Verandering van de morfologie van de Oosterschelde door de aanleg van de Deltawerken

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Verandering van de morfologie van de Oosterschelde door de aanleg van de Deltawerken

4 november 2003

Werkdocument RIKZ/OS/2003.810x

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

Inhoudsopgave

1	**Inleiding**	**6**
1.1	Achtergrond EVAII	6
1.2	Doelstelling	6
1.3	Afbakening	7
2	**Gebiedsbeschrijving**	**8**
2.1	Ligging	8
2.2	Morfologische karakteristiek	8
3	**Ontwikkeling van de Oosterschelde**	**10**
3.1	Geologische ontwikkeling	10
3.2	Historische ontwikkeling na de eerste bedijking	11
3.3	Recente ontwikkelingen – na de stormvloedramp van 1953	12
4	**De Oosterschelde na de aanleg van de deltawerken**	**14**
4.1	Zandhonger	14
4.2	Zandhonger in de tijd	15
5	**Methode analyse en voorspelling ontwikkeling Oosterschelde**	**16**
5.1	Morfologie	16
5.2	Morfologische verandering	17
5.3	Droogvalduur	17
6	**Morfologische verandering van de Oosterschelde sinds de aanleg van de deltawerken**	**19**
6.1	Hoogte intergetijdengebied	19
6.2	Oppervlakte en volume intergetijdengebied	20
6.3	Areaal plaat per dieptezone	21
6.4	Droogvalduur	23
7	**Discussie**	**25**
8	**Conclusie**	**27**
9	**Literatuur**	**28**

Lijst van Figuren

Figuur 2.1 Ligging van de Oosterschelde in de Nederlandse delta. 8
Figuur 2.2 Ligging van de Oosterschelde. De Oosterschelde is opgedeeld in 4 compartimenten: Monding, Midden, Noordelijke tak en Kom. 9
Figuur 2.3 Locatie van de platen, slikken en schorren in de Oosterschelde in 2001. 9
Figuur 3.1 Ontwikkeling van het zuid-westelijke deel van Nederland van 7000 voor Chr. tot 250 na Chr. (naar Fischer, 1997).. 11
Figuur 3.2 Ontwikkeling van het zuidwestelijke deel van Nederland sinds 900 na Chr. (naar Fischer, 1997). 12
Figuur 4.1 Evenwichtsrelatie tussen getijvolume en doorstroomoppervlak (naar Kohsiek et al., 1987). 14
Figuur 4.2 Ontwikkeling van de zandhonger in de Oosterschelde sinds 1800 (naar Roelse, 2002). 15
Figuur 6.1 Hoogte/ dieptekaart van de Oosterschelde in 2001 19
Figuur 6.2 Verschil hoogte/ dieptekaart 1983 en hoogte/ dieptekaart 2001 van de Oosterschelde. 20
Figuur 6.3 Ontwikkeling van de platen in de Oosterschelde na de aanleg van de deltawerken. 20
Figuur 6.4 Verandering van oppervlaktes intergetijdengebied 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. 22
Figuur 6.5 Verandering van oppervlaktes intergetijdengebied 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. 22
Figuur 6.6 Oppervlakte intergetijdengebied per droogvalduurklasse (als % van de totale tijd) in de periode 1983-2001 en als prognose voor 2010 voor de verschillende deelgebieden van de Oosterschelde. 23
Figuur 7.1 Het voorkomen van veen in de ondergrond van Zeeland. Met een rode ster is aangegeven waar veen aan het oppervlak komt. 25

Lijst van Tabellen

Tabel 6.1 Gemiddelde hoogte intergetijdengebied in de periode 1983-2001 (m t.o.v. NAP). 19
Tabel 6.2 Oppervlakte intergetijdengebied in de periode 1983-2001 (ha) 21
Tabel 6.3 Oppervlakte ondiepwatergebied in de periode 1983-2001 (ha) 21
Tabel 6.4 Volume intergetijdengebied boven gemiddeld laag water in de periode 1983-2001 (× 1.000.000 m^3). 21
Tabel 6.5 Oppervlakte intergetijdengebied per droogvalduurklasse (als % van de totale tijd) in de periode 1983-2001 en als prognose voor 2010 voor de Oosterschelde (ha) 23

1 Inleiding

1.1 Achtergrond EVAII

Ten behoeve van de Tweede Evaluatie van het Nederlandse Schelpdiervisserijbeleid, (EVAII) is er een onderzoeksprogramma opgesteld in opdracht van de Stuurgroep EVA II. Voor de Nederlandse delta heeft dit onder andere geresulteerd in een studie naar de draagkracht van de Oosterschelde voor kokkels, uitgevoerd door het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) en het Centrum voor Schelpdier Onderzoek van het Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO-CSO). Deze studie behandelt de belangrijkste ontwikkelingen die van invloed zijn op de draagkracht van de Oosterschelde voor kokkels en daarmee op de hoeveelheid scholeksters die in het gebied kunnen leven. Hierbij 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 en het effect van de ontwikkeling van de Japanse oester op kokkels.

1.2 Doelstelling

Het onderwaterlandschap van de Oosterschelde bestaat uit geulen, afgewisseld met platen en slikken, en aan de rand, begroeide schorren. De platen en slikken vormen het opgroeigebied voor kokkels.

Door de aanleg van de deltawerken is het dynamisch evenwicht van de Oosterschelde verstoord. Dit heeft tot 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 bredere, relatief ondiepere geulen bestaan, waartussen en waarlangs nog slechts kleine platen en weinig slikken aanwezig zullen zijn (Kohsiek et al., 1987). 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.

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

- In hoeverre is het areaal intergetijdengebied en ondiepwatergebied in de Oosterschelde achteruit gegaan na de aanleg van de deltawerken?
- Hoe groot is het areaal intergetijdengebied en ondiepwatergebied in de Oosterschelde in 2010?

1.3 Afbakening

In dit werkdocument wordt de morfologische veranderingen van het intergetijdengebied (gebied boven de gemiddeld laagwaterlijn) en het ondiepwatergebied (gebied tussen NAP –8m en de gemiddeld laagwaterlijn) van de Oosterschelde sinds 1983 geanalyseerd. De ondergrens van het ondiepwatergebied is gedefinieerd op NAP -8m, omdat in de Oosterschelde beneden NAP -8m niet of nauwelijks meer kokkelbroedval optreedt (mond. med. A.J.M. Geurts van Kessel).

In Hesselink et al. (in prep.), dat in het kader van het Oosterschelde bekkenrapport zal verschijnen, wordt dieper ingegaan op de verandering van de morfologische processen na de aanleg van de deltawerken. Voor het effect van de morfologische veranderingen op het habitat van kokkels in de Oosterschelde wordt verwezen naar Geurts van Kessel et al. (2003).

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Ligging

De Oosterschelde maakt onderdeel uit van een verzameling watersystemen, die gezamenlijk de Nederlandse delta vormen (Figuur 2.1). Naast de Westerschelde en de Voordelta als getijdensystemen, 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) (Figuur 2.1).

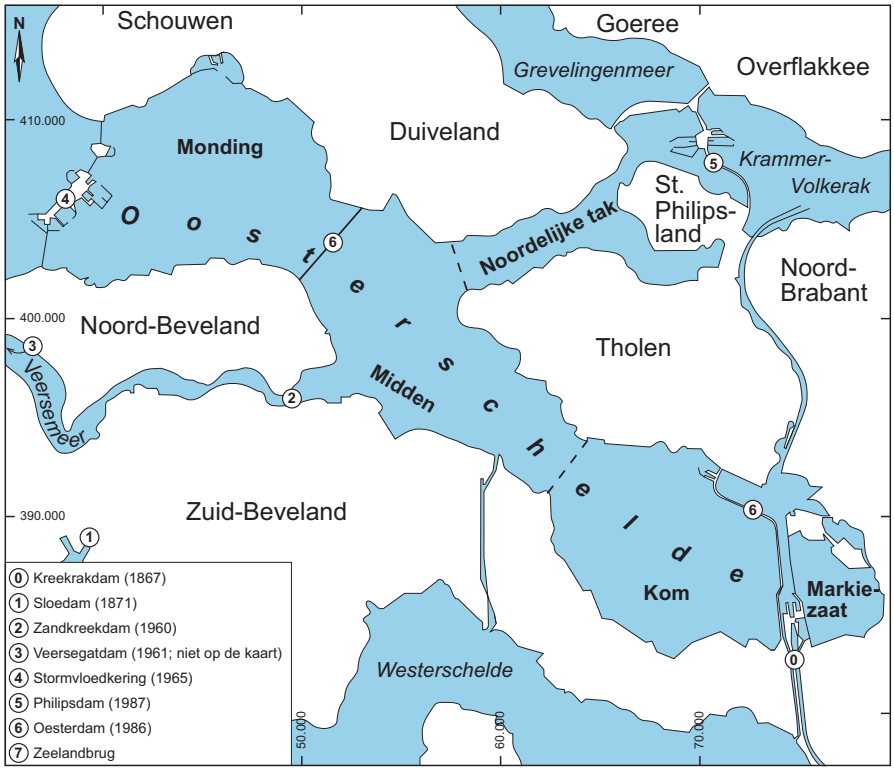
Figuur 2.1 Ligging van de Oosterschelde in de Nederlandse delta. Bron: Provincie Zeeland

De Oosterschelde wordt in vier deelgebieden opgedeeld (Figuur 2.2). De grens tussen de verschillende deelgebieden is in verschillende hieraan voorafgaande studies niet consequent gehanteerd (vergelijk bijv. Kohsiek et al. (1987), Smaal & Boeije (1991), Van Berchum & Wattel (1997) en dit rapport). Dit betekent dat de arealen intergetijdengebied en ondiepwatergebied zoals berekend in de verschillende bovengenoemde studies niet met elkaar vergeleken mogen worden.

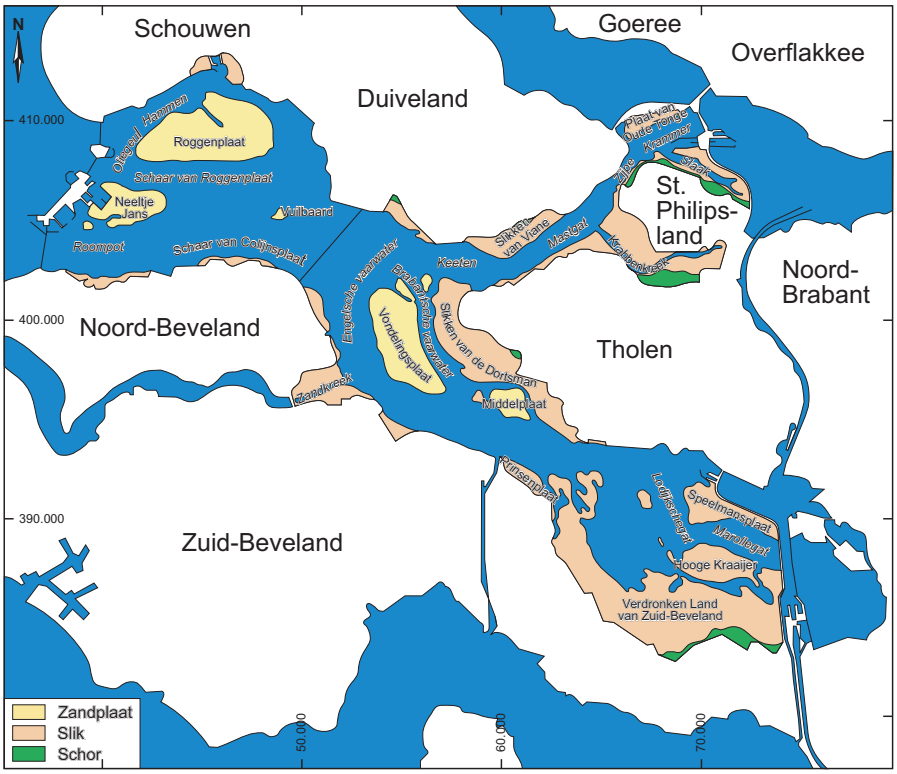
2.2 Morfologische karakteristiek

In de Oosterschelde zijn de volgende morfologische eenheden duidelijk herkenbaar: geul, plaat, slik en schor (Figuur 2.3). Het schor (supragetijden-gebied), ligt boven gemiddeld hoogwater (GHW). Tussen gemiddeld hoog water en gemiddeld laagwater (GLW) liggen de platen en de slikken (intergetijdengebied). Beneden gemiddeld laag water worden de geulen aangetroffen.

Figuur 2.2 Ligging van de Oosterschelde. De Oosterschelde is opgedeeld in 4 compartimenten: Monding, Midden, Noordelijke tak en Kom.



Figuur 2.3 Locatie van de platen, slikken en schorren in de Oosterschelde in 2001.



3 Ontwikkeling van de Oosterschelde

3.1 Geologische ontwikkeling

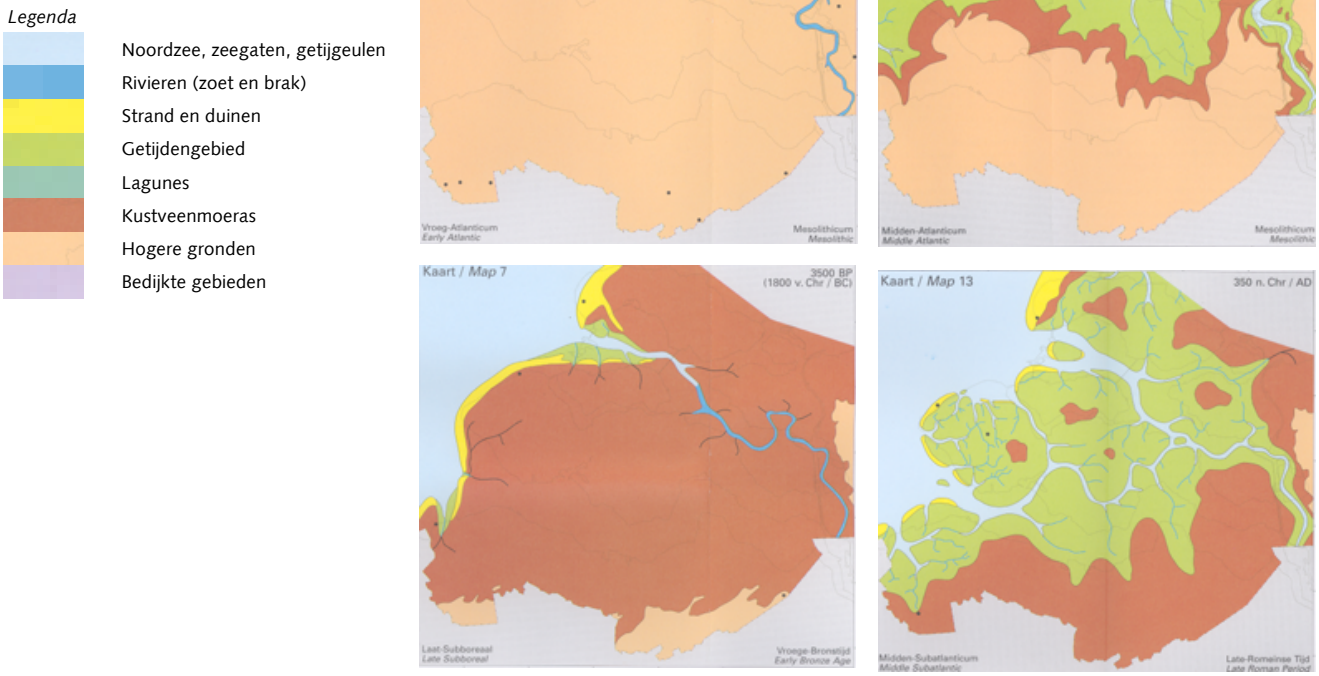
De Oosterschelde heeft in de loop van de tijd een enorme gedaanteverwisseling ondergaan. In de laatste ijstijd (Weichselien, 110.000 – 9000 voor Chr.) was de Noordzee droog gevallen. Het zuidwestelijke deel van Nederland was een poolwoestijn. De Schelde waterde in noordwaartse richting af op voorlopers 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 (Fischer, 1997).

Omstreeks 6700 voor Chr. was het laagste deel van Zeeland een intergetijdengebied (Figuur 3.1a). De Schelde had nog geen directe verbinding met de Noordzee en monde uit in de voorlopers van de Rijn en de Maas. Als gevolg van de zeespiegelstijging schoof het intergetijdengebied in landwaartse richting op en rond 5500 voor Chr. was meer dan de helft van Zeeland veranderd in een intergetijden- of veengebied. De Schelde had rond 5500 voor Chr. haar loop verlegd en monde direct uit in zee, ter hoogte van de huidige Oosterschelde monding. Door de afnemende zeespiegelstijging kon de opslibbing de zeespiegelstijging bijhouden, waardoor in het Schelde estuarium slikken en schorren konden ontstaan (Figuur 3.1b) (Fischer, 1997).

Na 4400 voor Chr. begon het intergetijdengebied langzaam te verlanden. Rond 3100 voor Chr. verlande ook de getijdengeulen en rond 1800 voor Chr. was de hele delta met een dik veenpakket bedekt (Figuur 3.1c). Tot ongeveer 500 voor Chr. veranderde het gebied nauwelijks. In de monding van de Schelde was een klein intergetijdengebied ontwikkeld (Fischer, 1997). Aangenomen wordt dat de Schelde op dat moment een breedte had van minder dan 1 km. Dit is ongeveer 10 tot 20 % van de huidige afmeting van de Oosterschelde (Kohsiek et al., 1987).

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 ontwateringproces van het veenpakket gestimuleerd. Met als gevolg dat het veenpakket inklonk. De maaivelddaling werd verder gestimuleerd door veenafgravingen. 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 getijdengeulen (Figuur 3.1d). Tegelijkertijd werd de monding van de Schelde steeds breder. Rond 750 na Chr. kwam in het zuidoostelijke deel van de delta (ten noorden van het Verdronken land van Saeftinge) geleidelijk de geulverbinding tussen de Schelde en de Westerscheldemonding tot stand. Deze verbinding, de Honte, werd in latere eeuwen steeds belangrijker (Fischer, 1997).

Figuur 3.1 Ontwikkeling van het zuid-westelijke deel van Nederland van 7000 voor Chr. tot 250 na Chr. (naar Fischer, 1997).

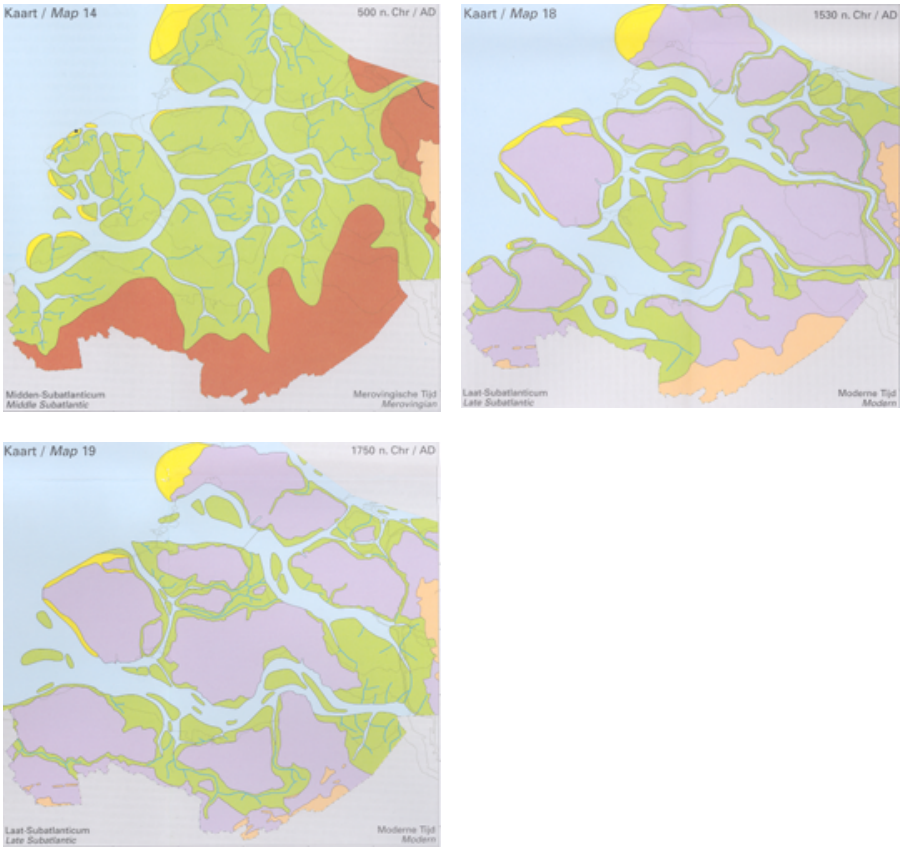


3.2 Historische ontwikkeling na de eerste bedijking

In de Middeleeuwen veranderde er veel in het zuidwestelijke deel van Nederland. In de 11e eeuw werden de eerste dijken aangelegd en in de 12e eeuw waren alle getijdengebieden omringd door een dijk (Figuur 3.2a). 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 ontwateringtechnieken en anderzijds door veenafgravingen. 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 (Kohsiek et al., 1987). In 1531 deed zich een van de meest dramatische vloedrampen voor, de zogenaamde Felixvloed (Gottschalk, 1971-1977). Vooral in het oostelijk deel van het Schelde-estuarium zijn toen grote stukken land aan de zee prijsgegeven, hierdoor ontstond het Verdronken 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 3.2b).

Aan het eind van de Middeleeuwen was ten gevolge van het landverlies in het Oosterschelde estuarium het getijvolume (de hoeveelheid water die het bekken bij vloed in- en bij eb uitstroomt) met miljoenen kubiek meters toegenomen. De monding van het Oosterscheldebekken, gevormd door de Hammen was te klein om het toegenomen getijvolume te verwerken. Als reactie past de Hammen zich aan, door een verdieping en verbreding (Figuur 3.2b) (Kohsiek et al., 1987). In de loop van de 14e en 15e eeuw ontwikkelde zich nabij de

monding een tweede afvoergeul, de Roompot. 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 3.2c). In de 16e eeuw was de Oosterschelde uitgegroeid van een smalle zeearm in de Romeinse tijd tot een breed estuarium met getijdengeulen 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 (Kohsiek et al., 1987).



Figuur 3.2 Ontwikkeling van het zuidwestelijke deel van Nederland sinds 900 na Chr. (naar Fischer, 1997).

Legenda

- Noordzee, zeegaten, getijgeulen
- Rivieren (zoet en brak)
- Strand en duinen
- Getijdengebied
- Lagunes
- Kustveenmoeras
- Hogere gronden
- Bedijkte gebieden

Vanaf het eind van de 19e 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 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. In de Oosterschelde zelf ging men in die periode steeds meer bagger- en kanalisatiewerkzaamheden uitvoeren (Fischer, 1997). Deze ingrepen veroorzaakten in de periode 1870 tot 1960 een getijvolumevergroting van ongeveer 15 % (Van den Berg, 1986). Als reactie hierop ontstond in de monding een nieuwe geul, de Schaar van de Roggenplaat (Kohsiek et al., 1987).

3.3 Recente ontwikkelingen – na de stormvloedramp van 1953

Na de stormvloedramp van 1953 werd in 1959 begonnen met de bouw van de Deltawerken. In 1960 werd de Zandkreekdam aangelegd en in 1961 werd het

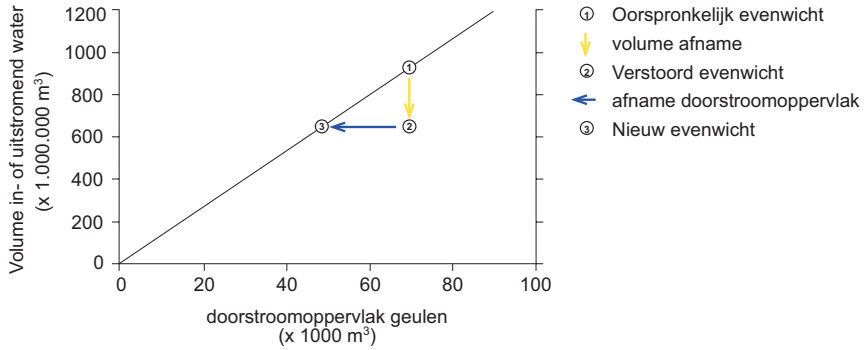
Veerse Gat van de Noordzee afgesloten na de aanleg van de Veersedam. Als gevolg van de sluiting van de Grevelingen (1960-1964) en het Volkerak (1969) nam in de periode 1960-1983 het getijvolume van de Oosterschelde met 7.6% toe. De totale toename van het getijvolume tussen 1872 en 1983 leidde tot een export van 340 miljoen m^3 zand uit de Oosterschelde (Van den Berg, 1986).

In 1986 is begonnen met de bouw van de stormvloedkering. Om een zo groot mogelijk getijverschil (het verschil tussen gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater) te behouden na de aanleg van de stormvloedkering zijn in het oostelijk deel van de Oosterschelde compartimenteringdammen Oesterdam (1986) en Philipsdam (1987) aangelegd. Deze verkleinden het bekkenvolume. In 1993 is het Kanaal door Zuid-Beveland gegraven. Tegenwoordig scheidt slechts een sluis de Oosterschelde van de Westerschelde.

4 De Oosterschelde na de aanleg van de deltawerken

4.1 Zandhonger

Door de bouw van de stormvloedkering is het 'natuurlijk' evenwicht van de Oosterschelde verstoord. Door het verkleinen van de doorstroomopening van de Oosterscheldemonding stroomt er minder water de Oosterschelde in en uit. Het getijvolume is afgenomen. Omdat het getijvolume van een zandige geul lineair gerelateerd is aan het doorstroomoppervlak van de geul, zal de geul kleiner willen worden bij een afname van het getijvolume (Figuur 4.1) (o.a. Van den Berg, 1986). Zolang de opvulling niet is gerealiseerd is er geen evenwicht van het systeem en lijden de geulen "zandhonger".



Figuur 4.1 Evenwichtsrelatie tussen getijvolume en doorstroomoppervlak (naar Kohsiek et al., 1987).

Voor de opvulling van de geulen is zand nodig. Kohsiek et al. (1987) heeft berekend dat ongeveer 400-600 miljoen m^3 zand nodig is om de geulen op te vullen. Volgens Van Maldegem (1998) is de zandhonger van de Oosterschelde 400 miljoen m^3. In deze studies is echter geen rekening gehouden met de verwachte zeespiegelstijging. Bij een relatief grote zeespiegelstijging, waarmee de zandimport geen gelijke tred houdt, zal de zandhonger nog verder toenemen (Kohsiek et al., 1987).

Om de zandhonger te stillen zijn er twee bronnen:

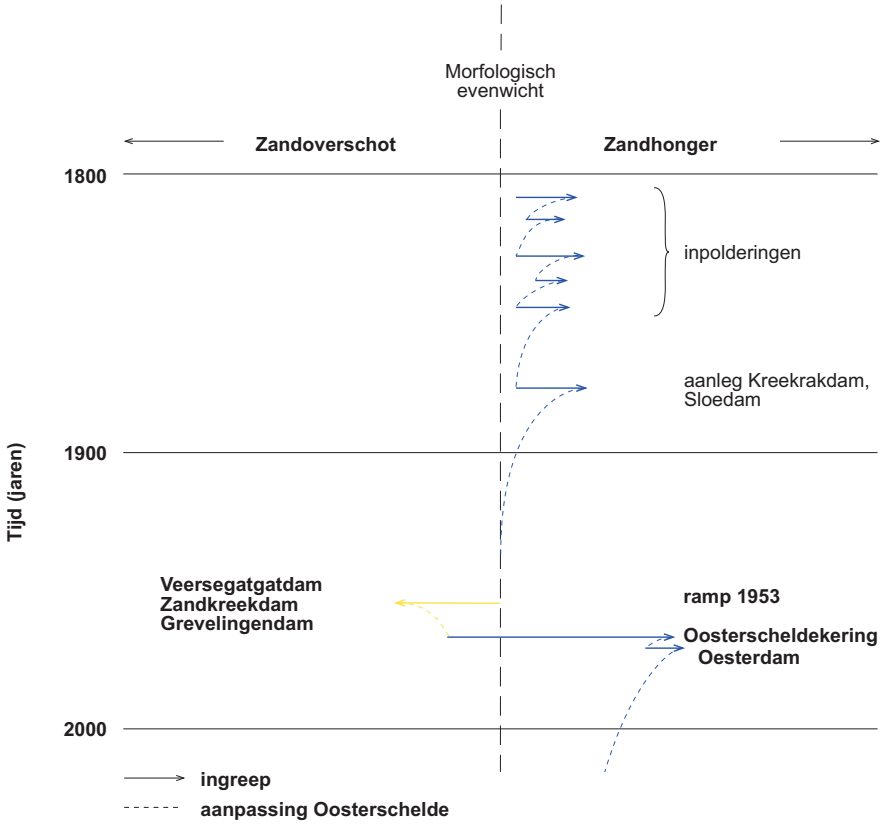
- **Platen, slikken en schorren**
  Door Kosiek et al. (1987) is geschat dat bij volledige afbraak de platen, slikken en schorren slechts 160 miljoen m^3 zand kunnen leveren. Dit betekent een verlies van 3000 tot 3500 ha plaat-, slik- en schorareaal.
- **Noordzee.**
  Door Kohsiek et al. (1987) is geschat dat de zandimport door de kering ongeveer 1 miljoen m^3 zand per jaar is, dit was 2 miljoen m^3 zand per jaar voor de aanleg van de deltawerken (Smaal & Boeije, 1991). Uit sedimenttransportmetingen is echter gebleken dat er na de bouw van de deltawerken zelfs tijdens storm nauwelijks sediment de Oosterschelde in wordt getransporteerd (Ten Brinke, 1990).

Met alleen zand vanuit de Noordzee zal het dus 4 tot 6 eeuwen gaat duren voordat de zandhonger van de Oosterschelde is gestild. Een realistische voorspelling van de toekomstige morfologie van de Oosterschelde zou dan een Oosterschelde nagenoeg zonder platen, slikken en schorren zijn.

4.2 Zandhonger in de tijd

Sinds het ontstaan van de Oosterschelde streeft het systeem naar een dynamisch evenwicht tussen geulen, platen, slikken en schorren. Door de toenemende menselijke invloed op de morfologie van de Oosterschelde is het systeem continu bezig om zich aan te passen aan alle verstoringen van het evenwicht. Door de stormvloeden in de 16e eeuw was ten gevolge van het landverlies in het Oosterschelde estuarium, het getijvolume toegenomen. Er was toen sprake van een zandoverschot. Terwijl de inpolderingen in de 19e eeuw juist tot gevolg hadden dat de Oosterschelde aan zandhonger leed. Alleen door de aanleg van de Veersegatdam, Zandkreekdam en Grevelingendam (jaren 60 van de 20e eeuw) is deze zandhonger weer afgenomen en was er zelfs een relatief zandoverschot in de Oosterschelde. Door de aanleg van de Oosterschelde en de Oesterdam is er sprake van een sterke vermindering van het getijvolume en lijdt de Oosterschelde weer aan zandhonger (Figuur 4.2).

Figuur 4.2 Ontwikkeling van de zandhonger in de Oosterschelde sinds 1800 (naar Roelse, 2002).



Uit het verleden is gebleken dat de Oosterschelde eeuwen nodig gehad om zich aan verstoringen aan te passen. De aanpassingssnelheid van de huidige Oosterschelde aan zijn nieuwe evenwicht wordt bepaald door de grootte van de zandimport vanuit de Noordzee en het verloop van de afbraaksnelheid van de platen, slikken en schorren en laat zich daarom moeilijk te voorspellen.

5 Methode analyse en voorspelling ontwikkeling Oosterschelde

5.1 Morfologie

De verschuiving in morfologische processen die plaatsvinden als gevolg van de aanleg van de Oosterscheldewerken zal gevolg hebben voor het plaat- en slikareaal. Om te komen tot een voorspelling over de gevolgen van de veranderingen in morfologische processen voor de vorm en afmetingen van het intergetijdengebied en het ondiepwatergebied is gebruik gemaakt van de kennis over de morfologische veranderingen van de Oosterschelde sinds de aanleg van de deltawerken.

Daarvoor is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- *vaklodingen.* In het MWTL monitoringsprogramma van Rijkswaterstaat worden geulen opgenomen met zogenaamde vaklodingen. Er is aangenomen dat de fout ongeveer ± 10 cm is voor de plaatranden. De fout wordt groter naarmate de overgang er steiler worden 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 ± 2 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 vaklodingen. Er is aangenomen dat de fout ongeveer ± 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 vakloding van 1983 en de fotogrammetrie van de hooggelegen gebieden in 1983;
- *1993-1995,* deze kaart is samengesteld uit de vakloding van 1993-1995 en de waterpassingen van 1990-1991;
- *2001*, deze kaart is samengesteld uit de vakloding van 1997-2001 en de laseraltimetrie-meting van 2001/2002.

Er is aangenomen dat de hoogte en diepte in 1983 overeenkomt met de situatie vlak voor de aanleg van de stormvloedkering in 1986. De extrapolatie van de morfologische ontwikkeling in de tijd is gebaseerd op de morfologie van de Oosterschelde vóór (1983) èn de morfologie van de Oosterschelde na (1993/1995, 2001) de aanleg van de stormvloedkering.

Na verstoring van het evenwicht zal het systeem zich aan zijn nieuwe evenwichtssituatie gaan aanpassen. Deze aanpassingssnelheid is groter 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). De afname zal exponentieel verlopen exponentieel. De exponent verschilt echter van systeem tot systeem en van ingreep tot ingreep. In dit onderzoek zijn drie scenario's met betrekking tot de aanpassingssnelheid van het systeem aan het nieuwe evenwicht gedefinieerd (Figuur 5.1):

- *snelle 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 5.1a).
- *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 5.1b).
- *langzame 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 5.1c).

Omdat de drie scenario's niet significant van elkaar verschillen voor een voorspelling van de morfologie van de Oosterschelde in 2010 is in de analyses uitgegaan van een gemiddelde aanpassingssnelheid van het systeem. Voor een nadere uitwerking hiervan wordt verwezen naar Hesselink et al. (in prep).

5.2 Morfologische verandering

Om de morfologische verandering van de Oosterschelde sinds de bouw van de Oosterscheldewerken te voorspellen is de mate van aanzanding en erosie geanalyseerd. Deze analyse is uitgevoerd in:
- het horizontale vlak, door verschillende hoogte-/ dieptekaarten van elkaar af te trekken, en
- het verticale vlak, door de Oosterschelde op te delen in verschillende dieptezones.

Voor de analyse in het verticale vlak 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).

Omdat de karakteristieke sedimentatie- en erosiesnelheid verschilt van plaats tot plaats en wordt bepaald door een combinatie van de drijvende krachten (stroomsnelheid, getij, golfwerking) en de weerstandsbepalende factoren (korrelgrootte en resistente afzettingen) is de analyse uitgevoerd voor de Oosterschelde als geheel en voor de vier deelgebieden.

5.3 Droogvalduur

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

De tijdsduur dat een bepaald oppervlak intergetijdengebied droogvalt wordt gereconstrueerd door eerst de kans dat een bepaalde waterstand op een bepaalde locatie gedurende een bepaalde tijdsperiode voorkomt te berekenen. Hiervoor zijn de waterstandgegevens 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 doodtij, windkracht en -richting meegenomen in de berekening van de droogvalduur. Na het bepalen van de kansverdeling kan de de droogvalduur (in procenten) voor iedere hoogte van het intergetijdengebied bepaald worden, waarna de droogvalduurkaart gereconstrueerd kan worden.

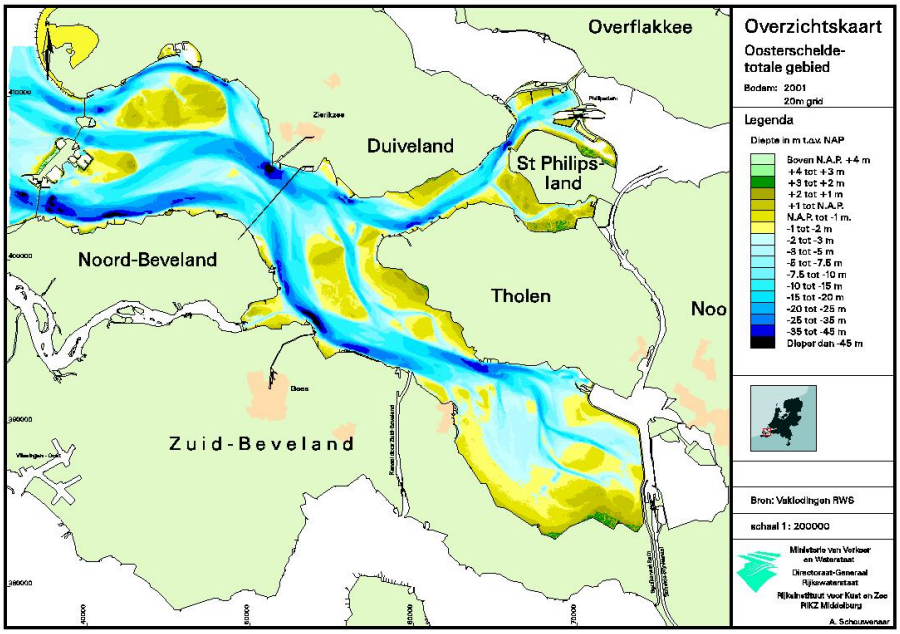
Voor 2010 is gebruik gemaakt van de waterstanden in 2001, dat wil zeggen dat er geen rekening is gehouden met een eventuele aanpassingen van de waterstand aan een veranderde morfologie.

Variatie in de waterstand als gevolg van de 18,6-jarige getijcyclus is verwaarloosd, omdat ten tijde van de hoogte-/ dieptemetingen van 1983, 1993-1995 en 2001 en de voorspelling van de hoogte-/ diepte in 2010 de waterstandsverhoging als gevolg van de 18,6-jarige getijcyclus gelijk 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 (Svasek, 1998).

6 Morfologische verandering van de Oosterschelde sinds de aanleg van de deltawerken

6.1 Hoogte intergetijdengebied

In 2001 ligt het grootste deel van het intergetijdengebied tussen NAP –1 m en NAP +1m (Figuur 6.1). In de Kom van de Oosterschelde ligt het intergetijdengebied hoger, op gemiddeld 1,40m (Tabel 6.1). Dit komt doordat het Verdronken Land van Zuid-Beveland erg hoog ligt (tussen NAP –2m en NAP +3m). Ook de slikken van Viane en de slikken in de Krabbenkreek liggen hoog, respectievelijk ongeveer NAP en ongeveer NAP +1m.



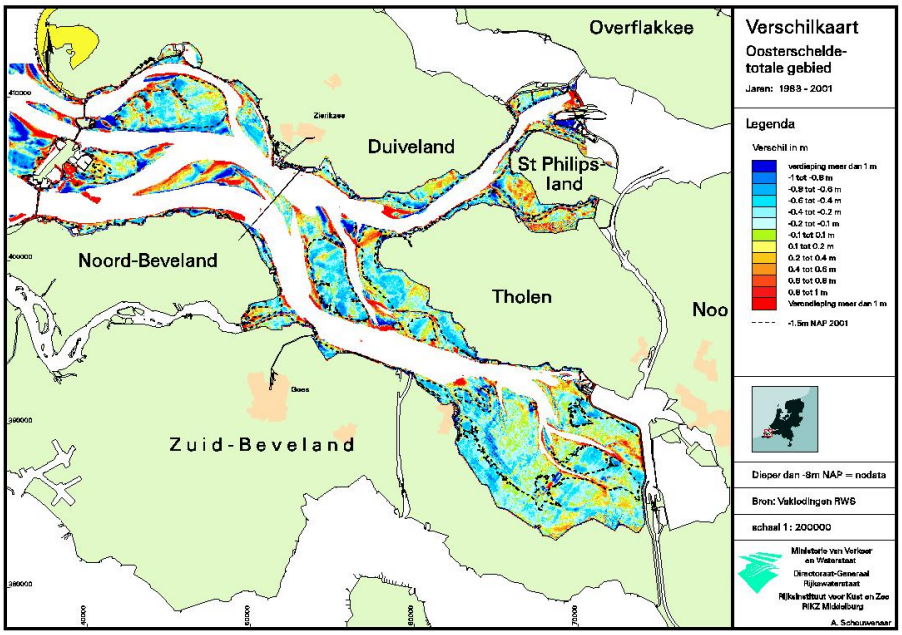
Figuur 6.1 Hoogte/ dieptekaart van de Oosterschelde in 2001.

Sinds 1986 is er gemiddeld over het gehele bekken sprake van een netto erosie van het intergetijdengebied (Tabel 6.1). Deze erosie heeft geleid tot afvlakking en een gemiddelde verlaging van het intergetijdengebied van 15 cm. Dit komt overeen met een afname in de gemiddelde hoogte van iets minder dan 1 cm per jaar. In de monding en het middendeel van de Oosterschelde neemt de gemiddelde hoogte het sterkst af in de periode 1983-1993. In de Noordelijke tak en de Kom van de Oosterschelde is de sterkste afname in de periode 1993-2001.

Tabel 6.1 Gemiddelde hoogte intergetijdengebied in de periode 1983-2001 (m t.o.v. NAP).

	Monding		Midden		Noordelijke tak		Kom	
	hoogte	verschil	hoogte	verschil	Hoogte	verschil	hoogte	Verschil
1983	1,28		1,12		1,04		1,54	
1993	1,16	-0,12	0,97	-0,15	1,00	-0,04	1,52	-0,02
2001	1,15	-0,01	0,90	-0,03	0,93	-0,07	1,40	-0,12

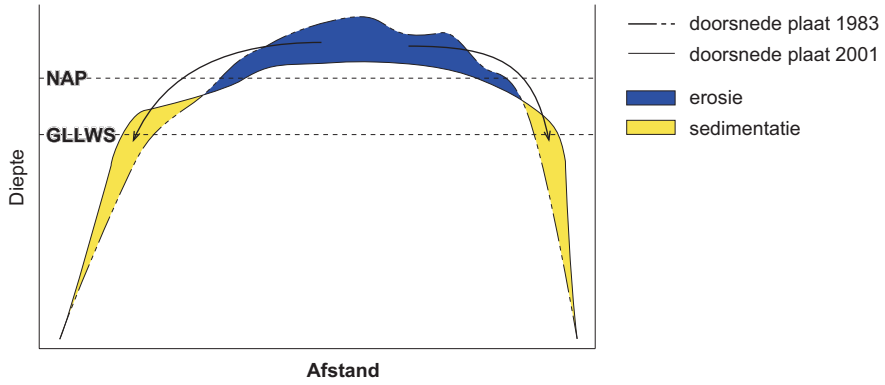
De centrale delen van de platen en slikken zijn het meest gevoelig voor erosie. De verlaging varieert hier tussen 0,2 en 1,0 m (Figuur 6.2, blauwe tinten). Lokaal wordt er zand gesedimenteerd op de platen en de slikken (tot 0,5 m). Het meeste sediment wordt afgezet rondom de platen en slikken, waar nabij de laagwaterlijn soms meer dan 1,0 m zand is afgezet (Figuur 6.2, rode zones om de platen en slikken, langs de geulen).



Figuur 6.2 Verschil hoogte/ dieptekaart 1983 en hoogte/ dieptekaart 2001 van de Oosterschelde.

6.2 Oppervlakte en volume intergetijdengebied

Door veranderingen in hoogteligging en afvlakking van het intergetijdengebied is dit gebied 942 ha kleiner geworden in de periode 1983-2001. Het ondiepwatergebied is in deze periode juist 947 ha gegroeid. Dit is geïllustreerd in Figuur 6.3. In tabel 6.2 en tabel 6.3 is het oppervlakte intergetijdengebied en ondiepwatergebied sinds 1983 weergegeven.



Figuur 6.3 Ontwikkeling van de platen in de Oosterschelde na de aanleg van de deltawerken.

Tabel 6.2 Oppervlakte intergetijdengebied in de periode 1983-2001 (ha).

	Monding hoogte	verschil	Midden hoogte	verschil	Noordelijke tak Hoogte	verschil	Kom hoogte	Verschil
1983	2427		3324		2000		3503	
1993	2287	-140	3150	-174	1977	-23	3382	-121
2001	2233	-54	3104	-46	1854	-123	3121	-261

Tabel 6.3 Oppervlakte ondiepwatergebied in de periode 1983-2001 (ha).

	Monding hoogte	verschil	Midden hoogte	verschil	Noordelijke tak Hoogte	verschil	Kom hoogte	Verschil
1983	2839		2186		4290		1052	
1993	3028	189	2394	208	4408	118	1091	39
2001	3078	50	2453	59	4690	282	1093	2

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 trends te onderscheiden. In de monding en het middendeel van de Oosterschelde neemt het oppervlak intergetijdengebied het sterkst af in de periode 1983-1993. In de Noordelijke tak en de Kom van de Oosterschelde is de sterkste afname van het areaal intergetijdengebied in de periode 1993-2001. Dit betekent ook dat het volume intergetijdengebied in de monding en het middendeel van de Oosterschelde het sterkst afneemt in de periode 1983, terwijl het volume intergetijdengebied in de Noordelijke Tak en de Kom van de Oosterschelde de sterkste afname vertoont in de periode 1993-2001 (Tabel 6.4). De toename areaal ondiepwatergebied is het sterkst in de periode 1983-1993, met uitzondering van de toename ondiepwatergebied in de Noordelijke tak, dat het sterkst groeit in de periode 1993-2001.

Tabel 6.4 Volume intergetijdengebied boven gemiddeld laag water in de periode 1983-2001 (× 1.000.000 m^3).

	Monding hoogte	verschil	Midden hoogte	verschil	Noordelijke tak Hoogte	verschil	Kom hoogte	Verschil
1983	31		37		31		37	
1993	27	-4	31	-6	30	-1	34	-3
2001	26	-1	28	-3	26	-4	29	-5

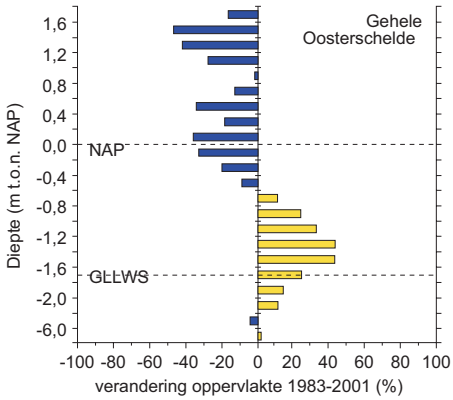
De ontwikkeling van het volume van het intergetijdengebied vertoont een geleidelijke afname sinds de aanleg van de deltawerken (Tabel 6.4). Deze afname bedraagt gemiddeld 1% per jaar.

6.3 Areaal plaat per dieptezone

In het algemeen wordt het geërodeerde materiaal afgezet rond de laagwaterlijn op de ondiepe onderwateroever (Figuur 6.4). De gevolgen zijn een algehele afvlakking van de plaat en een verflauwing van het talud van het ondiepwatergebied.

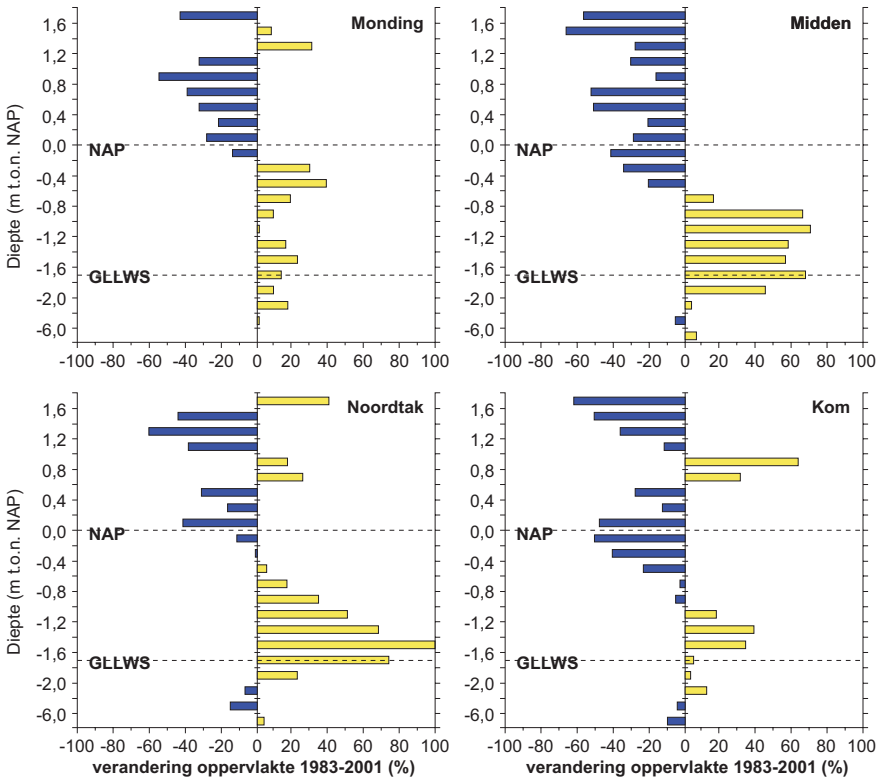
In de Oosterschelde is erosie overheersend boven NAP –0,6 m. Twee zones rond NAP m en NAP +1,4 m worden gekenmerkt door procentueel de grootste afname van het oppervlak. Rond NAP +0,9 m is deze afname te verwaarlozen klein. Het sediment wordt afgezet in de zone tussen NAP –0,8 m en NAP –4,0 m, met een piek rond NAP –1,4 m (de laagwaterlijn). Beneden NAP –4,0 m is zowel erosie als sedimentatie verwaarloosbaar klein. Het omslag punt waar erosie over gaat in sedimentatie verschilt per deelgebied (Figuur 6.5). 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

Figuur 6.4 Verandering van oppervlaktes intergetijdengebied 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.



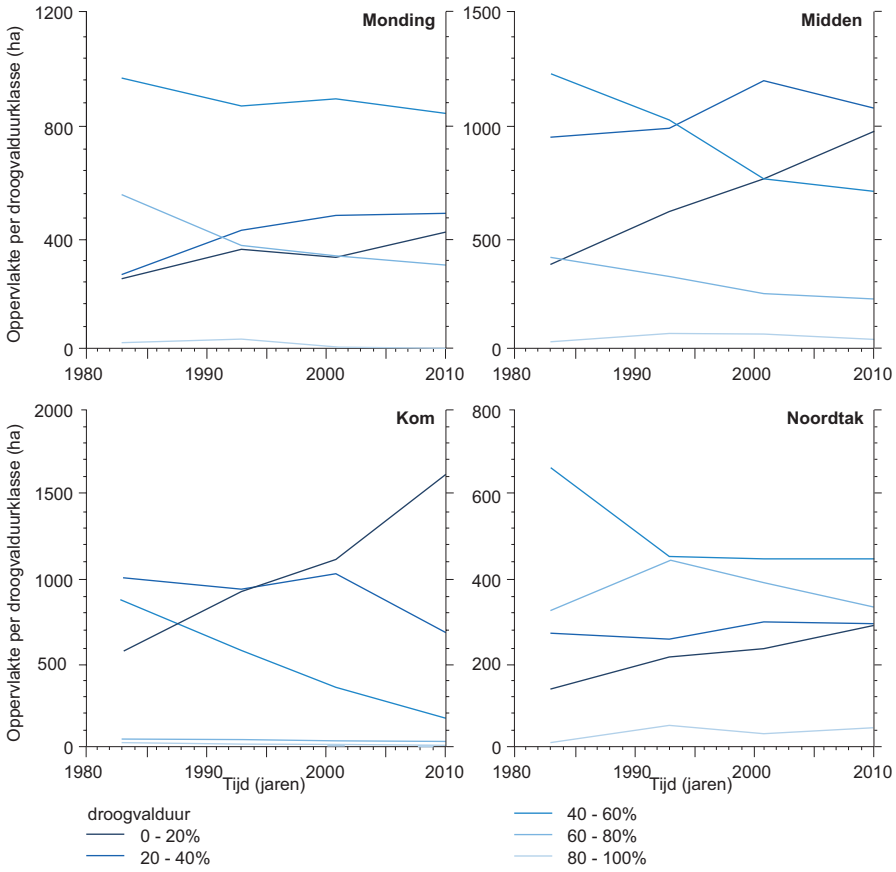
respectievelijk NAP –0,6 m en NAP –1,0 m. De deelgebieden Monding, Noordelijke tak en Kom worden gekenmerkt door het lokaal voorkomen van sedimentatie boven het omslagpunt. Dit ligt in de deelgebieden Noordelijke tak en Kom rond NAP +1,0 m. Op het deelgebied Monding na ligt de sedimentatiepiek rond de laagwaterlijn. In de Monding groeit het oppervlak intergetijdengebied 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 deltawerken het wantij, en de kom kende voor de aanleg van de Oesterdam een grotere getijslag.

Figuur 6.5 Verandering van oppervlaktes intergetijdengebied 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 verandert de overspoelingsfrequentie van het intergetijdengebied van de Oosterschelde (Figuur 6.6). In tabel 6.5 is het areaal voor 5 verschillende droogvalduurklassen voor de periode 1983-2001 en de prognose 2010 weergegeven voor de gehele Oosterschelde. Het areaal intergetijdengebied dat voor het grootste deel van de tijd droogvalt neemt af met gemiddeld 30%. Dit is 338 ha voor de droogvalduurklasse 60 - 80% en 1272 ha voor de droogvalduurklasse 40 - 60 %. Het areaal intergetijdengebied 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 oppervlakte veranderingen van de droogvalduurklasse 80 – 100% is niet significant.



Figuur 6.6 Oppervlakte intergetijdengebied per droogvalduurklasse (als % van de totale tijd) in de periode 1983-2001 en als prognose voor 2010 voor de verschillende deelgebieden van de Oosterschelde.

Tabel 6.5 Oppervlakte intergetijdengebied per droogvalduurklasse (als % van de totale tijd) in de periode 1983-2001 en als prognose voor 2010 voor de Oosterschelde (ha).

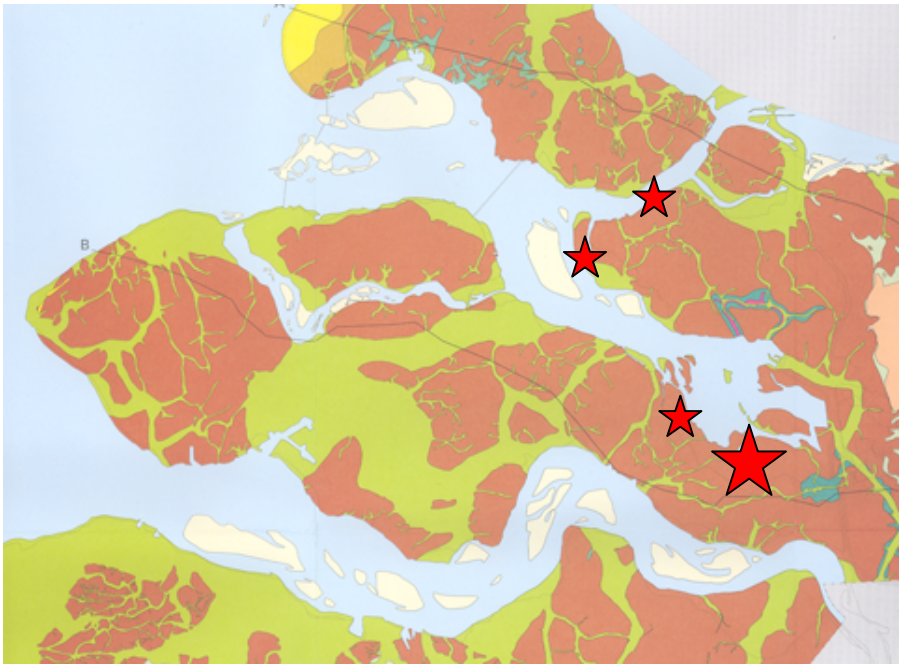
	0 – 20 %		20 - 40 %		40 - 60 %		60 - 80 %		80 - 100 %	
	opp.	versch.	opp.	versch.	opp.	versch.	opp.	versch.	opp.	versch.
1983	1303		2463		3695		1303		66	
1993	2078	775	2570	107	2885	-810	1148	-155	145	79
2001	2384	306	2953	383	2423	-462	965	-183	82	-63
2010	3230	846	2504	-449	2142	-281	838	-127	81	-1

De deelgebieden worden in het algemeen gekenmerkt door dezelfde trends in areaal verandering intergetijdengebied per droogvalduurklasse zoals waargenomen voor de Oosterschelde als geheel (Figuur 6.6). Wat opvalt is de overheersing van het intergetijdengebied dat 40 tot 60% van de tijd droogvalt

in het deelgebied Monding. Het areaal met een droogvalduur 40 – 60% is hier 40% van het totale intergetijdengebied. 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 totoale intergetijdengebied. 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%.

7 Discussie

In dit werkdocument is een methode gepresenteerd om de morfologische verandering van de Oosterschelde tot 2010 te extrapoleren. De betrouwbaarheid van de voorspelling hangt af van de samenstelling van de ondergrond van het intergetijdengebied. Na de aanleg van de deltawerken is een deel van de zandige en kleiige slikken en schorren geërodeerd. Door de hoogteverandering van het intergetijdengebied tot 2010 te baseren op de hoogteverandering van het intergetijdengebied in de voorliggende periode, is impliciet aangenomen dat het restant van de slikken en schorren in 2003 uit hetzelfde materiaal bestaan als het materiaal dat is geërodeerd in de periode 1983-2003. Uit de beschrijving van de geologische ontwikkeling van de Oosterschelde (zie § 3) is echter bekend dat er een veenlaag in de ondergrond van de slikken en schorren aanwezig is (Figuur 7.1).



Figuur 7.1 Het voorkomen van veen in de ondergrond van Zeeland. Met een rode ster is aangegeven waar veen aan het oppervlak komt.

Dit betekent:

- dat er minder zand in het intergetijdengebied van de Oosterschelde aanwezig is om de "zandhonger" van de Oosterschelde te stillen;
- dat waar de veenlaag aan het oppervlak komt, de afnamesnelheid van het intergetijdengebied zal veranderen. Omdat veen als eigenschap heeft dat het moeilijk erodeerbaar is, zal de erosiesnelheid van de slikken en schorren vanaf dat moment afnemen.

Het afnemen van de zandige en kleiige toplaag van de slikken en schorren en daardoor aan het oppervlak komen van veen heeft ook negatieve consequenties voor de habitatgeschiktheid van deze slikken en schorren voor kokkels. (mond. med. drs. D.J. de Jong, RWS-RIKZ).

8 Conclusie

Door de aanleg van de deltawerken 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, slikkenen schorren kan hooguit 150 miljoen m^3 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 van1986 tot 2001 sprake van netto erosie van het intergetijdengebied van 942 ha. Het ondiepwatergebied groeit in dezelfde periode met 947 ha. De gemiddelde hoogte van het intergetijdengebied neemt af met 15 cm en het volume van het intergetijdengebied neemt af met 28 miljoen m^3. 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 deltawerken is de droogvalduur van het intergetijdengebied verandert. Het areaal dat voor het grootste deel van de tijd droogvalt neemt af gemiddeld 30% (ruim 1600 ha). Het areaal intergetijdengebied dat meer dan de helft van de tijd onder water staat is toegenomen met ruim 1500 ha. Het netto verlies aan intergetijdengebied zal tot 2010 in een onverminderd tempo doorgaan en zal naar schatting 500 ha bedragen en de gemiddelde hoogte zal met ongeveer 9 cm afnemen. De trend in areaalontwikkeling van de droogvalduurklassen zet zich door tot 2010.

De geconstateerde verandering van de morfologie van de Oosterschelde blijkt de habitatgeschiktheid vook kokkels te beïnvloeden, hiervoor wordt verwezen naar het samenvattende EVA II rapport 'Veranderende draagkracht van de Oosterschelde voor kokkels', Geurts van Kessel et al., 2003.

9 Literatuur

Fischer, M.M. (Red.) (1997), Holocene evolution of Zeeland (SW Netherlands). Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Mededelingen 59.

Geurts van Kessel, A.J.M., B.J. Kater, T.C. Prins (2003), Veranderende draagkracht van de Oosterschelde voor kokkels. Rapportage van de Thema's 2 & 3 van het 'Lange Termijn Onderzoeksprogramma Oosterschelde' in het kader van EVA II. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Rapport RIKZ/2003.043, Rapport RIVO 062/03.

Gottschalk, M.K.E. (1971-1977), Stormvloeden en rivieroverstromingen in Nederland. I. De periode vóór 1400.- II. De periode 1400-1600.- III. De periode 1600-1700. Assen: Van Gorcum.

Hesselink, A.W., D.C. Van Maldegem, K. Van der Male, B. Schouwenaar (in prep.). Zandhonger in de Oosterschelde.

Kohsiek, L.H.M., J.P.M. Mulder, T. Louters, F. Berben (1987), De Oosterschelde naar een nieuw onderwaterlandschap. Rijkswaterstaat, Dienst Getijde Wateren, Geomor nota 87.02.

Smaal, A.C. & R.C. Boeije (1991), Veilig getij, de effecten van de waterbouwkundige werken op het getijdemilieu van de Oosterschelde. Rijkswaterstaat, Dienst Getijde Wateren, GWWS nota 91.088.

Svasek (1998), Lange termijn gedrag Westerschelde; definitiestudie zeespiegelstijging.

Ten Brinke, W.C.T.M. (1990), Zandtransport door de stormvloedkering bij storm. Geografisch Instituut, Vakgroep Fysische Geografie, Rijks Universiteit Utrecht, Rapport Geopro 1990.05.

Van Berchum, A.M. & G. Wattel (1997), De Oosterschelde van estuarium naar zeearm. Bekkenrapportage 1991-1996. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Rapport RIKZ-97.034.

Van den Berg, J.H. (1986). Aspects of sediment and morphodynamics of subtidal deposits of the Oosterschelde. Rijkswaterstaat, Communications 43.

Van Maldegem, D.C. (1998), Literatuuronderzoek zandhonger Oosterschelde. RIKZ werkdocument RIKZ/AB-98.827x