

# **Verandering van de morfologie van de Oosterschelde door de aanleg van de stormvloedkering**

Werkdocument RIKZ/OS/2003.810x

Annika W. Hesselink (OSD)  
Dirk C. van Maldegem (ABD)  
Kees van der Male (ABD)  
Bram Schouwenaar (ABD)

Februari 2003

## 1. Inleiding

Ten behoeve van de Tweede Evaluatie van het Nederlandse Kustvisserijbeleid, EVAII is er een onderzoeksprogramma opgesteld, in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij en het Ministerie van Rijkswaterstaat. Voor de Nederlandse delta heeft dit onder andere geresulteerd in een draagkrachtstudie van de Oosterschelde voor schelpdieren, uitgevoerd door het RIKZ en het RIVO. Deze studie moet resulteren in een verbetering van de berekeningsmethodiek van de voedselreservering in de Oosterschelde. Daarbij moet rekening gehouden worden met:

- het effect van veranderingen in geomorfologie en hydrodynamiek op broedval en overleving van kokkels in de Oosterschelde;
- het effect van veranderingen in zoetwaterbelasting op de draagkracht van de Oosterschelde;
- het effect van de ontwikkeling van de Japanse oester op kokkels.

Dit werkdocument beperkt zich tot het beschrijven de autonome morfologische ontwikkeling van de Oosterschelde na de aanleg van de stormvloedkering. Door Geurts van Kessel (2003) worden het effect dat deze veranderingen op het habitat van schelpdieren in de Oosterschelde hebben, doorvertaald.

Door de aanleg van de stormvloedkering in de monding van de Oosterschelde is het dynamisch evenwicht verstoord, met als gevolg dat de platen en slikken netto eroderen totdat een nieuwe evenwichtssituatie wordt bereikt en de geulen zijn opgevuld met sediment. Tot die tijd lijdt de Oosterschelde aan zandhonger. In die nieuwe evenwichtssituatie zal de Oosterschelde dus uit brede, relatief ondiepe geulen bestaan, waartussen en waarlangs nog slechts kleine platen en weinig slikken aanwezig zullen zijn. Door de afbraak van platen en slikken moet er vanuit de gebruiksfuncties (natuur, visserij) van de Oosterschelde rekening worden gehouden met:

- verkleining van de draagkracht van het watersysteem voor kokkels, die immers gebonden zijn aan het voorkomen van platen en slikken en
- een verschuiving van mogelijke locaties voor mossel- en kokkelproductie.

Om het effect van de morfologie op de broedval en overleving van kokkels te voorspellen zijn de volgende vragen geformuleerd:

- 1) In hoeverre is het areaal intergetijdegebied en geulranden in de Oosterschelde achteruit gegaan na de aanleg van de stormvloedkering?
- 2) Hoe zal het areaal intergetijdegebied en geulranden in de Oosterschelde in de nabije toekomst veranderen?

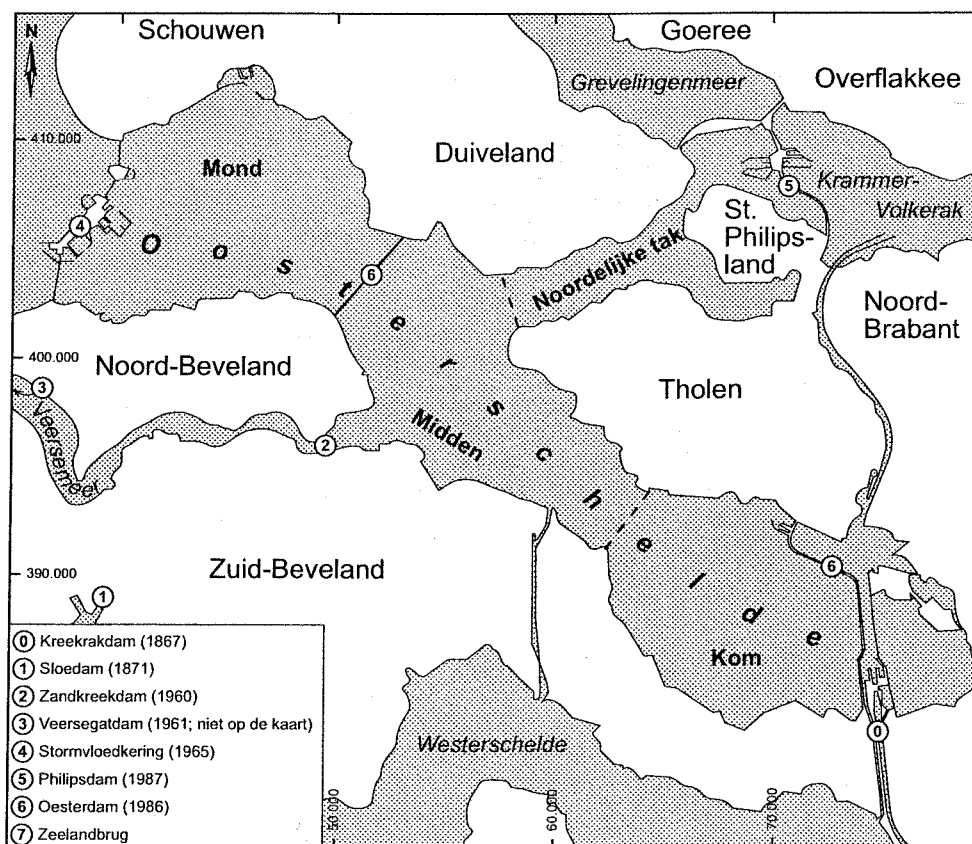
In dit werkdocument beperken wij ons tot het reconstrueren van de morfologische veranderingen van het intergetijdegebied (gebied boven de gemiddeld laagwaterlijn) en het ondiepwatergebied (gebied tussen NAP -8m en de gemiddeld laagwaterlijn) van de Oosterschelde sinds 1983. Omdat beneden NAP -8m geen kokkelbroedval meer kan optreden wordt deze grens als ondergrens gehanteerd. Voor de voorspelling van het areaal intergetijdegebied in nabije toekomst wordt uitgegaan van de Oosterschelde in 2010. Dit jaartal is gekozen omdat binnen EVAII een voorspelling wordt gemaakt van het voorkomen van kokkels in de Oosterschelde voor 2010, met behulp van het binnen EVAII ontwikkelde habitatsmodel. In het werkdocument dat als basis dient voor het bekkenrapport Oosterschelde wordt nader ingegaan op de oorzaken van de morfologische verandering na de aanleg van de stormvloedkering en de foutenvoortplanting in de gebruikte methoden.



## 2. Gebiedsbeschrijving

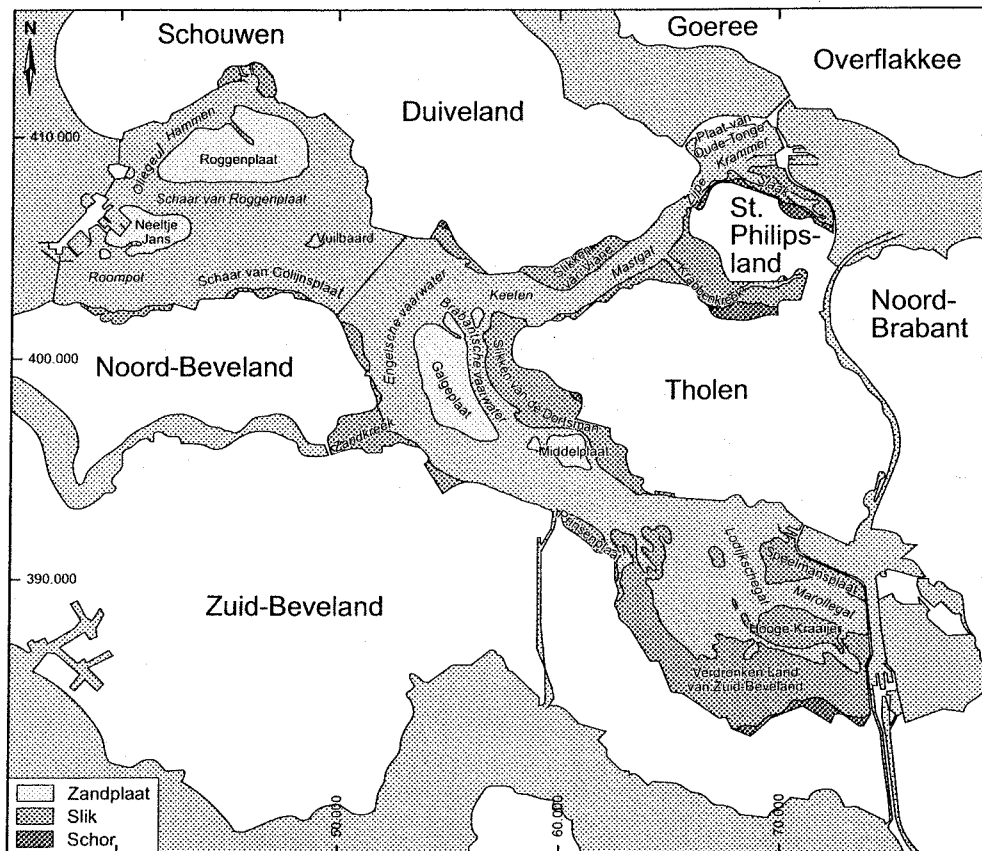
De Oosterschelde (Figuur 1) maakt onderdeel uit van een verzameling watersystemen, die gezamenlijk de Nederlandse delta vormen. Naast de Westerschelde en de Voordelta als getijdesystemen, bestaat de Delta uit de stagnante wateren Grevelingen (zout), Zoommeer, Markiezaatmeer en Krammer-Volkerak (zoet) en de semi-stagnante wateren Veerse Meer (brak/zout), Haringvliet, Biesbosch en Hollands Diep (zoet).

De Oosterschelde wordt op grond van de waterloopkundige en morfologische eigenschappen in vier deelgebieden opgedeeld (Figuur1). Het gebied tussen de stormvloedkering en de Zeelandbrug wordt in dit werkdocument Monding genoemd. In sommige beschrijvingen wordt dit deel van de Westerschelde ook wel aangeduid als West (bijv. #verw). De grens tussen de verschillende deelgebieden ligt in de verschillende hieraan voorafgaande studies met altijd op dezelfde locatie. Dit betekent dat de arealen slikken, schorren en ondiepe geulen zoals berekend in de verschillende studies niet met elkaar vergeleken mogen worden.



**Figuur 1** Ligging van de Oosterschelde. De Oosterschelde is opgedeeld in 4 compartimenten: Monding, Midden, Noordelijke tak en Kom.

In de Oosterschelde zijn als morfologische eenheden duidelijk herkenbaar: geul, plaat, slik en schor (Figuur 2). Het gebied van de eenheden plaat, slik en schor tussen gemiddeld laagwater (GLW) en gemiddeld hoogwater (GHW) wordt het intergetijdegebied genoemd. De grootte van het intergetijdegebied in de Oosterschelde varieert sterk. Soms ligt er voor de dijk slechts een aantal meters breed slik. Er zijn ook gebieden met een voorliggend schor en een slik van een breedte van honderden meters.



**Figuur 2** Locatie van de platen, slikken en schorren in de Oosterschelde in 2001.

De ontwikkeling en de dimensies van het intergetijdegebied wordt bepaald door de wisselwerking tussen eroderende en sediment transporterende krachten als golven en stroming (aangedreven door getij en wind) en weerstandskrachten als korrelgrootte en cohesie van het sediment.

De eroderende en sediment transporterende krachten kennen een duidelijke ruimtelijke differentiatie:

- *stroomsnelheden* zijn in de Monding het grootst en in de Kom het kleinst (#verw);
- *getijverschil* is in de Monding het kleinst en in de Kom het grootst (#verw);
- *golfhoogte* zal als gevolg van de overheersende windrichting vanuit het westen, aan de westzijde van een plaat of slik groter zijn dan aan de oostzijde (#verw).

Ook de belangrijkste weerstandskrachten hebben een ruimtelijke component:

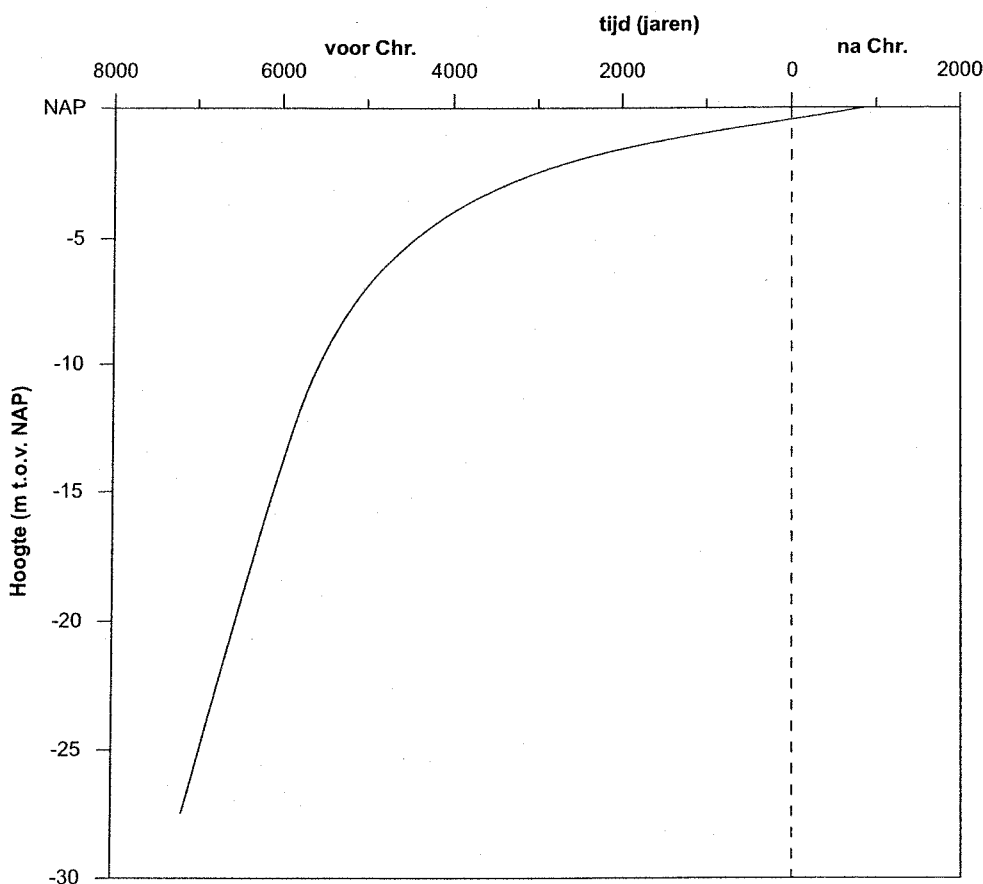
- *korrelgrootte* neemt van de Monding in de richting van de Kom af (#verw);
- *resistente afzettingen* zoals klei- en veenlagen komen voornamelijk achterin het bekken voor, waar zij bepalend zijn voor het voorkomen en de vorm van de slikken (#verw);

### 3. Ontstaan Oosterschelde

#### 3.1 Geologische ontwikkeling

De Oosterschelde heeft in de loop van de tijd een enorme gedaanteverwisseling ondergaan. In de laatste ijstijd (Weichselien, 110,000 - 9000 voor Chr.) was de Noordzee droog gevallen. Het zuidwestelijke deel van Nederland was een poolwoestijn. De Schelde waterde in noordwaartse richting af op voorlopers van de Rijn en de Maas.

Tijdens het Holoceen (9000 voor Chr. – heden) steeg de gemiddelde jaartemperatuur op aarde. Het landijs aan de polen smolt af, waardoor de zeespiegel wereldwijd steeg. In Zeeland was de zeespiegelstijging aan het begin van het Holoceen meer dan 75 cm per eeuw. Dit nam in de loop van het Holoceen af tot ongeveer 5 cm in de afgelopen eeuwen (Figuur 3) (NITG).



Figuur 3 Holocene zeespiegelstijging in Zuidwest Nederland

Omstreeks 6700 voor Chr. was het laagste deel van Zeeland een intergetijdegebied (Figuur 4a). Achter het intergetijdegebied ontstonden lagunes omdat hier de natuurlijke opslibbing achterbleef bij de zeespiegelstijging. Dit werd veroorzaakt doordat de getijslag

werd gedemd door de voor de lagune liggende zandplaten. De geringe getijdewerking in de lagune was ook het gevolg van de kleinere getijslag (= verschil tussen gemiddeld hoog- en laagwater) voor de Noordzeekust in het begin van het Holoceen. De Schelde monde nog steeds uit in de voorlopers van de Rijn en de Maas. Pas rond 5500 voor Chr. verlegde de Schelde haar loop en stroomde vanaf dat moment direct naar zee.

Als gevolg van de zeespiegelstijging schoof het intergetijdegebied in landwaartse richting op. Rond 5500 voor Chr. was meer dan de helft van Zeeland veranderd in een intergetijde- of veengebied. Door de afnemende zeespiegelstijging (Figuur 3) kon de opslibbing de zeespiegelstijging bijhouden, waardoor in het Schelde estuarium slikken en schorren konden ontstaan (Figuur 4b).

Na 4400 voor Chr. begon het intergetijdegebied langzaam te verlanden. Plaatselijk begon veen op de slikken en de schorren te groeien. Rond 3100 voor Chr. verlande ook de getijdegeulen als gevolg van de sterke afname van de getijdestroming. Deze afname werd veroorzaakt door een verminderd getijvolume (= de hoeveelheid water die het bekken bij vloed in- en bij eb uitstroomt). Omdat het achterland niet goed meer kon afwateren via de dichtgeslibte geulen kon het veengebied zich sterk uitbreiden (Figuur 4c).

Rond 1800 voor Chr. was de hele delta met een dik veenpakket bedekt. Het veengebied werd door een duinenrij beschermd tegen de zee. De Schelde stroomde door het veenmoeras. De monding van de Schelde lag ongeveer op de plaats van de huidige Oosterschelde monding (Figuur 4d). Tot ongeveer 500 voor Chr. veranderde het gebied nauwelijks. In de monding van de Schelde was een klein intergetijdegebied ontwikkeld. Aangenomen wordt dat de Schelde een breedte had van minder dan 1 km. Dit is ongeveer 10 tot 20 % van de huidige afmeting van de Oosterschelde.

In de Romeinse Tijd (200 na Chr.) vestigde de mens zich op grote schaal op de veenkussens in Zeeland. Door het graven van sloten werd het natuurlijke ontwateringsproces van het veenpakket gestimuleerd (Figuur 4e). Met als gevolg dat het veenpakket inklonk. De maaiveldval werd verder gestimuleerd door veenaftgravingen. Lage delen van het veenpakket werden weer overstroomd en geulen begonnen zich in te snijden in het veen. Hierdoor verbeterde de afwatering van het achterland en begon ook in het achterland het maaiveld te dalen. Rond 350 na Chr. was daardoor het grootste deel van Zeeland veranderd in een uitgestrekt systeem van zeegaten en getijdegeulen (Figuur 4f). Het intergetijdegebied bleef zich uitbreiden. De monding van de Schelde werd steeds breder. Rond 750 na Chr. kwam in het zuidoostelijke deel van de delta (ten noorden van het Verdrongen land van Saeftinge) geleidelijk de geulverbinding tussen de Schelde en de Westerscheldemonding tot stand. Deze verbinding, de Honte, werd in latere eeuwen steeds belangrijker.

In de Middeleeuwen veranderde er veel in het zuidwestelijke deel van Nederland. In de 11<sup>e</sup> eeuw werden de eerste dijken aangelegd en in de 12<sup>e</sup> eeuw waren alle getijdegebieden omringd door een dijk (Figuur 4g). Door deze bescherming tegen stormvloeden nam de menselijke invloed in het gebied exponentieel toe. Grote delen van het land bleven dalen enerzijds door klink als gevolg van de continuerende en steeds beter wordende ontwateringstechnieken en anderzijds door veenaftgravingen. De lagere ligging ten opzichte van de zee had tot gevolg dat bij dijkdoorbraken tijdens stormvloeden, grote delen van het Scheldegebied overstroomd werden en voorgoed verloren gingen. In 1531 deed zich een van de meest dramatische vloedrampen voor, de



zogenaamde Felixvloed (Gottschalk, 1955). Vooral in het oostelijk deel van het Schelde-estuarium zijn toen grote stukken land aan de zee prijsgegeven, hierdoor ontstond het Verdrongen Land van Zuid-Beveland. De waterscheiding tussen de Oosterschelde en de Westerschelde werd verlegd en de Westerschelde begon een groot deel van het Schelde water naar zee af te voeren, ten koste van de afvoer via Oosterschelde (Figuur 4h).

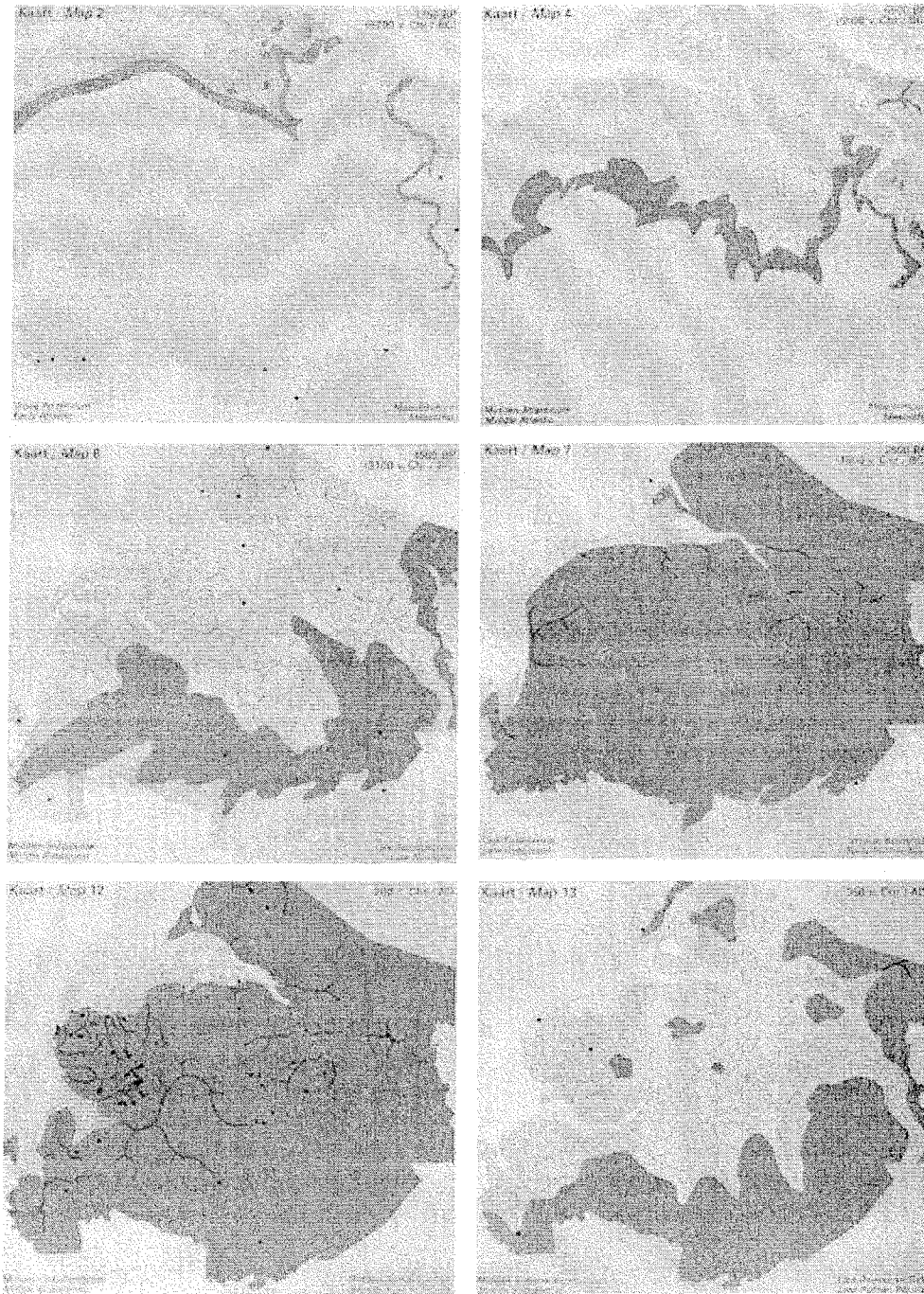
Aan het eind van de Middeleeuwen was ten gevolge van het landverlies in het Oosterschelde estuarium het getijvolume met miljoenen kubiek meters toegenomen. De monding van het Oosterscheldebekken, gevormd door de Hammen (Figuur 2) was te klein om het toegenomen getijvolume te verwerken. Als reactie past de Hammen aan, door een verdieping en verbreding (Figuur 4h). In de loop van de 14<sup>e</sup> en 15<sup>e</sup> eeuw ontwikkelde zich nabij de monding een tweede afvoergeul, de Roompot (Figuur 2). Hierdoor vormde de Hammen een grote meandergeul, met als resultaat dat de kustlijn ongeveer 4 km naar het noorden opschoof. Grote delen van de polders op Schouwen gingen daarbij verloren (Figuur 4i). In de 16<sup>e</sup> eeuw was de Oosterschelde uitgegroeid van een kleie zeearm in de Romeinse tijd tot een breed estuarium met getijdegeulen en zandplaten, slikken en schorren. In de loop van volgende eeuwen ging de aanpassing van de geulen aan de vergroting van het getijvolume door. Omdat zijwaartse uitbreiding van de geulen vaak niet mogelijk was door de aanwezigheid van dijken, werden de geulen dieper. Het Zijpe (Figuur 2) verdiepte meer dan 25 m in nog geen eeuw.

Vanaf het eind van de 19<sup>e</sup> eeuw werd de invloed van de mens steeds groter. In 1867 was de verbinding tussen de Oosterschelde en de Westerschelde verzand en werd deze definitief afgesloten toen de Kreekrak (Figuur 2) werd afgesloten door een spoordijk. In 1871 is de laatste verbinding tussen de Oosterschelde en de Westerschelde afgesloten met de aanleg van de spoordijk door de Sloe (Figuur 2). In de Oosterschelde zelf gingen men in die periode steeds meer bagger- en kanalisatiewerkzaamheden uitvoeren. Deze ingrepen veroorzaakten in de periode 1870 tot 1960 een getijvolumevergroting van ongeveer 15 %, dat een export van 340 miljoen m<sup>3</sup> zand uit de Oosterschelde naar de zee tot gevolg had (Van den Berg, 1986). Als reactie hierop ontstond in de monding een nieuwe geul, de Schaar van de Roggenplaat (Figuur 2, 4j).

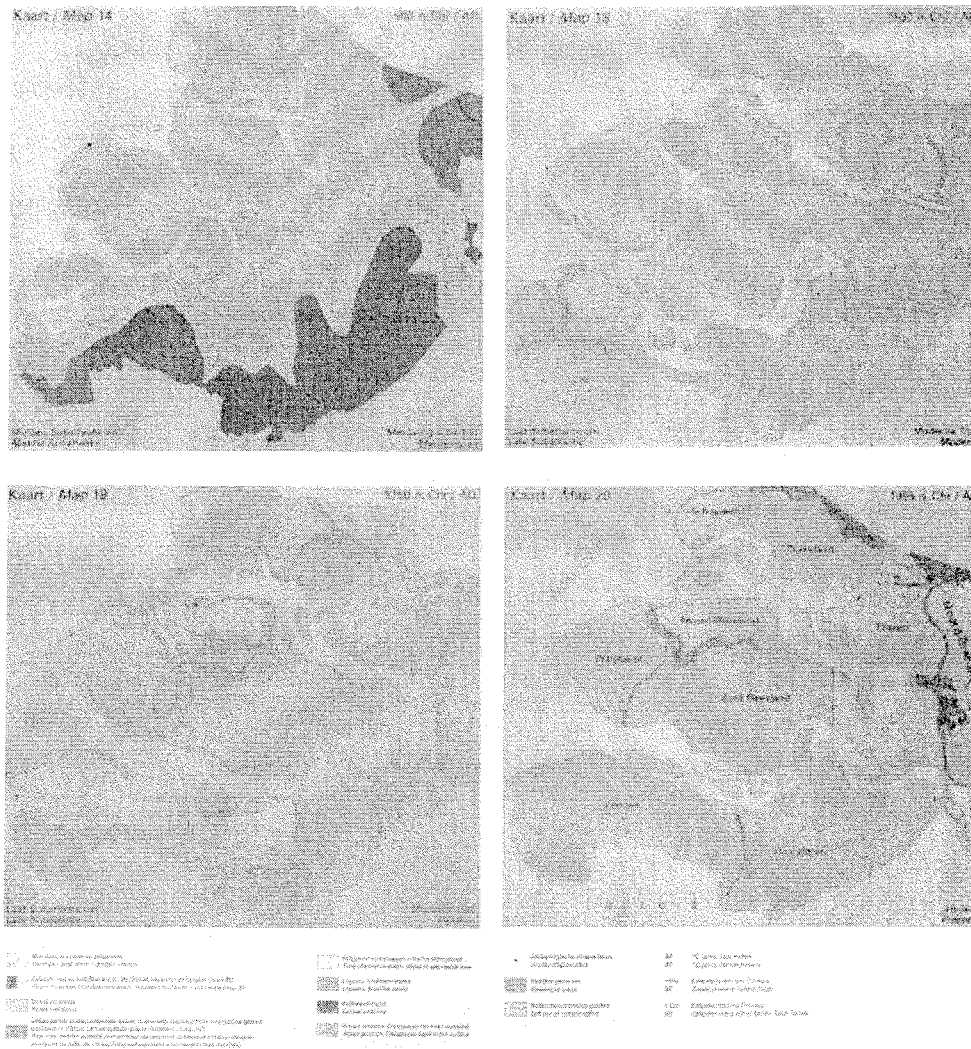
### 3.2 Delta werken

Na de stormvloedramp van 1953 werd in 1959 begonnen met de bouw van de Deltawerken. In 1960 werd de Zandkreekdijk aangelegd (Figuur 1) en in 1961 werd het Veerse Gat van de Noordzee afgesloten na de aanleg van de Veersedijk. Als gevolg van de sluiting van de Grevelingen (1960-1964) en het Volkerak (1969) nam in de periode 1960-1983 het getijvolume van de Oosterschelde met 7.6% toe. De aanleg van de Volkerakdam had ook een sterke vermindering van Rijnwatertot gevolg.

In 1986 is begonnen met de bouw van de stormvloedkering (Figuur 1). Om een zo groot mogelijk getijverschil te behouden na de aanleg van de stormvloedkering zijn in het oostelijk deel van de Oosterschelde compartimenteringsdammen aangelegd. Deze verkleinden het bekkenvolume. De Oesterdam is aangelegd in 1986 en de Philipsdam in 1987 (Figuur 1), waarmee de Deltawerken waren voltooid. Achter deze dammen zijn de zoete meren Volkerak-Zoommeer en Markiezaatsmeer ontstaan. Via deze twee meren verbindt een getijvrije scheepvaartroute de havens van Rotterdam en Antwerpen. In 1993 is het Kanaal door Zuid-Beveland gegraven; slechts een sluis scheidt de Oosterschelde nu van de Westerschelde.

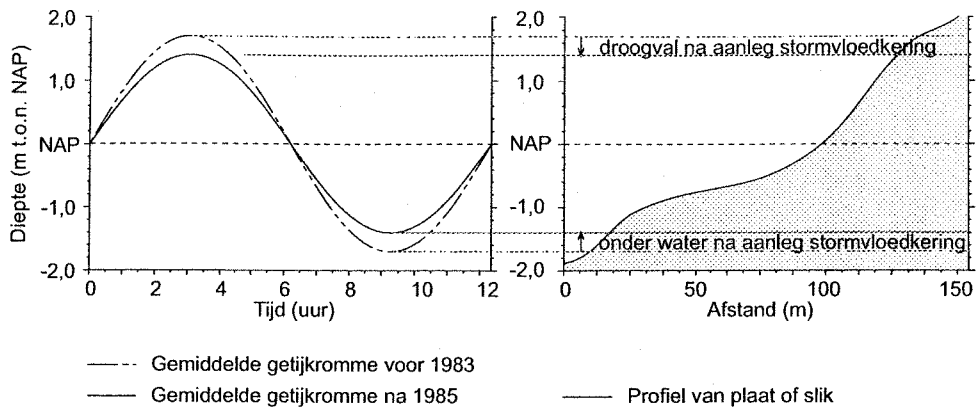


**Figuur 4** Ontwikkeling van het zuid-westelijke deel van Nederland van 9000 voor Chr. tot 1950 (#verw).



**Figuur 4** Ontwikkeling van het zuid-westelijke deel van Nederland van 9000 voor Chr. tot 1950 (#verw).

Als gevolg van de aanleg van de Oosterschelde en de Philipsdam is het oppervlakte van de Oosterschelde teruggebracht van 452 naar 351 km<sup>2</sup>. Ook het intergetijdgebied is kleiner geworden, van 183 naar 118 km<sup>2</sup>. Deze afname is ook veroorzaakt doordat het verschil tussen gemiddeld hoog- en laagwater kleiner is geworden na de aanleg van de stormvloedkering (Figuur 5). Hierdoor is zowel een gedeelte van de hoogstgelegen als de laagstgelegen intergetijdengebied verdwenen (Figuur 5).

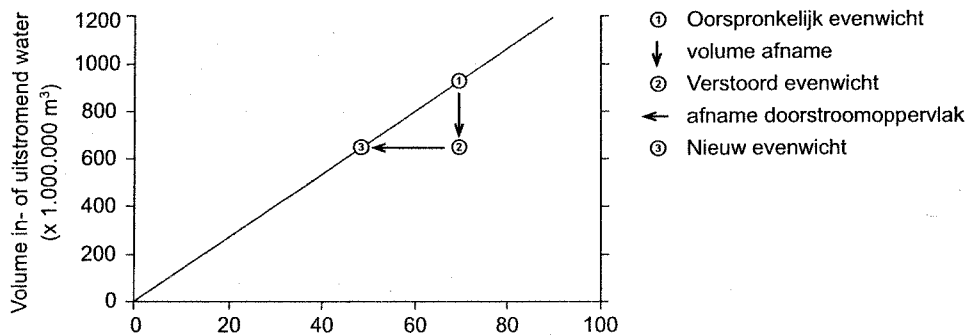


**Figuur 5** Het gemiddeld getijslag in de Oosterschelde nabij Yerseke voor en na de aanleg van de stormvloedkering.

## 4 Zandhonger

### 4.1 Wat is zandhonger?

Door de bouw van de stormvloedkering is het 'natuurlijk' systeem van de Oosterschelde verstoord. Door de aanleg van de stormvloedkering en de compartimenteringsdammen is er sprake van een vermindering van het getijvolume van 1230 naar 880 miljoen m<sup>3</sup>. Ook het getijverschil, het verschil tussen gemiddeld hoog- en laagwater is hierdoor afgenomen (Figuur 5). Bij Yerseke is de afname van het getijverschil gemiddeld 65 cm, van 3,70 m naar 3,25 m. De huidige afmetingen van de geulen zijn aan deze afname nog niet aangepast; het doorstroomoppervlak is nog 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 "zandhonger" (Figuur 6).



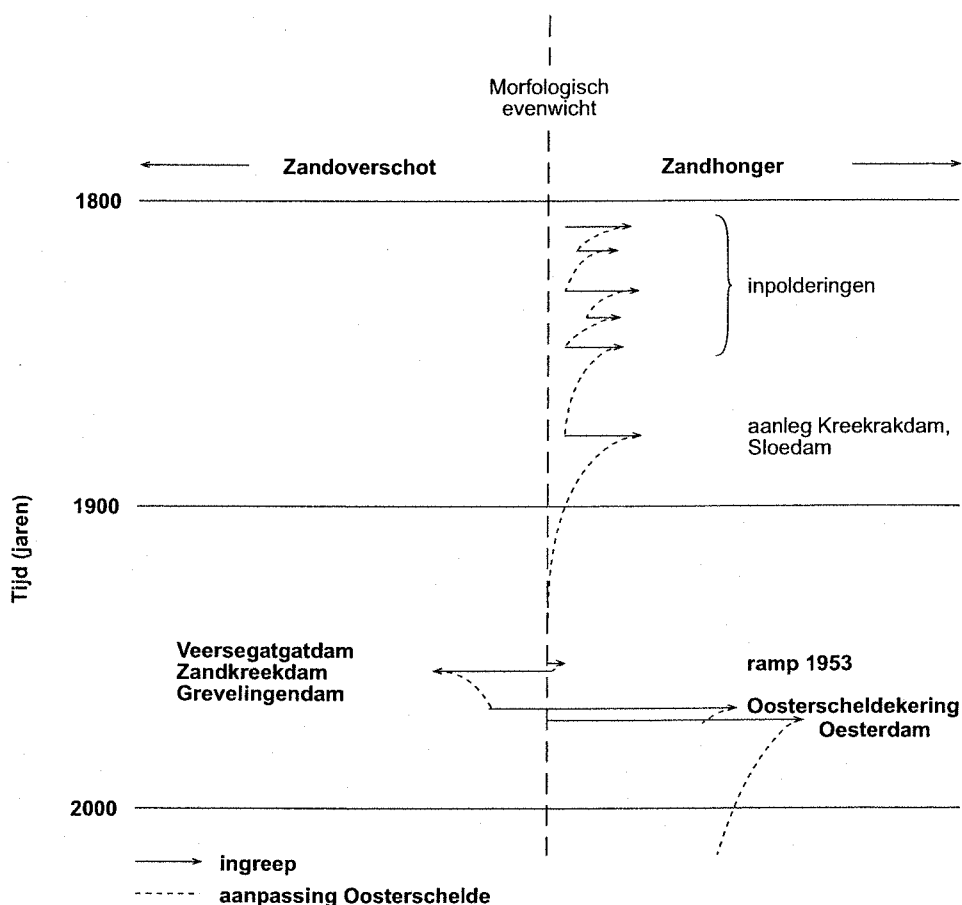
Figuur 6 Evenwichtsrelatie tussen getijvolume en doorstroomoppervlak (naar Kohsiek et al., 1987).

De zandhonger van de Oosterschelde is in verschillende studies berekend. Volgens Kohsiek et al. (1987) is de zandhonger ongeveer 400-600 miljoen m<sup>3</sup>. Na literatuuronderzoek heeft Van Maldegem (1998) de zandhonger van de Oosterschelde naar beneden bijgesteld, naar 400 miljoen m<sup>3</sup>. Uit GIS-berekeningen blijkt dat in 2100 de zandhonger nog ongeveer 300 miljoen m<sup>3</sup> is (Catalan, 1999). In de bovenstaande studies is echter geen rekening gehouden met de verwachte zeespiegelstijging. Er kan echter wel gesteld worden dat bij een relatief grote zeespiegelstijging, waarmee de zandimport geen gelijke tred houdt, de zandhonger zal toenemen. Door De Bock (2002) is aan de hand van inhoudsveranderingen van de Oosterschelde de ontwikkeling van de zandhonger geschetst. De onnauwkeurigheid van de inhoudsberekeningen is echter te groot om voor de relatief korte periode sinds de aanleg van de stormvloedkering uitspraken te doen over de ontwikkeling van de zandhonger van de Oosterschelde in de toekomst.

### 4.2 Ontwikkeling zandhonger in de tijd

In de afgelopen 1000 jaar is het systeem gedwongen zich aan te passen aan de vergroting van het getijvolume (zie § 3.1). Door de aanleg van de stormvloedkering is er sprake van het omgekeerde, een vermindering van het getijvolume. Uit het verleden is gebleken dat de Oosterschelde eeuwen nodig gehad om zich aan de vergroting van

het getijvolume aan te passen. Dit betekent dat de Oosterschelde ook nu eeuwen nodig zal hebben om zich aan te passen aan het nieuwe evenwicht. De mate van verstoring en de tijd die het de Oosterschelde kost om zich aan het nieuwe evenwicht aan te passen sinds 1800 is in Figuur 7 schematisch weergegeven.



Figuur 7 Ontwikkeling van de zandhonger in de Oosterschelde sinds 1800 (naar Roelse, 2002).

## 4.3 Bronnen van zand

### 4.3.1 Platen slikken en schorren

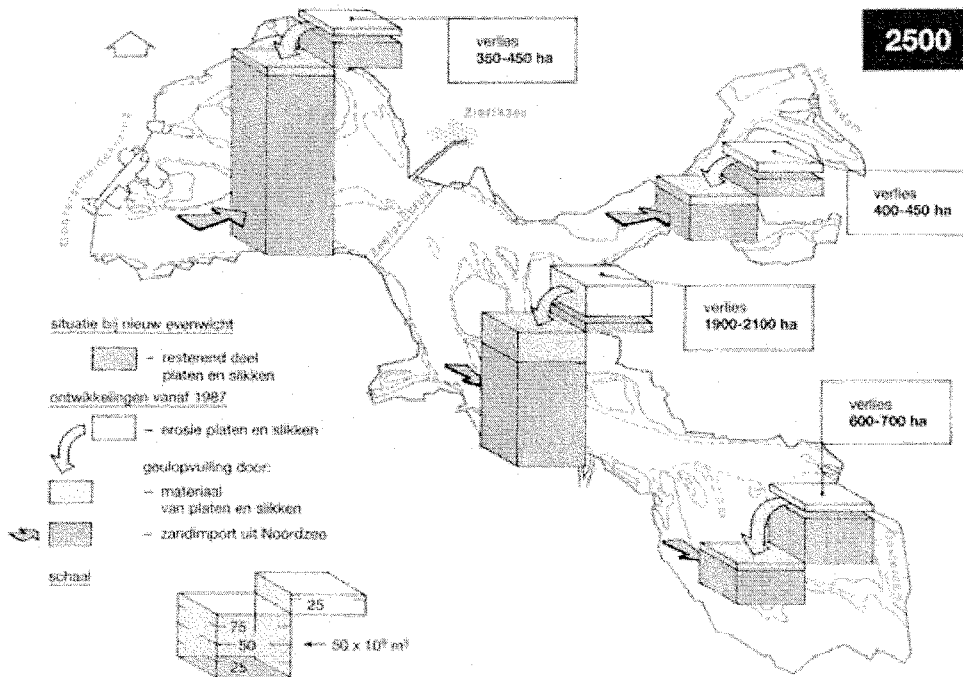
Vóór de aanleg van de stormvloedkering werden de platen en slikken opgebouwd tijdens omstandigheden met springtij en rustig weer. Afbraak vond plaats door de golfwerking gedurende storm. Na het gereedkomen van de stormvloedkering nam de gemiddelde stroomsnelheid (en de waterhoogte) af. Dit betekent dat de opbouw vanuit de geul drastisch afnam, terwijl de afbraak door de golven daarentegen gewoon doorging. Hierdoor zijn de platen en slikken netto geërodeerd. Door Kosiek et al. (1987) is geschat dat bij volledige afbraak de platen, slikken en schorren slechts 160 miljoen m<sup>3</sup> zand kunnen leveren. Dit betekent een verlies van 3000 tot 3500 ha plaat- en slikareaal.

### 4.3.2 Noordzee

Een tweede mogelijkheid om de zandhonger van de Oosterschelde te stillen is de import van zand vanuit de Noordzee. Deze bron is echter heel klein. Door Kohsiek et al. (1987) is geschat dat de zandimport door de kering ongeveer 1 miljoen m<sup>3</sup> zand per jaar is, dit was 2 miljoen m<sup>3</sup> zand per jaar voor de aanleg van de stormvloedkering (Smaal en Boeije, 1991). Dit betekent dat het 4 tot 6 eeuwen gaat duren voordat de zandhonger van de Oosterschelde door import van zand uit de Noordzee is gestild. Uit sedimenttransportmetingen is echter gebleken dat er na de bouw van de stormvloedkering zelfs tijdens storm nauwelijks sediment de Oosterschelde in wordt getransporteerd (Ten Brinke, 1990). Dat de import van zand uit de Noordzee te verwaarlozen is, wordt ook bevestigd door de sterke groei van de Voordelta sinds de aanleg van de stormvloedkering (De Bock, 2002).

### 4.3.3 De Oosterschelde aangepast aan een nieuw evenwicht

De maximaal mogelijke afbraak van platen, slikken en schorren kan slechts 160 miljoen m<sup>3</sup> zand leveren om de zandhonger van de Oosterschelde te stillen. Er is echter veel meer zand nodig. Hiervan uitgaande voorspelde Kohsiek et al. (1987) een Oosterschelde nagenoeg zonder slikken en schorren (Figuur 8). Het werkelijke eindbeeld wordt echter mede bepaald door de omvang van de mogelijke zandimport vanuit de Noordzee en het verloop van de afbraaksnelheid van platen en slikken (Kohsiek et al., 1987).



**Figuur 8** Een hypothetisch toekomst beeld van de Oosterschelde volgens Kohsiek et al. (1987)

## 5 Methode

### 5.1 Hoogte en diepte

#### 5.1.1 1983-heden

De verschuiving in morfologische processen die plaatsvinden als gevolg van de aanleg van de Oosterscheldewerken zal gevolg hebben voor het plaat- en slikareaal. Om deze gevolgen voor de gehele Oosterschelde te kwantificeren zijn drie gebiedsdekkende hoogte-/ dieptekaarten van de Oosterschelde gemaakt. De hoogtes en diepten zoals weergegeven op deze kaarten zijn op verschillende manieren verzameld:

- *vaklodgingen*. In het MWTL monitoringsprogramma van Rijkswaterstaat worden geulen opgenomen met zogenaamde vaklodgingen. Er is aangenomen dat de fout ongeveer  $\pm 10$  cm is voor de plaatranden. De fout wordt groter naarmate de overgang steiler wordt en het water dieper, tot maximaal 5 dm.
- *waterpassingen*. In hetzelfde monitoringsprogramma worden de platen, slikken en schorren opgenomen met behulp van waterpassingen. Er is aangenomen dat de fout ongeveer  $\pm 10$  cm is.
- *laseraltimetrie*. Door middel van laseropnames met een vliegtuig wordt de hoogte van de platen, slikken en schorren bepaald. De resultaten van de laseraltimetrie zijn nauwkeuriger en meer gedetailleerd dan de vaklodgingen en de waterpassingen. Er is aangenomen dat de fout ongeveer  $\pm 5$  cm is, uitgezonderd gebieden met vegetatie waar de fout kan oplopen tot enkele dm's.

Door de diepte- en hoogtegegevens samen te voegen wordt één gebiedsdekkende kaart verkregen.

Voor dit onderzoek zijn de volgende gebiedsdekkende hoogte-/ dieptekaarten gebruikt:

- 1983, deze kaart is samengesteld uit de vaklodging van 1983 en de fotogrammetrie van de hooggelegen gebieden in 1983;
- 1993-1995, deze kaart is samengesteld uit de vaklodging van 1993-1995 en de waterpassingen van 1990-1991;
- 2001, deze kaart is samengesteld uit de vaklodging van 1997-2001 en de laseraltimetrie-meting van 2001/2002.

#### 5.1.2 Voorspelling 2010

De extrapolatie van de morfologische factoren in de tijd is gebaseerd op de morfologie van de Oosterschelde vóór (1983) en de morfologie van de Oosterschelde na (1993/1995, 2001) de aanleg van de stormvloedkering. De karakteristieke sedimentatie- en erosiesnelheid verschilt van plaats tot plaats en wordt bepaald door een combinatie van de drijvende krachten en de weerstandsbepalende factoren (zie § 2). Er is aangenomen dat door de aanpassingsnelheid van de Oosterschelde te extrapoleren aan de hand van de hoogte-/ dieptekaarten de karakteristieke plaatsgebonden sedimentatie- en erosieprocessen en de weerstandsbepalende factoren meegenomen worden in de prognose voor 2010.

Na verstoring van het evenwicht zal het systeem zich aan zijn nieuwe evenwichtssituatie gaan aanpassen. Deze aanpassingsnelheid is groot vlak na de verstoring. De



verwachting is dat de aanpassingssnelheid op lange termijn af zal nemen, als het systeem steeds meer zijn nieuwe evenwichtssituatie benadert (Koshiek et al., 1987). Volgens deze studie verloopt de afname exponentieel. De exponent verschilt van systeem tot systeem en van ingreep tot ingreep. In Tabel 1 is de aanpassingssnelheid van de morfologische ontwikkeling van de Oosterschelde volgens Koshiek et al. (1987) weergegeven. Zij hebben hun aanname gebaseerd op het verloop van de snelheid van de morfologische ontwikkelingen zoals gemeten in het estuarium van de Eider (Duitsland), die in 1936 gedeeltelijk werd afgedamd (#verw) en in de Grevelingen, na de afdamming in 1971 (#verw).

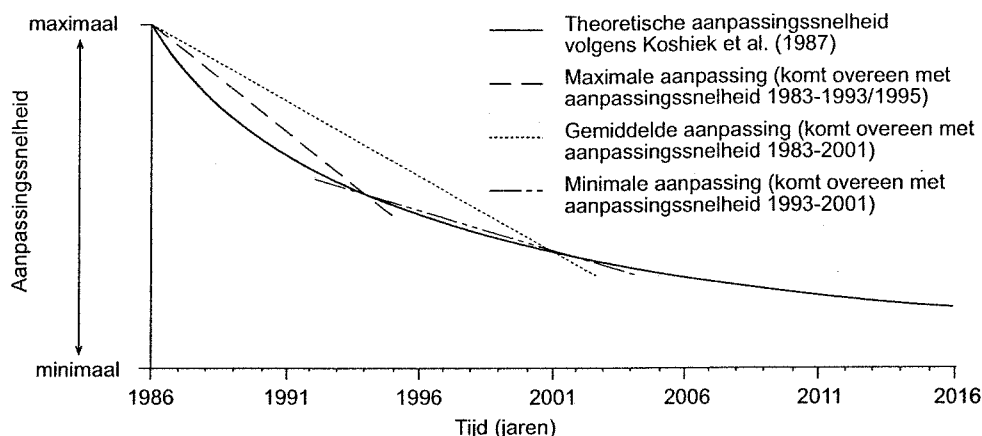
**Tabel 1** Aanpassingssnelheid van de Oosterschelde aan het nieuwe evenwicht (naar Koshiek et al., 1987)

Periode na de aanleg van de Stormvloedkering (jaar)	Percentage van de initiële aanpassingssnelheid (%)
0 – 5	95
5 – 30	65
30 – 100	34
100 – 200	4
> 200	0.1

In dit onderzoek zijn drie scenario's met betrekking tot de aanpassingssnelheid van het systeem aan het nieuwe evenwicht gedefinieerd (Figuur 9):

- *maximale aanpassing van het systeem.* De snelheid van aanpassing van de Oosterschelde in de periode 2002-2010 is gelijk aan de snelheid van aanpassing van de Oosterschelde in de periode 1983-1993/1995 (Figuur 9a).
- *gemiddelde aanpassing van het systeem.* De snelheid van aanpassing van de Oosterschelde in de periode 2002-2010 is gelijk aan de snelheid van aanpassing van de Oosterschelde in de periode 1983-2001 (Figuur 9b).
- *minimale aanpassing van het systeem.* De snelheid van aanpassing van de Oosterschelde in de periode 2002-2010 is gelijk aan de snelheid van aanpassing van de Oosterschelde in de periode 1993-2001 (Figuur 9c).

De gebiedsdekkende hoogte-/ dieptekaarten zijn verzameld in de periode dat de morfologische ontwikkeling van de Oosterschelde nagenoeg maximaal was (afname van 100% tot ongeveer 65% van de initiële sedimentatie- en erosiesnelheid). Ook in 2010 zal de aanpassingssnelheid van het systeem nog groter zijn dan de gemiddelde aanpassing. Daarom is er vanuit gegaan dat de voorspelling van de hoogte- en diepte van de Oosterschelde in 2010 moet worden gebaseerd op de aanpassing van het systeem in de periode 1983-2001.



**Figuur 9** Theoretische weergave van de aanpassingssnelheid van de Oosterschelde aan het nieuwe evenwicht.

## 5.2 Aanzanding en erosie

### 5.2.1 In de ruimte

De mate van aanzanding en erosie sinds de aanleg van de stormvloedkering verschilt van plaats tot plaats en is bepaald door de verschillende hoogte-/ diepte kaarten van elkaar af te trekken. Hierdoor ontstaat een duidelijk beeld waar sediment is verdwenen (erosie) en waar sediment is afgezet (aanzanding).

### 5.2.2 In de diepte

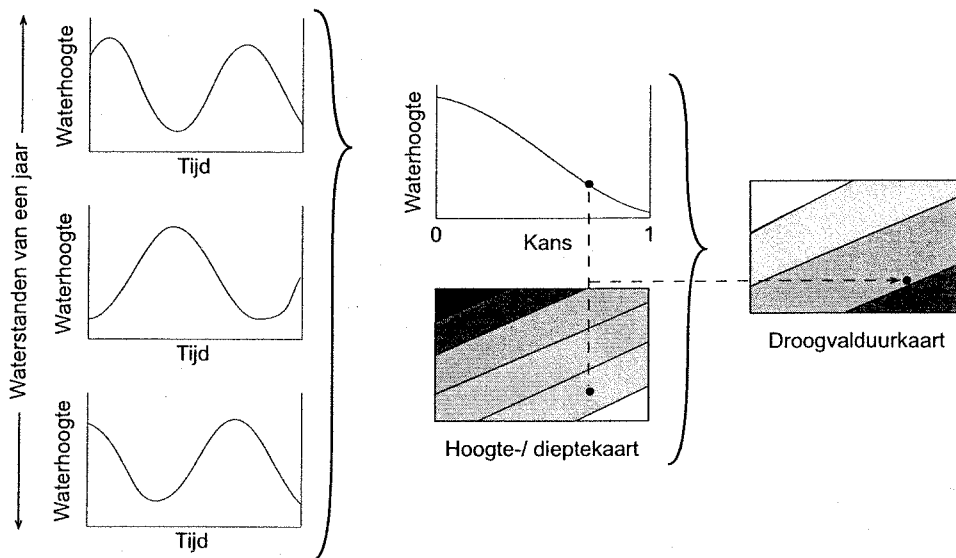
Voor het bepalen van de mate van aanzanding en erosie per dieptezone (strata) is de Oosterschelde is opgedeeld in verschillende dieptezones. Er is gekozen voor dieptezones van 2 dm dik (tussen NAP +1,8 m en NAP -2,0 m) en dieptezones van 2 m dik (tussen NAP 2,0 m en NAP -8,0 m). Door het areaal intergetijdegebied per dieptezone voor verschillende jaren met elkaar te vergelijken, is bepaald in welke hoogte/ dieptezones erosie en in welke hoogte/dieptezones sedimentatie optreedt.

## 5.3 Droogvalduur

Door veranderingen in hoogteligging en de reductie van het getijverschil verandert de droogvalduur (cq. overspoelingsduur) van het intergetijdegebied. Om deze veranderingen te kwantificeren is voor de drie gebiedsdekkende hoogte-/ diepte kaarten (1983, 1993, 2001) en de prognose van de hoogte-/ diepte kaart van de Oosterschelde (2010) de droogvalduur bepaald.

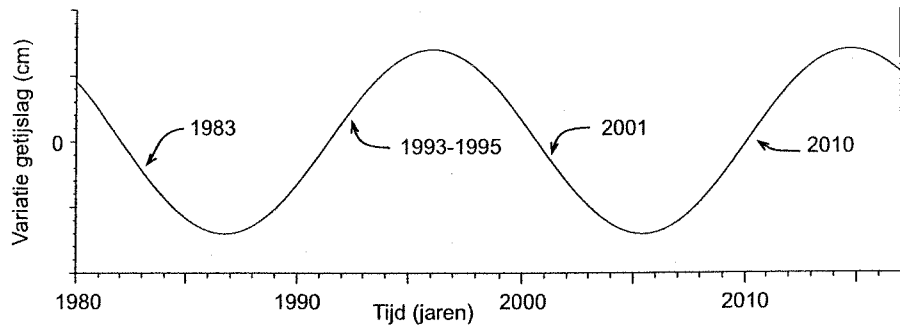
De tijdsduur dat een bepaalde oppervlakte intergetijdegebied droogvalt wordt bepaald in een aantal stappen (Figuur 10). Als eerste is de kans berekend dat een bepaalde waterstand op een bepaalde locatie gedurende een bepaalde tijdsperiode voorkomt. Hievoor zijn de waterstandsgegevens gebruikt die gedurende één jaar om de 10 minuten op verschillende locaties in de Oosterschelde worden gemeten. Door de verschillende waterstanden van een geheel jaar te analyseren zijn variaties in de waterstand ten gevolge van spring- en doottij, windkracht en -richting meegenomen

in de berekening van de droogvalduur. Na het bepalen van de kansverdeling is voor iedere hoogte van het intergetijdegebied de droogvalduur (in procenten) bepaald en kan de droogvalduurkaart worden gereconstrueerd. Voor 2010 is gebruik gemaakt van de waterstanden in 2001, dat wil zeggen dat er geen rekening is gehouden met aanpassingen van de stroomsnelheid aan een veranderde morfologie.



Figuur 10 Bepalen van de droogvalduur van een oppervlakte intergetijdegebied.

Omdat de getijomstandigheden niet altijd hetzelfde zijn als gevolg van astronomische en klimatologische effecten op de waterbeweging, moet hiermee rekening worden gehouden bij het voorspellen van de droogvalduur van de intergetijdegebieden in 2010. Onder invloed van de aantrekkingskrachten tussen zon, aarde en maan zal iedere 9,3 jaar de getijdeslag enkele cm's variëren (Figuur 11), bij West Kapelle is de variatie ongeveer 3 cm (Witteveen & Bosch, 19??). In Figuur 11 zijn de jaren geplot dat de hoogte en dieptegegevens zijn opgenomen, die als basis dienen voor de droogvalduurkaart. Ook de prognose van de hoogte en diepte van de Oosterschelde in 2010 is geplot in Figuur 11. De periode van opname blijkt samen te vallen met die momenten dat het netto-effect van de astronomische krachten op de getijslag te verwaarlozen is. De zeespiegelrijzing in de periode 2002-2010 is in de orde van 2 cm. Het effect hiervan op de waterstanden in de Oosterschelde is dus ook verwaarloosbaar (#verw).

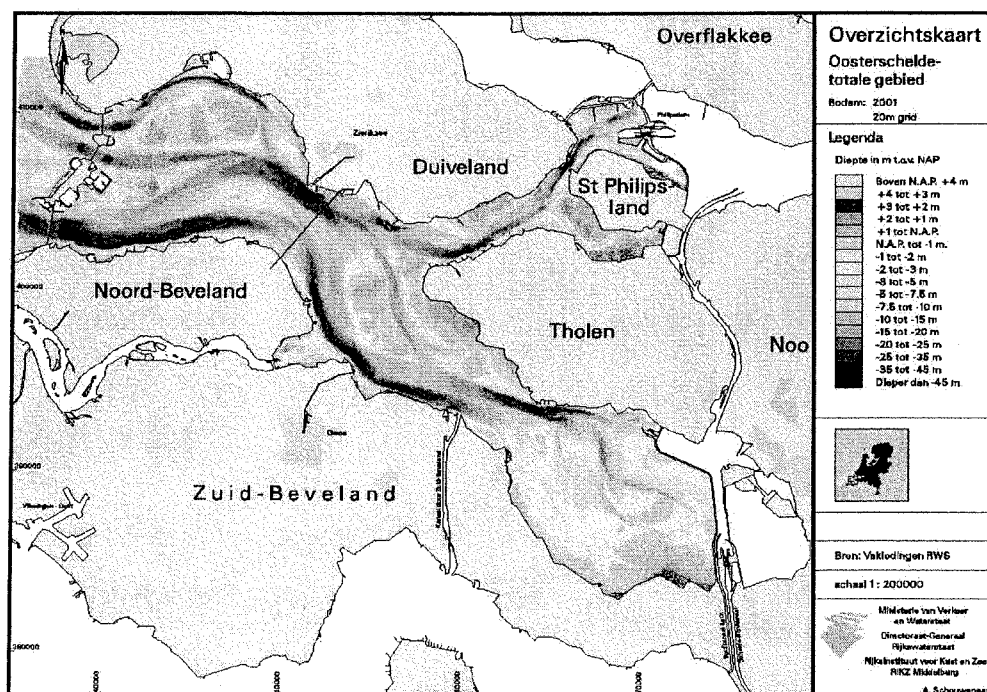


**Figuur 11** Invloed van de 18,6-jarige getij cyclus op de waterstanden in de Oosterschelde bij West Kapelle (naar Witteveen & Bosch, 19??). Aangegeven zijn de periode van opname van hoogte en diepten van de Oosterschelde.

## 6 Resultaten

### 6.1 Hoogte intergetijdegebied

In 2001 ligt het grootste deel van de in het deelgebied Monding (Roggeplaat, Neeltje Jans en de Middelploot) tussen NAP  $-1$  m en NAP  $+1$  m. Alleen de Vuilbaard en het Nunnen liggen lager, tussen NAP  $-1$  m en NAP  $-2$  m. Langs de Noord-Bevelandse oever komen gebieden voor tot een hoogte van NAP  $+1$  m (Figuur 12). Het deelgebied Midden ligt 25 cm lager dan het deelgebied Monding. De meeste platen (Galgeplaat, Vondelingsplaat, Middelploot) ligt tussen NAP  $-1$  m en NAP. De slikken liggen over het algemeen hoger dan de platen. De slikken van de Dortsman ligt tussen NAP  $-1$  m en NAP  $+1$  m. Het intergetijdegebied ten zuiden van de Zandkreek ligt voor een groot deel zelfs hoger dan NAP. Een uitzondering hierop zijn de slikken van Katseplaat, die voor een groot deel beneden NAP  $-1$  m liggen (Figuur 12). De intergetijdegebieden in de Noordelijke tak hebben een vergelijkbare hoogte als de intergetijdegebieden in het Midden-deel van de Oosterschelde. De slikken (Slikken van Viane, Slikken in het oostelijke deel van de Krabbenkreek, intergetijdegebied ten Noorden van Sint Philipsland) liggen tussen NAP en NAP  $+1$  m. De slikken in het westelijke deel van de Krabbenkreek hebben zelfs een hoogte van NAP  $+1$  m tot NAP  $+2$  m. Alleen het gebied ten zuiden van Krabbenkreek langs het Mastgat ligt beneden NAP (Figuur 12). De intergetijdegebieden in de Kom liggen het hoogst, op gemiddeld NAP  $+1,40$  m. Dit komt doordat het Verdronken Land van Zuid Beveland erg hoog ligt (tussen NAP  $-2$  m en NAP  $+3$  m). De Tarweplaat daarentegen ligt voor het grootste deel beneden NAP  $-1$  m. Ook de Yerseke Oesterbank ligt grotendeels beneden NAP  $-1$  m (Figuur 12).



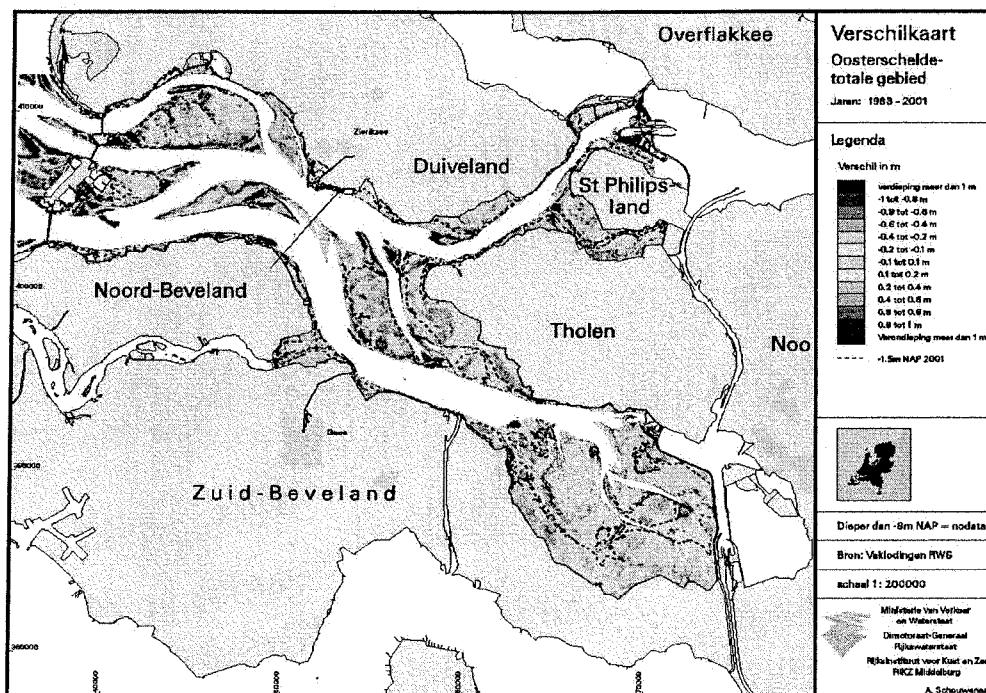
Figuur 12 Hoogte/ diepte kaart van de Oosterschelde in 2001

Voor de ogenomen jaren 1983, 1993-1995 en 2001 is de gemiddelde hoogte van het intergetijdegebied bepaald (Tabel 2). Sinds 1986 is er gemiddeld over het gehele bekken sprake van een netto erosie van het intergetijdegebied. Deze erosie heeft geleid tot afvlakking en een gemiddelde verlaging van het intergetijdegebied van 15 cm. Dit komt overeen met een afname in de gemiddelde hoogte van iets minder dan 1 cm per jaar. De veranderingen in Tabel 2 zijn significant.

Tabel 2 Gemiddelde hoogte intergetijdegebied in de periode 1983-2001 (m t.o.v. NAP)

	Monding	Midden	Noordelijke tak	Kom	Totaal
1983	1,28	1,12	1,04	1,54	1,21
1993	1,16	0,97	1,00	1,52	1,12
2001	1,15	0,90	0,93	1,40	1,05
Vershil 1983-2001	0,13	0,22	0,12	0,15	0,15

De centrale delen van de platen en slikken zijn het meest gevoelig voor erosie. De verlaging varieert hier tussen 0,2 en 1,0 m (Figuur 13, blauwe tinten). Lokaal wordt er zand gesedimenteerd op de platen en de slikken (tot 0,5 m). Het meeste sediment wordt afgezet rondom de platen en slikken, waar nabij de laagwaterlijn soms meer dan 1,0 m zand is afgezet (Figuur 13, rode zones om de platen en slikken, langs de geulen).



Figuur 13 Vershil hoogte/ diepte kaart 1983 en hoogte/ diepte kaart 2001 van de Oosterschelde

## 6.2 Oppervlakte en volume intergetijdegebied

Door veranderingen in hoogteligging en afvlakking van het intergetijdegebied is dit gebied 942 ha kleiner geworden in de periode 1983-2001 (Tabel 3). Het ondiepwatergebied is in deze periode juist 947 ha gegroeid (Tabel 4).

Tabel 3 Oppervlakte intergetijdegebied in de periode 1983-2001 (m<sup>2</sup>)

	Monding	Midden	Noordelijke tak	Kom	Totaal
1983	2427	3324	2000	3503	11255
1993	2287	3150	1977	3382	10796
2001	2233	3104	1854	3121	10312
Vershil 1983-2001	-194	-220	-383	-146	-942

Tabel 4 Oppervlakte ondiepwatergebied in de periode 1983-2001 (m<sup>2</sup>)

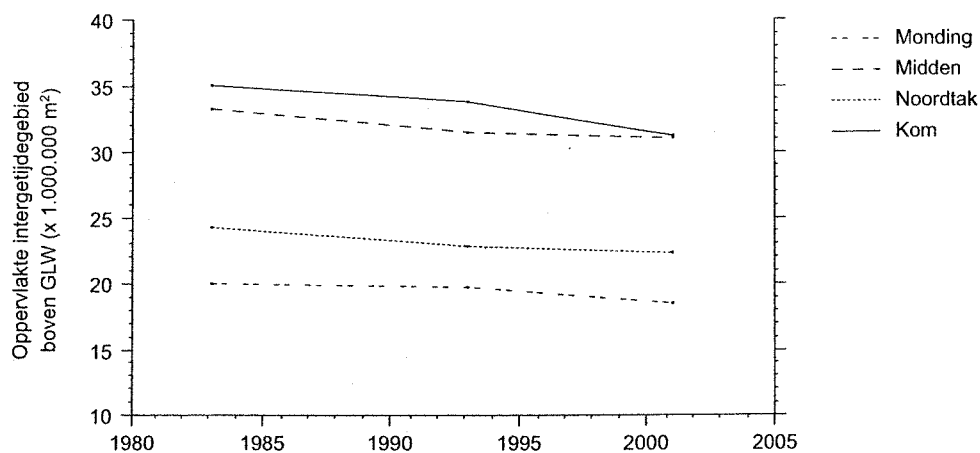
	Monding	Midden	Noordelijke tak	Kom	Totaal
1983	2839	2186	4290	1052	10367
1993	3028	2394	4408	1091	10922
2001	3078	2453	4690	1093	11314
Vershil 1983-2001	239	267	400	41	947

Het oppervlakteverlies boven GLW is bijna gelijk aan de oppervlaktetoename tussen NAP -8 m en GLW. Als onderscheid gemaakt wordt voor de deelgebieden zijn er twee significante trends te onderscheiden:

- in de deelgebieden Monding en Midden is de oppervlaktetoename tussen NAP -8 m en GLW ongeveer 20% *groter* dan de oppervlakteafname boven GLW;
- in het deelgebied Noordelijke tak is de oppervlaktetoename tussen NAP -8 m en GLW ongeveer 80% *kleiner* dan de oppervlakteafname boven GLW.

In de deelgebieden Monding en Midden vindt de grootste verandering in oppervlakte boven en onder GLW plaats in de periode 1983-1993. In de Kom vindt daarentegen de grootste verandering in oppervlakte boven en onder GLW plaats in de periode 1993-2001. In de Noordelijke tak groeit het oppervlak onder GLW alleen in de periode 1983-1993, terwijl de afname van het oppervlak boven GLW voornamelijk plaats vindt in de periode 1993-2001 (Figuur 14, Tabellen 3, 4).

De ontwikkeling van het volume van het intergetijdegebied vertoont een geleidelijke afname sinds de aanleg van de stormvloedkering (Tabel 5). Deze afname bedraagt gemiddeld 1% per jaar.

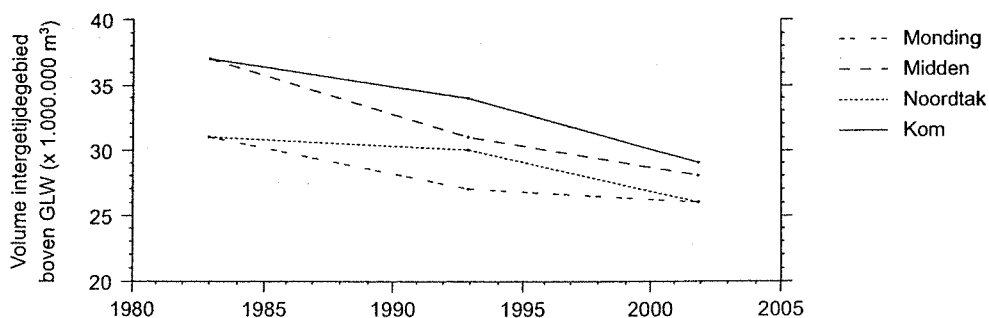


Figuur 14 Verandering oppervlakte intergetijdegebied boven GLW in de periode 1983-2001.

Tabel 5 Volume intergetijdegebied boven gemiddeld laag water in de periode 1983-2001 (x 1.000.000 m³).

	Mending	Midden	Noordelijke tak	Kom	Totaal
1983	31	37	31	37	136
1993	27	31	30	34	121
2001	26	28	26	29	108
Verskil 1983-2001	5	9	5	8	28

In de deelgebieden Mending en Midden neemt het volume vooral in de periode 1983-1993. In de deelgebieden Kom en Noordelijke tak is de grootste verandering in volume merkbaar in de periode 1993-2001 (Figuur 15).

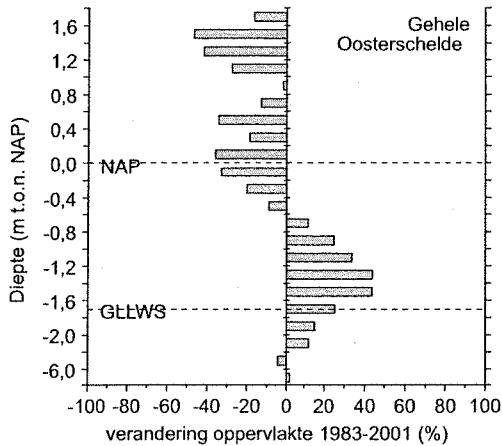


Figuur 15 Verandering volume intergetijdegebied boven GLW in de periode 1983-2001.



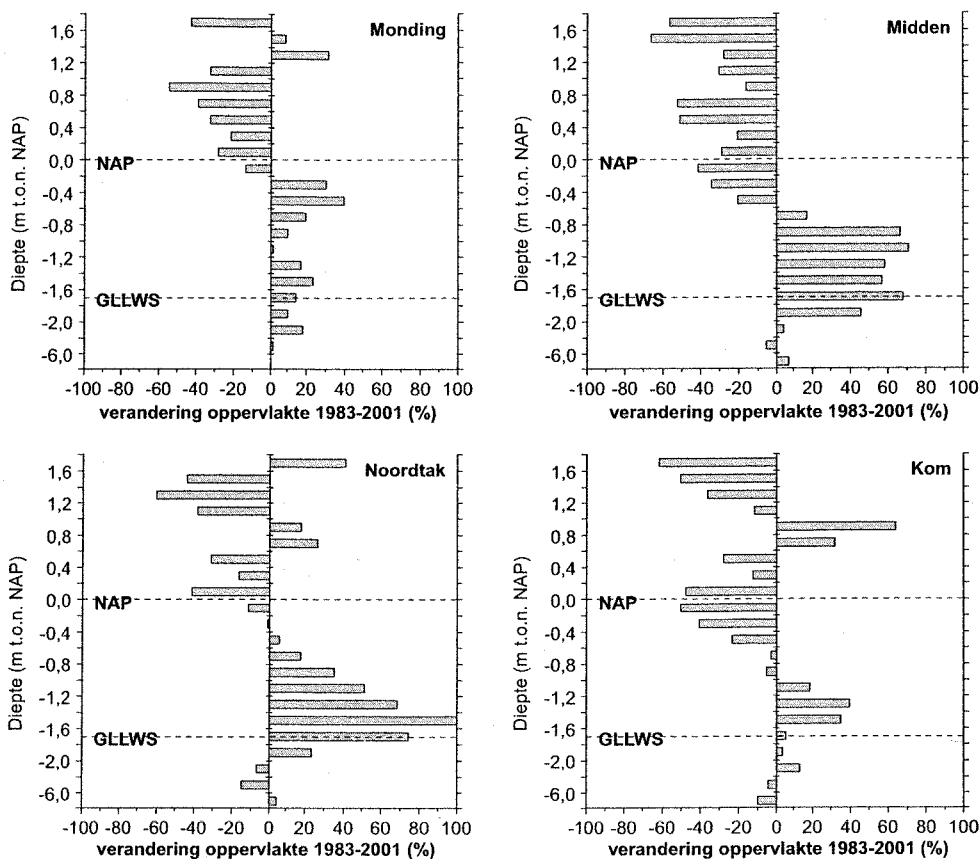
### 6.3 Areaal plaat per dieptezone

In het algemeen wordt het geërodeerde materiaal afgezet rond de laagwaterlijn op de ondiepe onderwateroever (Figuur 16). De gevolgen zijn een algehele afvlakking van de plaat en een verflauwing van het talud van het ondiepwatergebied.



**Figuur 16** Verandering van oppervlaktes intergetijdegebied en geulrand in dieptezones boven NAP -8 m in de Oosterschelde. Let op: tussen NAP -8 m en NAP -2 m de dieptezones 2 m diep zijn. Boven NAP -2 m zijn de dieptezones 0,2 m diep.

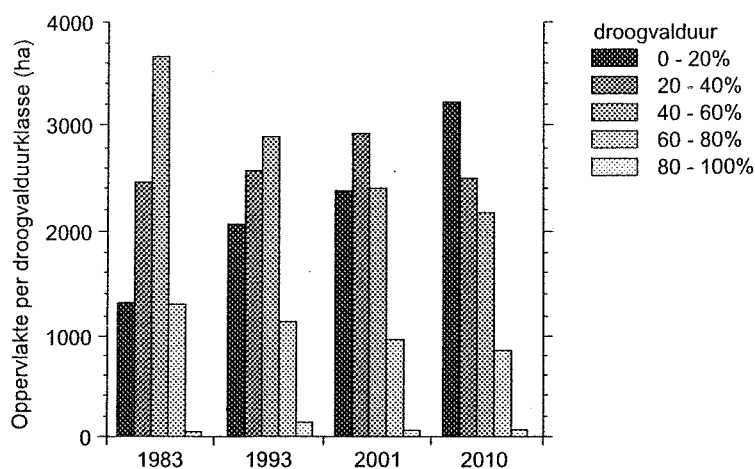
In de Oosterschelde is erosie overheersend boven NAP -0,6 m. Twee zones rond NAP m en NAP +1,4 m worden gekenmerkt door procentueel de grootste afname van het oppervlak. Rond NAP +0,9 m is deze afname te verwaarlozen klein. Het sediment wordt afgezet in de zone tussen NAP -0,8 m en NAP -4,0 m, met een piek rond NAP -1,4 m (de laagwaterlijn). Beneden NAP -4,0 m is zowel erosie als sedimentatie verwaarloosbaar klein. Het omslagpunt waar erosie over gaat in sedimentatie verschilt per deelgebied (Figuur 17). In de deelgebieden Monding en Noordelijke tak ligt het omslagpunt rond NAP -0,2 m. In de deelgebieden Midden en Kom ligt het omslagpunt lager, rond respectievelijk NAP -0,6 m en NAP -1,0 m. De deelgebieden Monding, Noordelijke tak en Kom worden gekenmerkt door het lokaal voorkomen van sedimentatie boven het omslagpunt. Dit ligt in de deelgebieden Noordelijke tak en Kom rond NAP +1,0 m. Op het deelgebied Monding na ligt de sedimentatiepiek rond de laagwaterlijn. In de Monding groeit het oppervlak intergetijdegebied en geulrand rond NAP -0,6 m en NAP -1,6 m. De verschillen per deelgebied worden mogelijk veroorzaakt door het verschil in karakter van de aanpassing per deelgebied. In de Noordelijke tak lag voor de aanleg van de stormvloedkering het wantij, en de kom kende voor de aanleg van de Oesterdam een grotere getijslag.



**Figuur 17** Verandering van oppervlakte intergetijdgebied en geulrand in dieptezones boven NAP –8 m voor de vier deelgebieden. Let op: tussen NAP –8 m en NAP –2 m de dieptezones 2 m diep zijn. Boven NAP –2 m zijn de dieptezones 0,2 m diep.

## 6.4 Droogvalduur

Door de veranderingen in hoogteligging van de platen en slikken en de reductie van het getijverschil (zie Figuur 5) verandert de overspoelingsfrequentie van het intergetijdgebied van de Oosterschelde (Figuur 18). In tabel 6 is het areaal voor 5 verschillende droogvalduurklassen voor de periode 1983-2001 en de prognose 2010 weergegeven. De oppervlakte veranderingen van de droogvalduurklasse 80 – 100% is niet significant. Het areaal intergetijdgebied dat voor het grootste deel van de tijd droogvalt neemt af met gemiddeld 30%. Dit is 338 ha voor de droogvalduurklasse 60 - 80% en 1278 ha voor de droogvalduurklasse 40 - 60%. Het areaal intergetijdgebied dat meer dan de helft van de tijd onder water staat is toegenomen met 20% (490 ha) voor de droogvalduurklasse 20 – 40% en zelfs meer dan 80% (1081 ha) voor de droogvalduurklasse 0 – 20%. De trend in areaal-ontwikkeling van de verschillende droogvalduurklassen zet zich door naar 2010. Alleen de droogvalduurklasse 20 – 40% vertoont voor de periode 2001-2010 een afname.

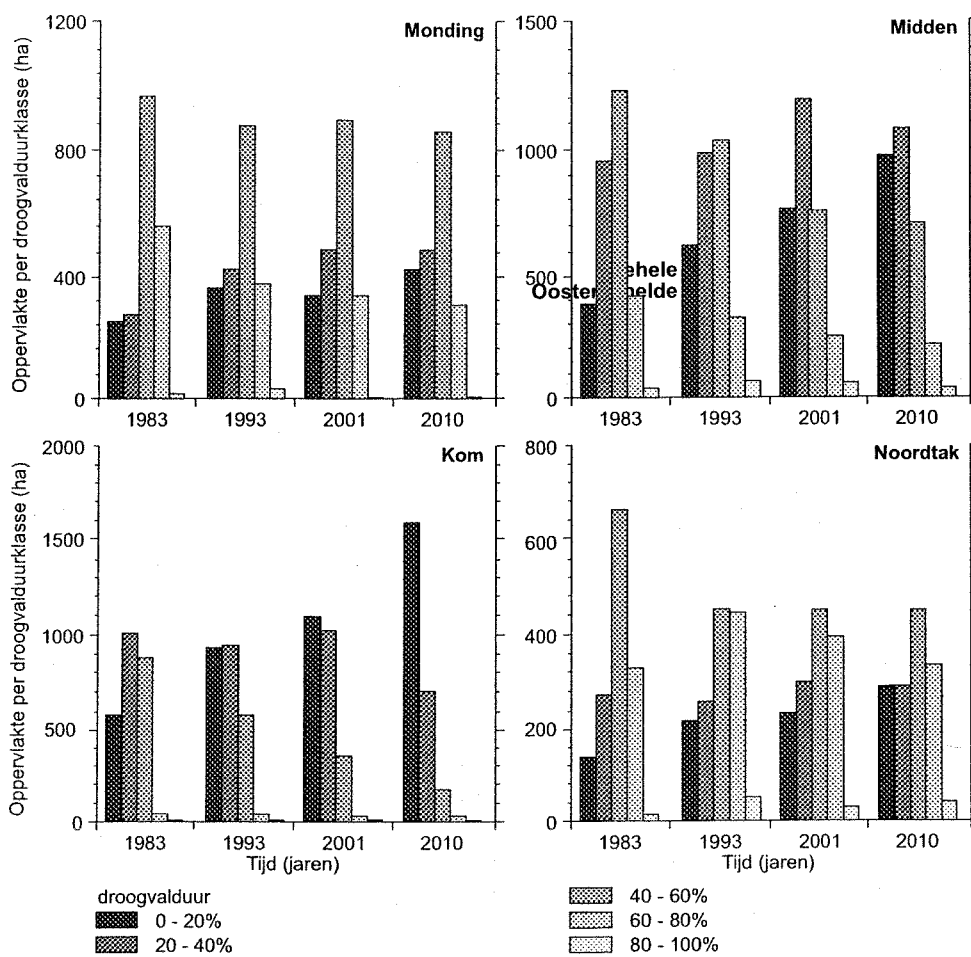


**Figuur 18** Oppervlakte intergetijdegebied per droogvalduurklasse (als % van de totale tijd) in de periode 1983-2001 en als prognose voor 2010 voor de Oosterschelde.

**Tabel 6** Oppervlakte intergetijdegebied per droogvalduurklasse (als % van de totale tijd) in de periode 1983-2001 en als prognose voor 2010 voor de Oosterschelde (ha).

	1983	1993	2001	2010	Verschil 1983-2001
0 - 20 %	1303	2078	2384	3230	1081
20 - 40 %	2463	2570	2953	2504	490
40 - 60 %	3695	2885	2423	2142	- 1272
60 - 80 %	1303	1148	965	838	- 338
80 - 100 %	66	145	82	81	- 16

De deelgebieden worden in het algemeen gekenmerkt door dezelfde trends in areaal verandering intergetijdegebied per droogvalduurklasse zoals waargenomen voor de Oosterschelde als geheel (Figuur 19). Wat opvalt is de overheersing van het intergetijdegebied dat 40 tot 60% van de tijd droogvalt in het deelgebied Monding. Het areaal met een droogvalduur 40 – 60% is 40% van het totale intergetijdegebied. In de Noordelijke tak is het areaal droogvalduurklasse 40 – 60% de grootste klasse, maar is het aandeel droogvalduurklasse 40 - 60 % afgenomen van bijna 50 % tot 30 % van het totale intergetijdegebied. In het Midden-deel van de Oosterschelde verschuift de droogvalduurklasse met het grootste areaal van de droogvalduurklasse 40 – 60% naar de droogvalduurklasse 20 – 40%. In de Kom verschuift de droogvalduurklasse met het grootste areaal van de droogvalduurklasse 20 – 40% naar de droogvalduurklasse 0 – 20%.



**Figuur 19** Oppervlakte intergetijdegebied per droogvalduurklasse (als % van de totale tijd) in de periode 1983-2001 en als prognose voor 2010 voor de verschillende deelgebieden van de Oosterschelde.

## 7 Discussie

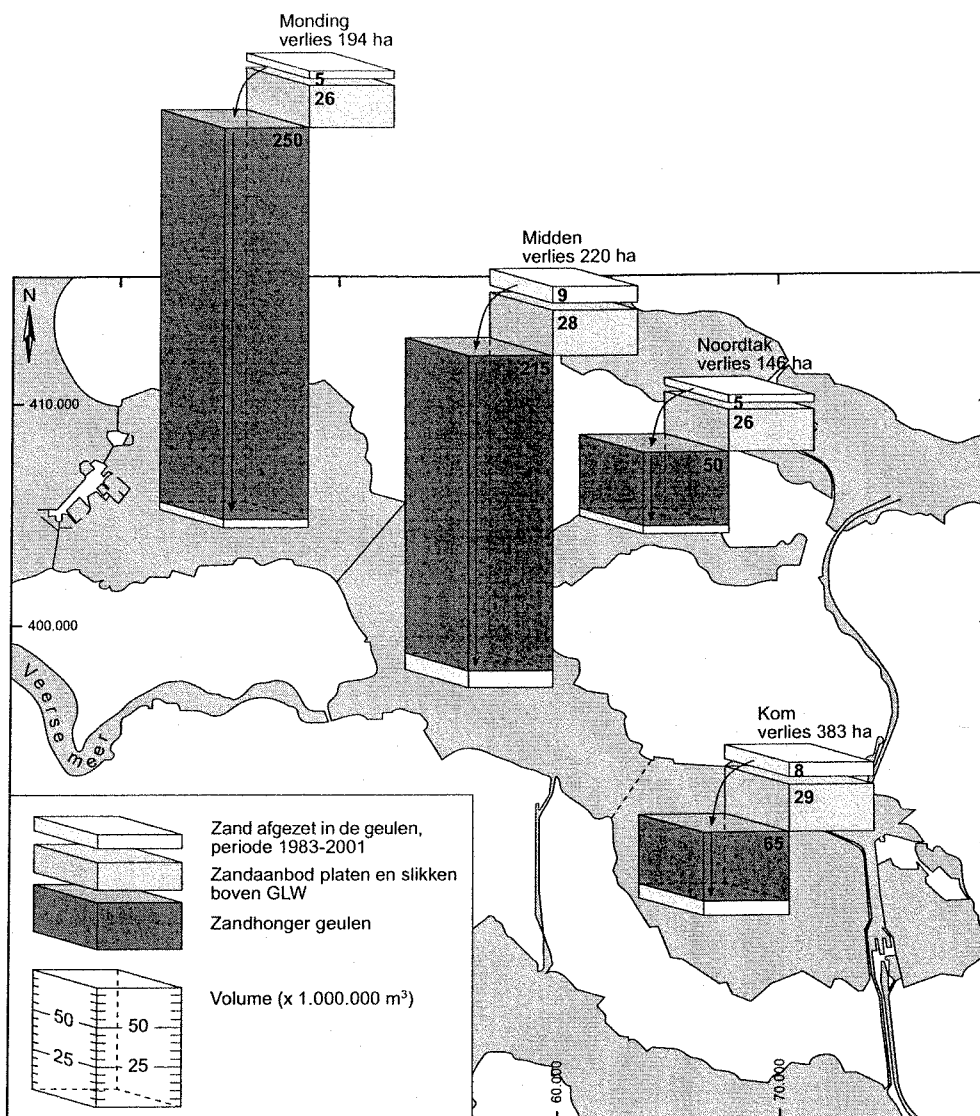
In een getijdebekken zoals de Oosterschelde is de verandering van de morfologie sterk bepaald door veranderingen in getijvolume. Wanneer het getijvolume en daardoor ook de stroomsnelheden groter worden neemt het doorstroomprofiel van de geulen toe en zullen de platen opgehoogd worden en er zal sediment het bekken uit getransporteerd worden. Bij vermindering van het getijvolume zoals in de Oosterschelde gebeurt het omgekeerde. De aanpassing van de Oosterschelde aan een verandering in getijvolume doorloopt een periode van eeuwen.

Tot de aanleg van de stormvloedkering was de Oosterschelde zich aan het aanpassen aan een toenemend getijvolume. Hierdoor werden begin jaren tachtig de geulen dieper en de platen hoger werden en de Voordelta van de Oosterschelde groeide (Smaal & Boeije, 1991). Deze aanpassing vindt al plaats sinds de Late Middeleeuwen. Aanvankelijk was dit het gevolg van landverlies door overstromingen. Sinds het eind van de 19<sup>e</sup> eeuw is dit veroorzaakt door de uitvoering van waterbouwkundige werken en baggeractiviteiten. Sinds 1960 is het vooral het gevolg van de Deltawerken.

Na de aanleg van de stormvloedkering in 1986 is het getijvolume met ongeveer 30% afgenomen (Smaal & Boeije, 1991). Om vervolgens een nieuw morfologisch evenwicht te bereiken is sinds 1986 het doorstroomoppervlak van de geulen in de Oosterschelde kleiner geworden. Het materiaal is voornamelijk afkomstig van de platen, slikken en schorren in de Oosterschelde. Bij een volledige afbraak kunnen deze slechts ca. 130 miljoen m<sup>3</sup> zand leveren. Dit is 30 miljoen m<sup>3</sup> zand minder dan geschat door Koshiet et al. (1991). Door de erosie van de platen, slikken en schorren zijn deze sinds 1986 al gemiddeld 15 cm lager komen te liggen en 942 ha kleiner geworden. Dit komt overeen met een verlies van 63 ha intergetijdegebied per jaar. Dit komt overeen met het verlies aan intergetijdegebied, zoals geschat door Koshiet et al. (1983) en Smaal & Boeije (1991). Het verwachte verlies aan platen en slikken in 2010 is ca. 1845 ten opzichte van 1986. In Figuur 20 is de zandhonger van de Oosterschelde in 2001 weergegeven per deelgebied. Het is niet mogelijk om dit te vergelijken met de prognose van Koshiet et al. (1991). Omdat deze studie uitgaan is van andere deelgebiedgrenzen.

Het centrale deel en de achterste delen van de Oosterschelde wordt gekenmerkt door het voorkomen van dikke veenlagen in ondergrond van de slikken en schorren (Figuur 21). Veen heeft als eigenschap dat het moeilijk erodeerbaar is. Dit betekent dat de slikken en schorren waar veen in de ondergrond zit veel langzamer eroderen worden dan slikken en schorren die geheel uit zand en slib bestaan. Dit heeft belangrijke consequenties voor:

- 1) *het inschatten van de hoeveelheid zand dat beschikbaar is om de zandhonger van de Oosterschelde te stillen.* In de Romeinse Tijd overstroomde de lage delen van het veenpakket en raakte deze bedekt met zand en slib. Tegenwoordig wordt dit zand en slib geërodeerd om de zandhonger van de Oosterschelde te stillen. Op sommige locaties (aangeduide met een rode ster in Figuur 21) is het zand en slib al helemaal weg en komt het veen weer aan het oppervlak. Het veen dat aan het oppervlak ligt vergaat langzaam. Op dat moment neemt het volume van het intergetijdegebied af terwijl de zandhonger van de Oosterschelde niet wordt gestild. De zandbron gevormd wordt door het intergetijdegebied is

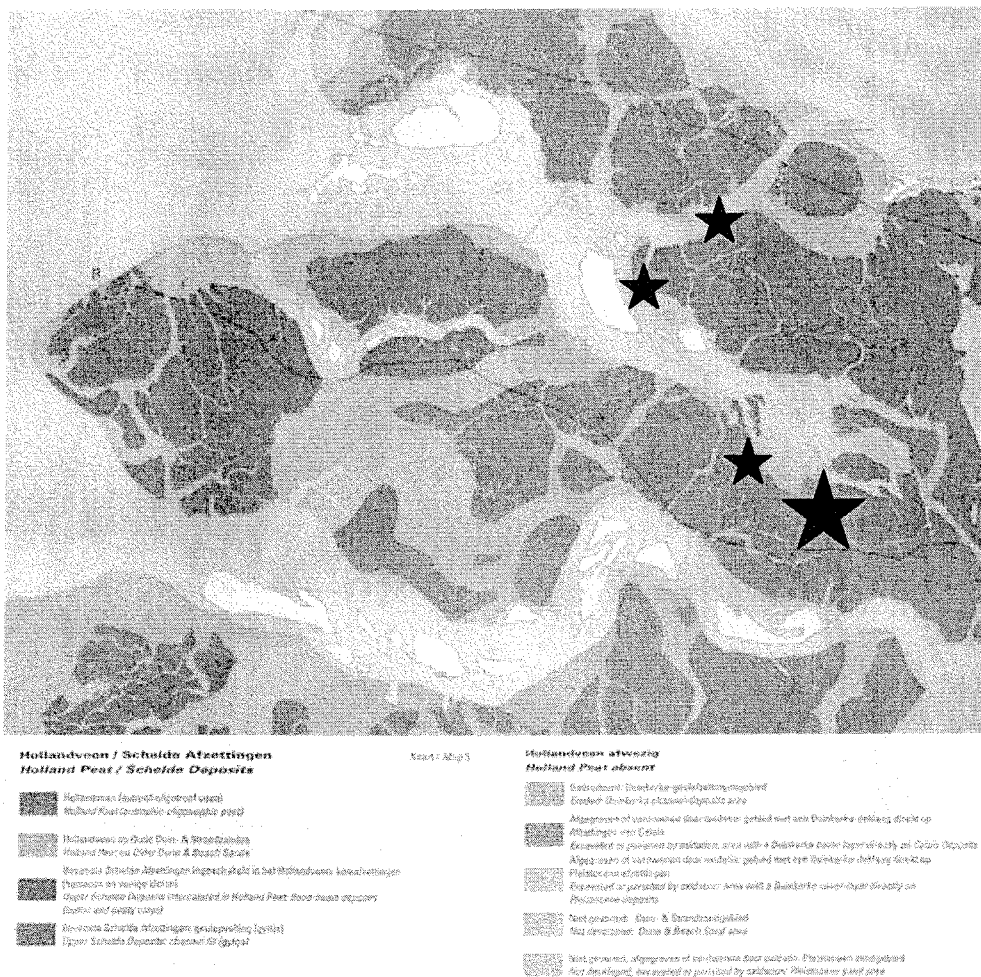


Figuur 20 Zandhonger in de verschillende deelgebieden van de Oosterschelde.

dus 130 miljoen m<sup>3</sup> zand, minus het volume veen dat zich in de ondergrond van het intergetijdegebied bevindt.

- 2) *het maken van voorspellingen van het oppervlak intergetijdegebied.* Op die plaatsen waar het veen in de ondergrond zit zal de afnamesnelheid van het areaal intergetijdegebied van snelheid veranderen op het moment dat het veen aan het oppervlak komt te liggen. Vanaf dat moment neemt de erosie snelheid van het betreffende intergetijdegebied sterk af. De voorspelling voor 2010 is gebaseerd op de lineaire afname zoals die is waargenomen voor de periode 1983-2001. Voor de gebieden in de Kom die met een ster zijn gemerkt zijn in Figuur 21 is de afnamesnelheid dus overschat en zal het oppervlak intergetijdegebied in 2010 waarschijnlijk groter zijn dan het nu voorspeld is.

Het aan het oppervlak komen van veen zal ook negatieve consequenties hebben voor de habitatgeschiktheid van de slikken en schorren voor kokkels. (mond. med. drs. D. de Jong, RWS-RIKZ).

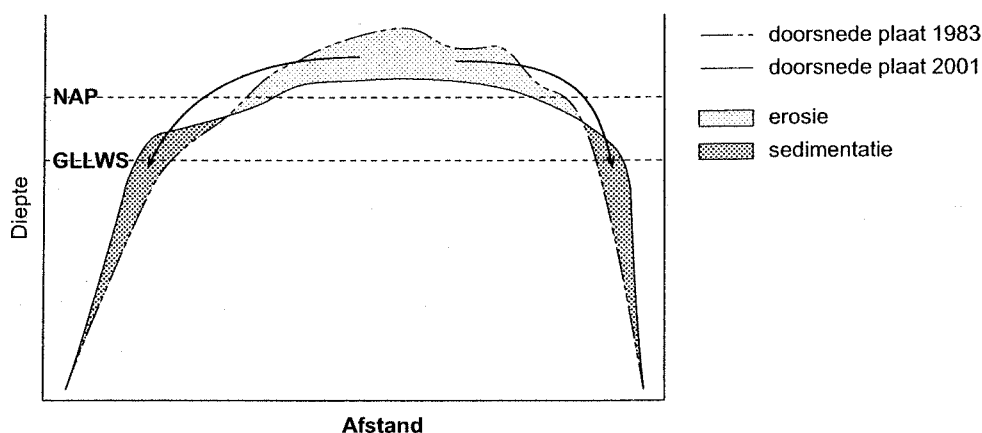


Figuur 21 Het voorkomen van veen in de ondergrond van Zeeland. Met een rode ster is aangegeven waar is veen dagzooimt.

De grootste veranderingen van de morfologie vindt plaats tijdens storm (#ver). Tijdens een storm ontstaan afhankelijk van windrichtingrichting, waterstand en locatie windgolven die 0,5 tot ruim 2 m hoog kunnen worden. Dit betreft de situatie die één keer per jaar of één keer per twee jaar voorkomt. In de situatie dat de stormvloedkering is gesloten zullen de windgolven in de Monding wat kleiner zijn dan tijdens de open toestand. Dit komt doordat geen doordringing van windgolven door de kering kan plaatsvinden. Tijdens storm wordt met name in de ondiepwaterszone het zand op opgewerfeld. De opwerfeling is groter naarmate de verhouding tussen waterdiepte en golfhoogte kleiner wordt. Als deze verhouding orde 2 nadert worden de golven te steil en zullen ze breken. Het opwerfelingseffect is dan het grootst.

De meeste opwerveling vindt plaats nabij de randen van de platen en slikken die zijn geëxponerd op de windrichting (#verw). De gebieden wat veel erosie plaatvindt zijn daarbij afhankelijk van de optredende waterstand tijdens de storm. Het zand dat bij storm wordt geërodeerd komt afhankelijk van de stromingsrichting voor een deel weer op de plaat en in de geul aan de lizijde terecht. De stromingsrichting wordt grotendeels bepaald door de getijstroming. De stroming, die wordt opgewekt door de wind, kan deze gering beïnvloeden.

Het netto-effect van de morfologische processen tijdens een storm is dat de bovenkant van de platen platter worden, en het areaal plaat rond de laagwaterlijn groeit (Figuur 22). Op lange tijdschaal wordt verwacht dat de top van de plaat weinig verder kan eroderen en "in evenwicht" zal komen met de nieuwe golfhoogte tijdens storm. In die situatie zullen de zijkanten van de plaat nog wat eroderen totdat de plaat in evenwicht is met de nieuwe condities en zijn "bolle" karakter weer terug krijgt.



Figuur 22 Theoretisch model van de ontwikkeling van platen in de Oosterschelde ten gevolge van het zandhongerproces.

Een bijzondere vorm van erosie treedt op als de stormvloedkering gesloten is tijdens storm. Het moment van sluiten is afhankelijk van de waterstand op de Oosterschelde bij een gesloten kering. Om te voorkomen dat bij het optreden van meerdere hoogwaters achter elkaar gedurende langere tijd het waterpeil op één niveau staat, wordt de 1-2-1 wisselstrategie toegepast. Dit houdt in dat bij de eerste hoogwatertop een streefpeil geldt van NAP + 1,00 m en voor de tweede en derde hoogwater respectievelijk NAP +2,00 m en NAP + 1,00 m. Tijdens de gesloten kering vindt het loswoelen van sediment door de golven vrij geconcentreerd plaats. Erosie zal dan vooral in de zone rond NAP plaatsvinden. Verlaging en achteruitgang van 20 cm gedurende één storm is dan heel gewoon (mond. med. drs. J. de Jong, RWS-RIKZ). Deze zone komt redelijk overeen waar erosie van de plaat overgaat in sedimentatie op de plaat. Deze situatie komt minder dan 1 keer jaar voor, maar zal desondanks toch een grote invloed hebben op de morfologie. Gedurende de gehele sluiting breken de golven op dezelfde locatie. Daar zal extra veel zand opgewerveld worden en zal de oeverlijn sterk achteruit gaan waarbij de arealen intergetijdgebied sterk zullen afnemen.



## 8 Conclusie

Door de bouw van de stormvloedkering is het natuurlijk evenwicht van de Oosterschelde verstoord. Het getijvolume is verminderd en de huidige afmetingen van de geulen zijn aan deze afname nog niet aangepast. Zolang de opvulling van de geulen niet is gerealiseerd en de Oosterschelde niet haar nieuwe evenwicht heeft bereikt zal de Oosterschelde leiden aan "zandhonger". Bij maximaal mogelijk afbraak van de platen, slikken en schorren kan hooguit 130 miljoen m<sup>3</sup> zand geleverd worden. Waarschijnlijk is dit minder doordat er in de ondergrond van de slikken en schorren lokaal ook dikke veenpakketten aanwezig zijn.

Als gevolg van de zandhonger is sinds 1986 sprake van netto erosie van het intergetijdegebied van 942 ha. Het ondiepwatergebied groeit in dezelfde periode met 947 ha. De gemiddelde hoogte van het intergetijdegebied neemt af met 15 cm en het volume van het intergetijdegebied neemt af met 28 miljoen m<sup>3</sup>. In de Oosterschelde vindt sinds 1986 een herverdeling van het sediment plaats. De hogere delen van de platen worden platter en komen lager te liggen. Dit materiaal wordt afgezet rond de laagwaterlijn op de ondiepe onderwateroever. De gevolgen zijn een algehele afvlakking van de plaat en een verflauwing van het talud van het onderwatergebied. Door veranderingen in de hoogteligging van platen en slikken en de reductie van het getijverschil na de aanleg van de stormvloedkering is de droogvalduur van het intergetijdegebied veranderd. Het areaal dat voor het grootste deel van de tijd droogvalt neemt af gemiddeld 30% (ruim 1600 ha). Het areaal intergetijdegebied dat meer dan de helft van de tijd onder water staat is toegenomen met ruim 1500 ha. Het netto verlies aan intergetijdegebied zal tot 2010 in een onverminderd tempo doorgaan en zal naar schatting 500 ha bedragen en een afname van de gemiddelde hoogte van ongeveer 9 cm. De trend in areaalontwikkeling van de droogvalduurklassen zet zich door tot 2010.

Verandering van de morfologie van de Oosterschelde beïnvloedt de habitatgeschiktheid van de Oosterschelde voor schelpdieren en zal een verschuiving in mogelijke locaties voor mossel- en kokkelproductie tot gevolg hebben. Voortdurende afslag van plaat- en slikranden zal mogelijk lokale schade berokkenen aan de huidige mossel- en kokkelpercelen.

## Literatuur