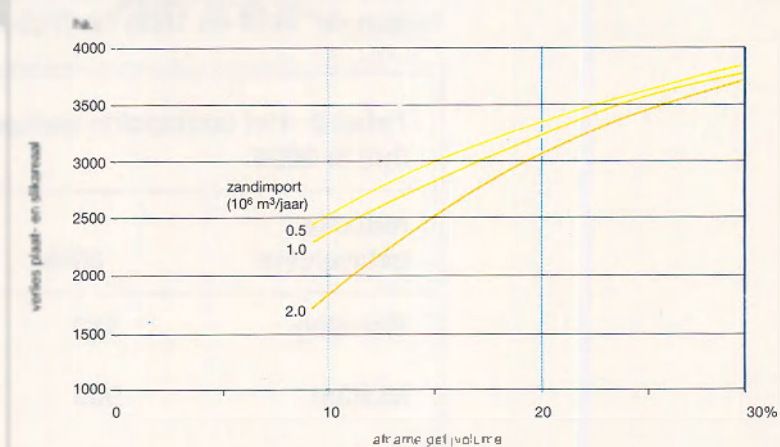
De invloed van de zandimport uit de Noordzee op het verlies in het mondingsgebied op de middellange termijn is gering. Bij een zandimport van ca. 1 miljoen m³ zand per jaar, zoals is gemeten, is na 30 jaar slechts ca. 10% van de totale zandhonger gestild. Voordat de zandhonger hier volledig voorbij zal zijn is dan nog eens 2 eeuwen nodig. Het bereiken van een nieuw evenwicht in de rest van de Oosterschelde zal daarna nog weer in de orde van 2 eeuwen duren. Het totale verlies aan plaat- en slikareaal zal dan, bij gelijk blijvende zandimport van 1 miljoen m³ per jaar, variëren tussen 3250 en 3700 ha. (Tabel 3 en Fig. 21).

uiteindelijke verlies

Tabel 3: Het voorspelde uiteindelijke verlies aan plaat- en slikareaal bij een nieuwe evenwichtssituatie			
reductie getijvolume	30%	20%	(10%)
Monding	450	350	(250)
Midden	2100	1900	(1300)
Kom	700	600	(450)
Noord	450	400	(300)
Totaal	3700	3250	(2300)

Uiteraard is deze voorspelling van het verlies op de lange termijn sterk afhankelijk van de grootte van de werkelijk

Fig. 22. De voorspelling van het uiteindeijke verlies aan plaat- en slikareaal, bij verschillende scenario's voor de afname van het getijvolume en de zandimport.



optredende zandimport. Om deze reden is het verlies voor de lange termijn ook berekend voor een drietal verschillende zandimporten (Fig. 22). Het zal duidelijk zijn, dat hoe groter de zandimport en hoe kleiner de reductie van het getijvolume uitvalt, het uiteindelijk verlies op de lange termijn geringer wordt: bij een reductie van het getijvolume van 20% en een zandimport van 2 miljoen m³ is het verlies 2900 ha, tegen 3700 ha bij een reductie van 30% en import van 1 miljoen m³.

resumé

Resumerend kan worden gesteld, dat het verlies aan platen en slikken in 1992 ca. 300 ha en in 2020 ca. 1500 ha, zal bedragen; dit is slechts 10 à 15% van het huidige areaal. De voorspelling van het uiteindelijk verlies in de verre toekomst is slechts indicatief, omdat hierbij factoren belangrijk zijn als zeespiegelrijzing en verandering van de zandimport, welke niet zijn meegenomen in de voorspelling.

Wel lijkt duidelijk dat de sombere hypothese over een Oosterschelde nagenoeg zonder platen en slikken, niet juist is gebleken.

consequenties voor beheer en beleid

Het toekomstige beheer en beleid van de Oosterschelde dient door het verlies aan plaat- en slikareaal rekening te houden met:

- * een verkleining van de draagkracht van het watersysteem voor wadvogels en andere groepen organismen, die gebonden zijn aan het voorkomen van platen en slikken.
- * een verschuiving in mogelijke locaties voor mossel- en kokkelproductie.

Voortdurende afslag van plaat- en slikranden zal mogelijk lokale schade berokkenen aan de huidige percelen. Hier tegenover staat een uitbreiding van de mogelijkheden in de geulen door een afname van de stroomsnelheid [59].

De geschetste ontwikkelingen in de geulen hebben als gevolg dat:

- * lokaal verondiepingen kunnen optreden in scheepvaartroutes;
- * de stabiliteit en daarmee de veiligheid, van de oevers toeneemt, doordat als gevolg van de verminderde stroomsnelheden, de erosieve werking van de stroming in de geulen sterk is afgenomen.



Literatuuroverzicht

1. Battjes, J.A., Jansen, J.P.F.M., 1978. Energy loss and set-up due to breaking of random waves. Proc. 18th Coast. Eng. Conf., Hamburg, ASCE, New York, p. 569-587.
2. Beekman, A.A., 1952. Geschiedkundige Atlas van Nederland III. Zee and.
3. Berben, F., 1986a. Meandergeometrie en morfodynamisch gedrag van estuarium geulen. Onderzoek aan de hand van literatuur en andere documentatie. Geomor. nota 86-2, DGW, Rijkswaterstaat.
4. Berben, F., 1986b. Voorspelling van de morfologische ontwikkeling van de geulen in het Oosterschelde bekken na het gereedkomen van de Stormvloedkeringen. (in prep. DGW, Rijkswaterstaat).
5. Bloks, P., Buist, H.J., Kohseik, L.H.M., 1983. Geomor. interim rapport, mei 1983. Geomor. nota 83-00, Rijkswaterstaat.
6. Booij, N., Holthuijsen, L.H., Herbers, T.H.C., 1985. The shallow water hindcast model HISWA: Part I; Physical and numerical background, Delft Univ. of Techn., Dept. of Civil Eng., Lab. of Fluid Mech., report no. 6-85.
7. Booij, R., 1983. Reproduction of velocity profiles in estuaries by some one-dimensional mathematical models. Delft Univ. of Techn., Dept. of Civil Eng., Lab. of Fluid Mech., report no. 3-82.
8. Booij, R., Kalkwijk, J.P.Th., 1982. Secondary flow in estuaries due to the curvature of the main flow and to the rotation of the earth and its development. Geomor. nota 83-05, Deltadienst, Rijkswaterstaat.
9. Booij, R., Pennakamp, J.G.S., 1983. Simulation of main flow and secondary flow in a curved open channel. Delft Univ. of Techn., Dept. of Civil Eng., Lab. of Fluid Mech., report no. 10-83.
10. Booij, R., Pennakamp, J.G.S., Kalkwijk, J.P.Th., 1985. Secundaire stroming in de Oosterschelde. Delft Univ. of Techn., Dept. of Civil Eng., Lab. of Fluid Mech., report no. 16-85.
11. Bosman, J.J., 1982. Concentratie-verdikalen onder golven en stroom: de invloed van bodemhelling, waterdiepte, brekende golven, orbitaal snelheid en stroomsnelheid. Delft Hydr. Lab., report M 1875, (Geomor. nota 83-03, Rijkswaterstaat).
12. Bosman, J.J., 1983. Comortransport module. Geolra ten behoeve van Geomor-projekt. Delft Hydr. Lab., Nota W1, R1914-1-1.
13. Bruun, P., 1978. Stability of tidal inlets theory and engineering. Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam Oxford-New York.
14. Bruin, M., 1985. Kuberingen; Westelijke deel Oosterschelde deel 4, Oostelijk deel Oosterschelde deel 5. Noordelijk deel Oosterschelde deel 6. Notitie DDWT 85314, Rijkswaterstaat.
15. Buist, H.J., Bloks, P., 1984. Geomorfologische processen Oosterschelde: Een Pilot Study. Nota DDMI 84.C6, Rijkswaterstaat.
16. De Jong, H., Gerritsen, F., 1984. Stability parameters of Western Scheldt estuary. Proc. 19th Coastal Eng. Conf., Houston, ASCE, p. 3078-3093.
17. De Vriend, H.J., 1984. Compound 2-DH mathematical models in Coastal morphology. Delft Hydr. Lab., T.O.W.-report, R1747-1.
18. De Vriend, H.J., Van Banning, G.K.F.M., 1986. Evaluatie vergelijking metingen en berekeningen Galgeplaat. Verslag onderzoek Geomor, Delft Hydr. Lab., report H253/R 1914.
19. Dingemans, M.W., 1983. Verification of numerical wave equation models with field measurements, Crediz verification Haringvliet, Delft Hydr. Lab., report no. W488.
20. Dronkers, J., 1986. Tidal asymmetry and estuarine morphology. In: Netherlands Journal of Sea Research. Vol., 20, no 2/3; p. 117-131.
21. Engelund, F., Hansen, E., 1967. A monograph on sediment transport in alluvial streams. Teknisk Forlag, Copenhagen.
22. Goedheer, G.J., 1982. Oosterschelde: onderzoek onderwater bodem, interpretatie van Side Scan Sonaropnamen. Nota DDMI 82-04, Rijkswaterstaat.
23. Goedheer, G.J., 1983a. Side looking sonar in het kader van het project Geomor (periode 1982-1983). Geomor. nota 83-09, Rijkswaterstaat.
24. Goedheer, G.J., 1983b. Relatie tussen stroomsnelheden, richtingen en bodemvormen in T2 raaien ten westen van de Zeelandburg. Nota DDMI-83.18, Rijkswaterstaat.
25. Goedheer, G.J., 1984a. Bodemmorfolgie beneden de laagwaterlijn van de Galgeplaat. Een interpretatie van de Side Looking Sonar-opnamen. Notitie DDMI-84.146, Rijkswaterstaat.
26. Goedheer, G.J., 1984b. De onderwaterbodem morfologie van de Mosselkreek en de maellocatie ROLA bij de Roggenplaat. Notitie DDMI-84.333, Rijkswaterstaat.
27. Goedheer, G.J., 1984c. De bodemmorfolgie aan de Noordwest zijde van de Galgeplaat beneden de gemiddelde laagwaterlijn. Notitie DDMI-84.393, Rijkswaterstaat.

28. Goedheer, G.J., 1985. Toelichting bij de legenda en kaartbladen van de geomorfologische kaart van de buitendijkse gebieden van de Oosterschelde (1:10 000), (situatie voor 1985) + toekomstindicaties voor veranderingen in de geomorfologie na 1987. Nota DDMI 85 06, Rijkswaterstaat.
29. Gerritsen, F., de Jong, H., 1983. Stabiliteit van doorstroomprofielen in de Westerschelde. Nota WWKZ-83.V008, Rijkswaterstaat.
30. Gerritsen, F., de Jong, H., 1984. Stabiliteit van doorstroomprofielen in de Waddengebied. Nota WWKZ-84.V016, Rijkswaterstaat.
31. Griep, J., 1986. Versluivings- en uitdunkingsonderzoek van de zandige platen in het Markezeest. Notitie GWWS-86 466, Rijkswaterstaat.
32. Hazelhoff, L., Van Vessum, P., Kohsiek, L.H.M., 1984a. Geomor fase II. Notitie DDMI 84.533, Rijkswaterstaat.
33. Hazelhoff, L., Van Vessum, P., 1984b. Meetplan aanvullende metingen fase II. Notitie DDWTZ 84 749, Rijkswaterstaat.
34. Hoekema, J., Hokke, A.W., Walburg, A.M., 1987. Waqua en Hiswa berekeningen ten behoeve van sedimenttransport module in Comor. Geomor nota 87 01, Rijkswaterstaat.
35. Kohsiek, L.H.M. (ed), Bloks, P., Hoekstra, P., Van Alphen, J., 1981. Morfologische consequenties van de bouw van de stormvloedkering voor de opslibbing van schorren in de Oosterschelde. Nota DDWT 81.042, Nota DDMI 81 26, Rijkswaterstaat.
36. Kohsiek, L.H.M., 1982. Prognose morfologische ontwikkelingen Oosterschelde. De Nederlandse delta. Natuur en Techniek.
37. Kohsiek, L.H.M., Buisi, H.J., Bloks, P., Misdorp, R., van den Berg, J.H., Vesser, J., 1986. Sedimentary processes on a sandy shoal in a mesotidal estuary (Eastern Scheldt). In: Tide-influenced sedimentary environments and facies, Riedel Publishing Company.
38. Kohsiek, L.H.M., Misdorp, R., Van den Berg, J.H., Vesser, J., Buysrogge, R.H., 1982. Voortgangsrapport project Geomor. Notitie DDMI 82 625, Rijkswaterstaat.
39. Leenders, K.A.H.W., 1986. 2000 jaar kustontwikkeling van Cap Gris Nez tot Hoek van Holland. Nota NZ-N-86 19, Rijkswaterstaat.
40. Leenderse, J.J., 1984. Verification of a model of the Eastern Scheldt. The Rand Corporation, R-3108-Neth.
41. Louters, T., Berben, F., 1987. Morfodynamische veranderingen in het Oosterschelde bekken tijdens en na de bouw van de Oosterschelde werken. (in prep.).
42. Leeuwestein, W., School, P., 1986. Evaluatie oevers Veermansplaat. Oevererosie (in prep.).
43. Misdorp, R., 1983. Enige resultaten van de plomelingen op de Galgeplaat. Notitie DDMI 83.127, Rijkswaterstaat.
44. Mulder, H.P.J., Kohsiek, L.H.M., 1984. Een methode om de zandconcentratie in Hammen en Schaar te voorspellen. Nota Bemorf-M-84 007, Rijkswaterstaat.
45. O'Brien, M.P., 1969. Equilibrium flow areas of inlets on sandy coasts. ASCE, J. Waterw. Harbors Div., 95(WW1): p. 43-51.
46. Oenema, O., 1983a. Een eerste interpretatie van de bodemanalyses op de Galgeplaat. Notitie DDMI-83.292, Rijkswaterstaat.
47. Oenema, O., 1983b. Resultaten bodemkundig onderzoek op de meetplaat Galgeplaat. Notitie DDMI-83 649, Rijkswaterstaat.
48. Oenema, O., Van Slagmaat, M., 1986. Variaties in de korrelgrootteverdeling van de bodem van het intergetijdegebied in de Oosterschelde. Geomor nota 86 01, Rijkswaterstaat.
49. Renger, E., Partenscky, H.W., 1980. Sedimentation processes in tidal channels and tidal basins caused by artificial constructions. Proc. Coast. Eng., 1980, Vol III, p. 2481-2494.
50. Pennekamp, J.G.S., Booy, R., 1983. Simulation of flow in rivers and tidal channels with an implicit finite difference method of the ADI-type. Delft Univ. of Techn., Dept. of Civil Eng., Lab. of Fluid Mech., report no. 3-83.
51. Pennekamp, J.G.S., Booy, R., 1984. Improved simulation of main flow and secondary flow in a curved open channel. Delft Univ. of Techn., Dept. of Civil Eng., Lab. of Fluid Mech., report no. 184.
52. Putnam, J.A., Johnson, J.W., 1949. The dissipation of wave energy by bottom friction. Trans. Am. Geophys. Union, Vol. 30, no. 1, p. 67-74.
53. Rijkswaterstaat Deltadiensl. 1981. Getijkrommen voor het Oosterschelde gebied bij gemiddeld doodtij; gemiddeld tij en gemiddeld springtij na gereedkomen van de stormvloedkering en de kompartimenteringsdammen. Nota DDWT-82 010, Rijkswaterstaat.
54. Rijkswaterstaat Provincie Zeeland. 1982. Stuurgroep Oosterschelde "Beleidsplan voor de Oosterschelde".
55. Rijkswaterstaat Deltadiensl. 1986. Driemaandelijks Bericht Deltawerken, nummer 117, augustus 1986.
56. Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren. 1986. Te verwachten ontwikkelingen in het Oosterscheldebekken na 1987. Nota GWAO-86 106.
57. Roos, A., Dijk, R.P., Vincant, J., 1985. Overzicht van bij de Deltadiensl en District Kust en Zee in gebruik zijnde Waqua modellen. Nota WWKZ 85 G005, Rijkswaterstaat.
58. School, P.M., van Eerd, M.M., 1985. Toekomstige ontwikkeling van de schorggebieden in de Oosterschelde: Proces onderzoek schorsystemen. Nota DDMI85 23, Rijkswaterstaat.
59. Stejaart, F., 1986. Het functioneren van mosselparcels in de Oosterschelde. GWAO 86 114, Rijkswaterstaat.
60. Steijn, R.C., 1986. Schematisatie van randvoorwaarden. Notitie WL, H0253/R1914, Delfts Hydr. Lab. (in prep.).
61. Stelling, G.S., 1984. On the construction of computational methods for shallow waterflow problems. R.W.S. Communications no. 35.

62. Van Alphen, J., 1982a. Toelichting bij het literatuuronderzoek met betrekking tot het dynamisch gedrag evenwicht van geulen, platen en slikken in een estuariene tidal inlet milieu. Geomor notitie DDWT 82 377, Rijkswaterstaat
63. Van Alphen, J., 1982b. De te verwachten veranderingen in het morfodynamisch gedrag van de Oosterschelde na het gereekomen van de stormvloedkering; literatuurstudie naar het morfodynamisch gedrag van estuaria. Geomor notia 83 01, Rijkswaterstaat
64. Van Banning, G.K.F.M., de Vriend, H.J., Boer, S., 1987. Schematization and validation of 2-DH mathematical models in coastal morphology. Paper presented at the Conference Coastal Sediments '87 held in New Orleans, USA
65. Van Belzen, G., 1984. Boringen Galgeplaat, Rattekaai en Roggenplaat. Nota KZV 1984, Rijkswaterstaat
66. Van Berk, A.H., 1987. De geschiedenis van het Tijverschil bij Yerseke. Notitie GWW587.167, Rijkswaterstaat
67. Van den Berg, J.H., Kohseik, L.H.M., Misdorp, R., Visser, J., 1982. Projectplan Geomor. Nota DDWI-82 11, DDWT-82 012, Rijkswaterstaat
68. Van den Berg, J.H., 1984a. Testmetingen ten behoeve van veldmodel Comor. Onderdeel meetplan Geomor. Nota DDWTZ 84 267, Rijkswaterstaat
69. Van den Berg, J.H., 1984b. Testmetingen ten behoeve van Comor-meetplan tweede gedeelte. Notitie DDWTZ 84.402, Rijkswaterstaat
70. Van den Berg, J.H., 1984c. Verslag meting I veldmodel Comor Galge/Vondelingsplaat. Notitie DDWTZ 84 564, Rijkswaterstaat
71. Van den Berg, J.H., 1984d. Verslag meting II voor veldmodel Comor Galge/Vondelingsplaat. Notitie DDWTZ 84 730, Rijkswaterstaat
72. Van den Berg, J.H., 1985a. Meting en berekening van bodemtransport in een megaribbelveld ten noorden van de Galgeplaat, Oosterschelde. Notitie DDWT-85 023, Rijkswaterstaat
73. Van den Berg, J.H., 1985b. Stroom zandmeting in toekomstige ontgrondingskuil Hammen-Oost. Notitie DDWTZ 85 628, Rijkswaterstaat
74. Van den Berg, J.H., 1986. Aspects of sediment- and morphodynamics of subtidal deposits of the Oosterschelde. R.W.S.; Communications no 43
75. Van den Berg, J.H., 1987. Zandimport door de Stormvloedkering, een eerste indicatie. Notitie DDWTZ 87.255, Rijkswaterstaat
76. Van Dierendonck, H.M., Okkerman, J.A., 1982. Boven pleistocene en holocene geologische opbouw van het Oosterschelde bekken. Taalgroep sedimentologie Rijksuniversiteit Utrecht
77. Van der Linden, M., 1986. Golt/dempende constructies, Deel II. Evaluatie van de drijvende golt/dempende constructies in het Grevelingenmeer. Delfse universitaire Pers
78. Van Rijn, L.C., 1982. Equivalent roughness of alluvial bed. Journ. of the Hydr. Div. ASCE, HY10.
79. Van Rijn, L.C., 1984a. Sedimenttransport. Part I: Bed load transport. Journ. of Hydr. Eng., 110(10) p. 1431-1456
80. Van Rijn, L.C., 1984b. Sedimenttransport. Part II: Suspended load transport. Journ. of Hydr. Eng., 110(11) p. 1613-1641.
81. Van Rijn, L.C., 1984c. Sedimenttransport. Part III: Bed forms and alluvial roughness. Journ. of Hydr. Eng., 110(12), p. 1733-1754.
82. Van Veen, J., 1950. Eb- en vloedscharen-systemen in de Nederlandse getijdenwateren. Tijdschrift KNAG., Vol 67 (2), p. 303-325.
83. Van Vessum, P., 1984a. Selectie meetdagen ten behoeve van Comor, Hiswa en Doos2. Nota WWKZ-84G 284, Rijkswaterstaat
84. Van Vessum, P., 1984b. Selectie meetdagen ten behoeve van Comor, Hiswa en Doos2. Nota WWKZ 84G 293, Rijkswaterstaat
85. Vos, P.C., 1983a. Voortgangsrapport over het onderzoek naar de relatie tussen het microfytobenthos en erosie/sedimentatie processen op de Galgeplaat (Oosterschelde)
86. Vos, P.C., 1983b. De sediment stabiliserende werking van benthische diatomeeën in het intergetijde gebied van de Oosterschelde
87. Vos, P.C., 1984. De mini stroom carousel. Notitie DDWI 84 232, Rijkswaterstaat
88. Vos, F.J., 1985. Verslag zandmetingen nabij Gorshoek en Mastgal in maart-april 1985. Notitie DDWTZ 85.549, Rijkswaterstaat
89. Vos, F.J., 1986a. Verslag zandmetingen in de referentie raaien van het Mastgal en de Oosterschelde bij Gorshoek januari-februari 1986, bij gedeelte gedempt getij. Notitie DDWTZ 86.278, Rijkswaterstaat
90. Vos, F.J., 1986b. Verslag stroommeting Engels Vaarwater, 21 Januari 1986. Notitie DDWTZ 86.312, Rijkswaterstaat
91. Vos, F.J., Van den Berg, J.H., 1984. Meetplan relatie bodem suspensie transport. Notitie DDWTZ 84 365, Rijkswaterstaat
92. Vos, P.C., Buth, L.W., 1985. Het meten van de sedimentstabiliserende werking van benthonische diatomeeën met behulp van de mini stroom carousel. Notitie DGW 85 234, Rijkswaterstaat
93. Vranken, M., 1987. De korrelgrootte verdeling van de bodem binnen het Oosterschelde bekken. (in prep.)
94. Wilderom, M.H., 1964. Tussen afsluiddijken en deltadijken II. Noord-Zeeland. Middelburg, p. 415
95. Wolff, W., Post, J.K., 1979. Oosterschelde het leven in en om het water. Alphen a/d Rijn, p. 206
96. Zagwijn, W.H., 1986. Geologie van Nederland I. Nederland in het Holocene. Staatsuitgeverij, Den Haag

Dankwoord

In de ruim 5 jaar dat het project Geomor heeft geduurd, hebben vele personen een bijdrage geleverd. Aan allen zijn de samenstellers van dit eindrapport dank verschuldigd. Met name:

- * Dr. J. van den Berg, Drs. R. Misdorp en Drs. J. Visser als grote animators van het projektteam Geomor en als kritische lezers van dit eindrapport;
- * Dr. J. Dronkers, Ir. Tj. de Haan, Dr. M. Knoester, Ir. F. Kwak, Ir. H. Mulder, Drs. F. Steyaert, Ir. W. Venis, Ir. J. Voogt, of voor hun kritische vragen tijdens de uitvoering van het projekt als lid van de begeleidingsgroep en/of hun commentaar en waardevolle suggesties op dit eindrapport;
- * Drs. H. J. Buist, Drs. P. Bloks, Drs. P. van Vessem, Drs. P. Vos, Ir. O. Oenema, Drs. L. Hazelhoff, Drs. H. Pronk, Drs. P. Nieuwenhuysen en Ir. W. van der Zwan voor hun sterke inhoudelijke inbreng en/of hun bijdrage aan het onder controle houden van de vele miljoenen meetgegevens;
- * Dr. Ir. H. de Vriend, Ir. G. van Banning, Drs. H. Vogel en Ir. R. Steyn voor hun creatieve inbreng bij de interpretatie en simulatie van morfologische processen (COMOR). J. Hoekema, L. Walburg, A. Hokke en R. van Dijk voor hun toegewijde inspanningen bij het uitvoeren van de vele productieruns met de modellen WAQUA, HISWA, en, voor de eerste maal, met het model COMOR.
- * Ir. J. Pennekamp, Drs. R. Booy en Prof. Dr. Ir. J. Kalkwijk voor het leggen van de theoretische grondslag voor, en de wiskundige simulatie van bochtstroming in getijdegeulen (SECFLO);
- * Ing. R. Buysrogge, Ing. F. de Vos en P. J. de Wit voor de organisatie en uitvoering van metingen en/of de verwerking van alle contracten, opdrachten etc.;
- * Ing. J. de Jong, J. Siereveld, C. Joosse, H. Boer, H. Hiemstra, R. Vonk, J. Moerman, A. Lawalata, G. Lamers, L. Buth, K. de Dreu, Ing. A. Westdijk, W. Verlinde, J. van het Westeinde, A. Hartoog, L. van Daalen, A. van Oosten, G. Visser, W. Bil, Ing. W. Schreurs, de scheepsbemanningen van de Meetdiensten en de mensen van het VCZ en Instrumentatie in Zierikzee, zonder wie de metingen bij nacht en ontij, zomer en winter, absoluut niet hadden kunnen worden uitgevoerd; metingen die de onmisbare basis hebben gevormd voor het toetsen van de hypothesen, modellen en voorspellingen.
- * Ing. D. van Maldegem, vliegende keeper in de slotfase van de totstandkoming van het eindrapport;
- * onze echtgenotes c.q. vriendinnen voor hun steun tijdens de vele extra uren die de produktie van dit eindrapport heeft gekost.