

Opwassen of verdrinken

Sedimentaanvoer naar schorren in de Oosterschelde, een zandhongerig gedempt getijdesysteem

Eindrapportage monitoring kaolienveldjes Oosterschelde

Werkdocument: RIKZ/AB/2003/826x

Oktober 2004

Auteurs: Dirk van Maldegem & Dick de Jong

Project MON*MORF

Colofon

Metingen Meetinformatie Dienst Zeeland:
Medewerking + mondelinge info Kees Joosse

Hydromorfologische data VCZ:
Medewerking Tonny Bouwense

Foto's:
Kees Joosse

GIS bewerkingen:
Bram Schouwenaar

Informatie schorverdediging:
Jaap Consemulder

Interne review:
Piet Roelse

Omslag:
Jan van den Broeke

Inhoudopgave

Samenvatting	5
1. Inleiding	7
2. Gebiedsbeschrijving	9
3. Morfologische toestand van de Oosterschelde	13
3.1 Huidige situatie	13
3.2 Zandhonger	13
3.3 Stroomsnelheid en sedimentconcentratie.....	14
3.4 Doorzicht en zwevende stof	14
3.5 Beschikbaarheid van sediment voor ontwikkeling van schor	14
4. Processen i.v.m. opbouw en afbraak van de schorren	17
4.1 Algemeen.....	17
4.2 Windgolven	17
4.3 Getijhoogte en getijstroom	18
4.4 Sedimenttransport en sedimentatie	18
4.5 Stagnant peil	19
4.6 Verandering van de processen t.g.v. de Deltawerken	19
5. Uitgevoerde metingen op de schorren	21
5.1 Meten van sedimentatie met kaolien	21
5.2 Profielhoogtemetingen	25
5.3 Vegetatie.....	25
5.4 Bodembemonstering en analyse	25
5.5 Database van kaolien en vegetatie opnamen.....	26
5.6 Opname van slik-schorprofielen.....	26
6. Resultaten (van de metingen op de schorren)	27
6.1 Algemeen.....	27
6.2 Sedimentatiesnelheid en hoogteligging van de kaolienveldjes	27
6.3 Samenstelling van het sediment	28
6.4 Vegetatie.....	29
6.5 Ontwikkeling schorkliffen.....	30
6.6 Historische data over sedimentatie	30
7. Hydromorfologische factoren en de doorwerking daarvan	33
7.1 Wind en golven	33
7.2 Hoogwaterstanden en stagnante waterstanden	34
7.3 Relatieve zeespiegelrijzing.....	35
7.4 Overspoeling schorren	36
8. Discussie en synthese	37
8.1 Sedimentatiesnelheid kaolienveldjes in relatie tot morfologische aspecten	37
8.2 Sedimentatiesnelheid kaolienveldjes in relatie tot de hydraulische factoren	37
8.3 Sedimentatiesnelheid versus relatieve zeespiegelrijzing	38
8.4 Sedimentatiesnelheid versus vegetatie	39
8.5 De herkomst van het sediment van de schorren	39
8.6 Integratie van de verschillende processen	42
9. Conclusies en aanbevelingen	45
Referenties	47

Bijlagen

Samenvatting

Deze rapportage geeft de resultaten weer van twee decennia monitoring van de sedimentatie op drie schorren in de Oosterschelde en de invloed hiervan op de netto hoogteligging. Deze resultaten zijn mede een maat voor de ontwikkeling van de schorren in de Oosterschelde in de toekomst.

Bij de interpretatie is uitgegaan van de werking van de fysische processen in een getijdesysteem met een enorm tekort aan zand in de geulen. Uit de resultaten is afgeleid hoe groot de sedimentaanvoer naar de schorren is geweest en wat de invloed van diverse hydromorfologische factoren hierop is. Tevens is getracht de vraag te beantwoorden hoe de ontwikkeling zich verhoudt tot de relatieve zeespiegelrijzing.

De trend is dat sedimentatie van de schorren na de aanleg van de Oosterscheldewerken met een factor 2 is verminderd, wat in grote lijnen overeenkomt met wat destijds is voorspeld. De sedimentatie correleert het sterkste met het golfklimaat ter plaatse van de schorren. Verder landinwaarts in het schor neemt de sedimentatie af.

Er bestaat geen duidelijke relatie tussen de mate van sedimentatie en de vegetatie.

Het sediment is vermoedelijk vooral afkomstig uit het voorland en mogelijk ook voor een deel van de eroderende kliffen.

Een duidelijk effect van stormen en sluitingen van de kering is niet gevonden.

De eindconclusie is dat de schorren qua hoogte de relatieve zeespiegelrijzing kunnen bijhouden bij het minimum scenario hiervoor (ca 20 cm in 100 jaar). Bij het maximum scenario (ca 85 cm in 100 jaar) houdt de aanslibbing de zeespiegelstijging niet bij en zullen alle schorren op termijn verdrinken. Bij het midden scenario (ca 60 cm per 100 jaar) kunnen alleen de schorren bij Rattekaai en vermoedelijk ook enkele kleinere schorgebiedjes die onder de dezelfde condities als Rattekaai zijn gelegen, de zeespiegelstijging bijhouden, maar de andere schorren niet. Aanbevolen wordt dit soort effecten nader te kwantificeren door de schorren iedere 3 jaar op te meten qua hoogte en na verloop van enkele meetcycli hierover te rapporteren. Daarnaast kan worden gezocht naar mogelijke maatregelen voor duurzame oplossingen voor het behoud van de schorren.

1. Inleiding

Veranderde Oosterschelde

In 1985/87 is in de monding van de Oosterschelde de stormvloedkering gebouwd en zijn de compartimenteringdammen aangelegd. Het gevolg is dat het getij en de stroomsnelheden sterk zijn gereduceerd en er nauwelijks aanvoer plaatsvindt van sediment vanuit de Voordelta. En als gevolg hiervan dat de platen langzaam eroderen en de schorkliffen afkalven.

Opdracht

In opdracht van Rijkswaterstaat directie Zeeland zijn op enkele schorren in de Oosterschelde metingen verricht om de ontwikkeling qua sedimentatie en bodemhoogte in de nieuwe situatie in beeld te kunnen brengen. Hierbij is de vraag hoe deze ontwikkeling zich verhoudt tot de relatieve zeespiegelrijzing. De vrees was namelijk dat na in gebruik name van de Oosterscheldekering de sedimentaanvoer naar het schor mogelijk zou afnemen, zodat de schorren de zeespiegelstijging niet zouden kunnen bijhouden en daardoor 'verdrinken'.

Kaolienveldjes

De sedimentatie is gevolgd door het regelmatig opnemen van zogenaamde kaolienveldjes. Hiermee kan de sedimentaanvoer naar het schor worden bepaald. De resultaten van de sedimentatiemetingen werden in 1994 [Schrauwen, 1994] en 1997 [van Berchum & Wattel, 1997] voor het laatst gerapporteerd. In de eerste rapportage werden aanbevelingen gedaan t.a.v. de opname van de kaolienveldjes.

Recente opnamen

Vanaf 1994 zijn de kaolienveldjes op de schorren bij Rattekaai, St Annaland en het Slaak volgens deze aanbevelingen gevolgd. De kaolienveldjes zijn in september 2003 voor de laatste keer opgenomen. De resultaten van de periode 1994 – 2003 zijn in dit eindrapport vastgelegd. Hiermee kan het onderzoek in principe worden afgesloten. Bij de bespreking van de resultaten wordt teruggeblikt naar de eerdere resultaten.

Hypothese

Voorafgaand aan deze eindrapportage werd de volgende hypothese geformuleerd: "Door de veranderde hydrodynamiek is het sediment nagenoeg uit het water verdwenen, inclusief het fijne sediment, waardoor de opslibbing van de schorren sterk is verminderd. Opslibbing is alleen nog mogelijk, of met voornamelijk sediment van het slik voor het schor, leidend tot een zandiger sediment dan voorheen op het schor, of voornamelijk via de kliferosie van het schor zelf, leidend tot gelijkblijvende slibrijke schorren".

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een gebiedsbeschrijving.

Hoofdstuk 3 beschrijft in grote lijnen de morfologische toestand van de Oosterschelde. Dit met het oog op de sedimenthuishouding die van belang is voor de opbouw van de schorren.

Hoofdstuk 4 gaat in op de processen die spelen bij de opbouw en afbraak van de schorren

Hoofdstuk 5 behandelt de methodiek van de monitoring met behulp van kaolienveldjes.

Hoofdstuk 6 presenteert de resultaten van de meetperiode 1994 – 2003.

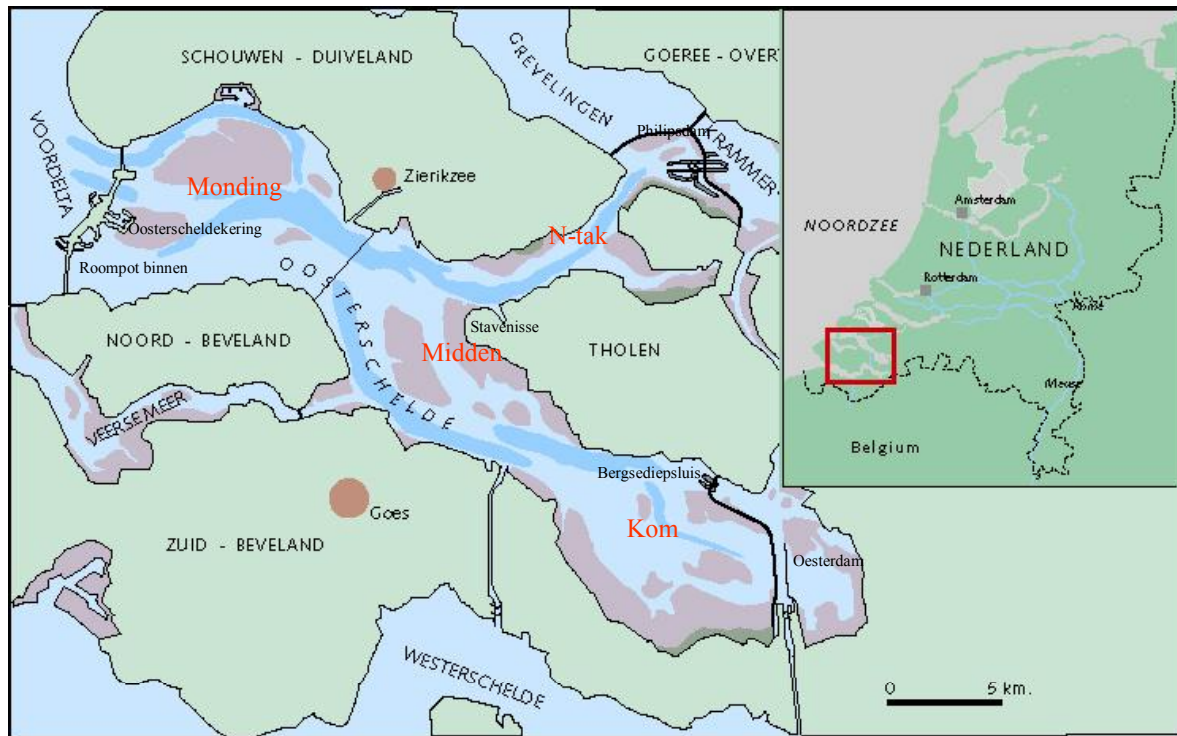
Hoofdstuk 7 gaat in op de hydromorfologische factoren en de doorwerking daarvan voor de schorren

Hoofdstuk 8 integreert alle resultaten en komt hiermee tot een synthese en tevens discussie

Hoofdstuk 9 sluit af met de conclusies en aanbevelingen.

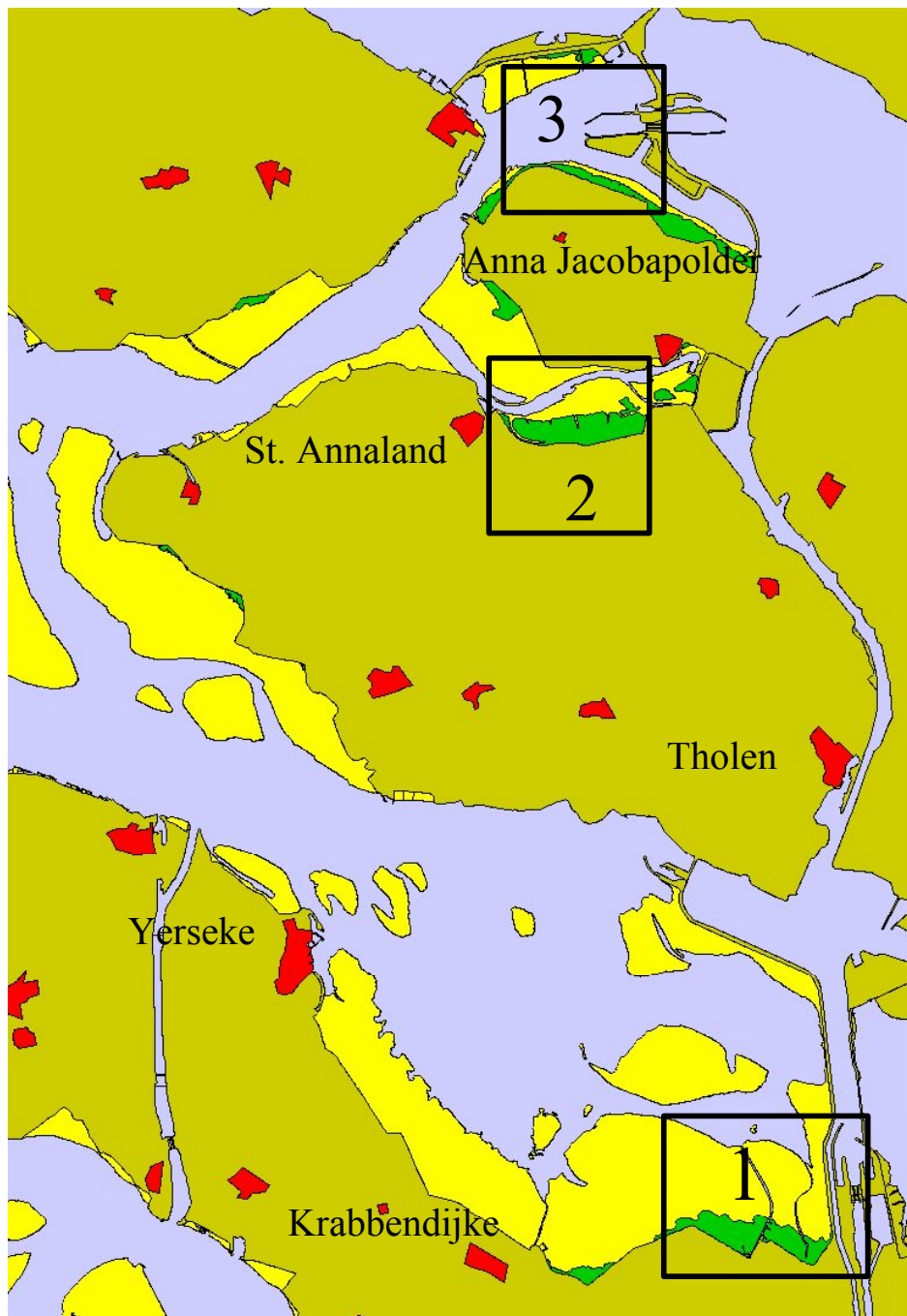
2. Gebiedsbeschrijving

De Oosterschelde maakt onderdeel uit van de Nederlandse Delta (Figuur 1). Naast de Westerschelde en de Voordelta als getijdensystemen, bestaat de Delta uit het zoute Grevelingenmeer, het van brak naar zout water evoluerende Veerse meer en vele zoete meren zoals Krammer–Volkerak en Haringvliet (Figuur 1).



Figuur 1. Ligging van de Oosterschelde in de Nederlandse delta.

De Oosterschelde is te kenschetsen als een gedempt getijdenbekken met als buitendijks gelegen gebieden de schorren, geulen, platen en slikken (Figuur 2). Het schor ligt boven gemiddeld hoogwater (GHW). De platen en slikken liggen tussen GHW en gemiddeld laag water (GLW).



Figuur 2. Locatie van de buitendijkse gebieden in de Oosterschelde voor specifiek de onderzoeksgebieden 1. Rattekaai, 2 St Annaland, 3. Slaak (Anna Jacobapolder-west)

Het gedempt getij is ontstaan in 1986 door de bouw van de stormvloedkering. Met de aangelegde compartimenteringdammen Oesterdam (1986) en Philipsdam (1987) zijn deze onderdeel van het Deltaplan. Het oorspronkelijke getijregiem met bijhorende watervolumen, waterstanden en stroomsnelheden werd hierdoor sterk gereduceerd. Het verticaal getij werd met ca 10% verminderd, waardoor de schorren minder vaak worden overspoeld. Met de aanleg van deze werken is tevens de aanvoer van sedimenten vanuit de Voordelta en rivieren (vrijwel) afgesneden.

Dit rapport bespreekt de sedimentatie van de drie grootste schorgebieden in de Oosterschelde op basis van een beperkt monitor programma. Deze schorgebieden vertegenwoordigen ca. 85% van de schorren in de Oosterschelde [van der Pluijm & de Jong, 1998]. Ieder van deze schorgebieden is op zich uniek qua

ligging, vorm en historie. Voor de schorgebieden waar is gemonitored zijn een aantal kenmerken gegeven (Tabel 1).

Naam	ha in 1995	Ligging t.o.v. wind - max strijklengte	Relatieve hoogteligging tot 1983	Relatieve hoogteligging medio 1995	Krekenpatroon en voorland
St Annaland	177	NW - 5 km	Laag-midden	Midden-hoog	Enkele brede doorgaande kreken met middelhoog voorland (afstand klif tot LW lijn ca 700 m)
Rattekaai	135	NNW – 10 km	Laag-hoog	Laag-hoog	Enkele brede diepe en veel smalle ondiepe kreken met hoog voorland (afstand klif tot LW lijn ca 2000 m)
Slaak	130	NW 3 km	Laag	Laag-midden	Regelmatig een korte kreek in smal schor met laag voorland (afstand klif tot LW lijn ca 200 m)

Tabel 1. Typering van de schorgebieden St Annaland, Rattekaai en Slaak

Slaak ligt het meest in de luwte, terwijl Rattekaai het minst in de luwte ligt voor de wind. Rattekaai daarentegen heeft evenals St Annaland een middelhoog tot hoog voorland. Alle gebieden hebben gemeenschappelijk dat ze zich achterin het getijdebekken bevinden. Het stroomvoerend vermogen van het getij zal daarom hoofdzakelijk komvullend zijn. Voorlangs het schor van St Annaland is wellicht nog enigszins sprake van stroomvoerend vermogen.

Het schorklif langs het Slaak "Rumoir" is in de periode 2002 –2003 verdedigt over een afstand van drie kilometer, door een dam van speciaal doorlatend textiel en bundels rijshout, waarop breuksteen is gestort, tegen het schorklif.

De overige schorgebiedjes (niet gemarkeerd in figuur 2) in de afzonderlijke deelgebieden van de Oosterschelde zijn:

- Noordtak: Plaat van Oude Tonge (5 ha), schor van Krabbenkreek noord (9 ha), schor van Sint Philipsland (3 ha), slikken van Viane (12 ha), schor bij Zijpe (ca 3 ha)
- West/Middendeel: schor bij Gouweveer polder (4 ha), slikken van de Dortsman (12 ha), slikken bij Kattendijke (1 ha), slikken bij Kats (1 ha), slikken noordkust Noord Beveland (Oesterput) (6 ha), Zandkreek (2 ha)
- Kom: schor bij Stroodorpolder (25 ha).

3. Morfologische toestand van de Oosterschelde

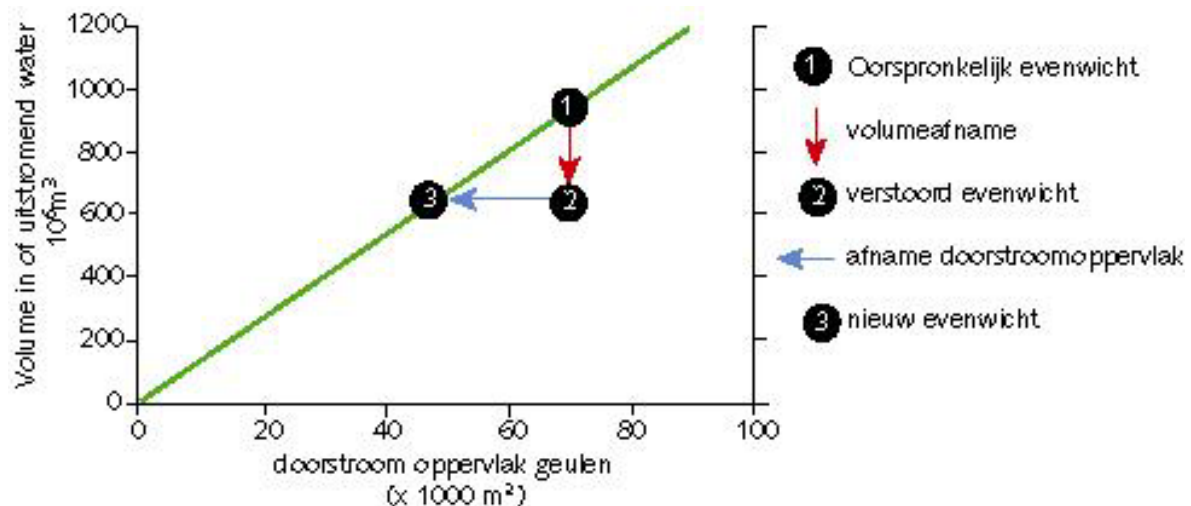
3.1 Huidige situatie

Sinds de aanleg van de stormvloedkering is de ligging van de geulen en intergetijdengebieden (platen, slikken en schorren) in grote lijnen weinig veranderd. Anders staat het met de hoogte van de intergetijdengebieden. Deze gebieden zijn onder invloed van het sterk gereduceerde aan het afvlakken. Er vindt netto geen opbouw meer plaats van de platen en slikken, maar erosie [Geurts van Kessel et al, 2003]. Het geërodeerde zand zet zich af rond en vooral beneden de Gemiddeld Laag Water lijn. Deze erosie van de intergetijdengebieden komt omdat de opbouw van de platen sterk is verminderd door de afgenomen stroomsnelheden, terwijl de eroderende werking van de golven onverminderd doorgaat. Mogelijk is deze zelfs nog wat versterkt doordat de golfkrachten meer zijn geconcentreerd op een smallere intergetijde zone. Bij de schorren is er sprake van een gestage achteruitgang van de kliffen.

3.2 Zandhonger

Met de verkleining van de doorstroombopening in de Oosterscheldemonding is het getijvolume – de hoeveelheid water die met eb uit de zeearm stroomt en met vloed weer instroomt – fors verminderd. De grootte (het doorstroomprofiel) heeft echter een directe relatie met de hoeveelheid water die er doorheen stroomt. Hoe minder water, hoe kleiner de geulen willen worden (figuur 3). Het getijdewatersysteem evolueert hierdoor steeds naar een evenwicht tussen het doorstroomprofiel van de geulen en de hoeveelheid water die hier doorheen stroomt. Met dit evolueren worden grote hoeveelheden zand getransporteerd.

In de situatie na de aanleg van de Oosterscheldewerken is het systeem ver uit evenwicht geraakt. Omdat het getijvolume fors is verminderd 'wensen' de geulen veel kleiner te worden: ze hebben "zandhonger".



Figuur 3. Evenwichtsrelatie tussen getijvolume en doorstroomoppervlak (naar Kohsiek et al., 1987).

Voor de opvulling van de geulen is zand nodig. Berekeningen geven schattingen van 400 tot maximaal 600 miljoen m³ zand [Kohsiek et al, 1987, Maldegem, 1998]. In deze studies is nog geen rekening gehouden met de verwachte zeespiegelstijging, waardoor de zandhonger nog verder toeneemt. De zandhonger is de oorzaak van een gestage afbraak van de platen en slikken. Volledige afbraak van deze gebieden kan orde 160 miljoen m³ zand leveren, waarmee de zandhonger dus niet voorbij is.

Vóór de aanleg van de stormvloedkering en na de aanleg van de Grevelingendam was er nog sprake van een natuurlijk export van zand vanuit de Oosterschelde naar de Voordelta van ongeveer 2 miljoen m³ per jaar [Smaal & Boeije, 1991]. Sinds de aanleg van de stormvloedkering vindt geen import van zand plaats, zelfs niet tijdens storm [ten Brinke, 1991]. Dit heeft te maken met het ontstaan en de principewerking van ontgrondingskuilen aan weerszijden van de stormvloedkering [Jorissen & Stroeve, 1997]. De zandtoevoer vanuit de Voordelta is hierdoor definitief voorbij.

Vóór de aanleg van de stormvloedkering was er tevens export van slibrijk materiaal. Door de aanleg van de stormvloedkering is de aanvoer van slibrijk materiaal niet geblokkeerd. Omtrent de mogelijke aanvoer is een schatting gemaakt. Uit het verschil tussen vloed- en ebtransport is een netto aanvoer bepaald van ongeveer 1 miljoen m³ per jaar [ten Brinke, 1991]. Door de grote onzekerheden in de grootte van de vloed- en ebtransporten moet hierbij echter worden vermeld dat een netto export niet mag worden uitgesloten.

Dit alles betekent dat de onverdedigde zones, waaronder praktisch het gehele intergetijdengebied valt en dus ook de schorren, zonder verdere maatregelen zullen verdwijnen (met name de platen) of hun zand zullen kwijtraken tot de vaak aanwezige veenlaag (veel slikken).

3.3 Stroomsnelheid en sedimentconcentratie

Behalve dat er vanuit de Voordelta hooguit slib meer de Oosterschelde in komt, is er ook een grote verandering in het sedimenttransport binnen de Oosterschelde opgetreden.

Ongeveer lineair met de afname van het getijvolume, afhankelijk van de locatie 30 tot 70%, zijn ook de maximale stroomsnelheden afgenomen. Het effect hiervan op de sedimentconcentratie in het water en het sedimenttransport is exponentieel in plaats van lineair. Sediment komt pas in beweging na overschrijden van de kritische erosiesnelheid van de deeltjes of de korrels. Deze erosiesnelheid is voor zand een factor 10 groter dan voor het fijnere slib. Doordat de maximale stroomsnelheden sterk zijn gereduceerd, komt het zandige sediment nog wel in beweging als bodemtransport, maar de tijdsduur is veel te kort om grote zandconcentraties in het oppervlaktewater te verkrijgen. Uit metingen blijkt dat de gemeten zandgehalten veelal kleiner dan 10 mg/l zijn. Het transport van zand is hiermee soms meer dan één orde kleiner geworden.

3.4 Doorzicht en zwevende stof

Het doorzicht in de Oosterschelde wordt in de eerste plaats bepaald door de sedimentconcentratie in het water, die door middel van de stroomsnelheid in suspensie is geraakt. Uit metingen in de omgeving van Zierikzee volgt dat de concentratie gemiddeld over de verticaal, gemeten met een Accoustische zandtransportmeter, minder dan 10 mg/l bedraagt. Vermoedelijk bestaat dit materiaal grotendeels uit fijn "zand". De meetwaarden zijn in de orde van de detectiegrens van de apparatuur [van Maldegem 2001]. De lage zwevende stof concentraties worden bevestigd door oppervlaktemetingen in de periode april 1987 – december 1990 [ten Brinke & Dronkers, 1990], van de fractie kleiner dan 53 µm (Tabel 2).

Deelgebied	Monding		Midden		Kom	
Seizoen	Zomer	Winter	Zomer	Winter	Zomer	Winter
HW kentering	6,7	21,8	4,6	9,3	4,7	6,2
Max ebstroom	5,7	15,0	5,4	11,4	5,1	4,4
LW kentering	5,3	10,8	4,4	8,8	5,0	9,4
Max vloedstroom	7,5	21,0	6,1	12,0	4,6	7,5
Getijgemiddeld	6,3	17,2	5,1	10,4	4,9	6,9

Tabel 2. Oppervlakte sedimentconcentraties van gesuspendeerd fijn sediment in de Oosterschelde op enkele momenten in het getij; metingen 1987 – 1990, fractie kleiner dan 53µm

Daarnaast spelen de kleur van het water en de primaire productie een belangrijke rol bij het werkelijke doorzicht. Voor de sedimentatie van de schorren is met name de concentratie aan zwevend stof van belang. Primaire productie kan wel bijdragen aan de vlokvorming.

3.5 Beschikbaarheid van sediment voor ontwikkeling van schor

Door de sterk verminderde stroomsnelheden, en daardoor de bijna weggevallen transportcapaciteit van het water voor (gesuspendeerd) zand richting slikken en schorren is sedimentaanvoer vanuit de geulen nagenoeg vervallen. Daarnaast is de aanvoer van slibrijk sediment vanuit de Voordelta door de stormvloedkering een onzekere factor geworden [ten Brinke & Dronkers, 1993]. Het slibrijke sediment in de geulen, wat voorheen door de sterke getijstroom in de Oosterschelde gemakkelijk in suspensie kwam, is door de stroomverlamming afgezet in diepe geulgedeelten en in luwtegebieden en blijft daar in belangrijke mate liggen. Bovendien is slib wat voorheen was afgezet op de platen en slikken geërodeerd en eveneens afgezet in de luwtegebieden. Daardoor is de slibaanvoer vanuit de geulen naar de schorren ook sterk beperkt.

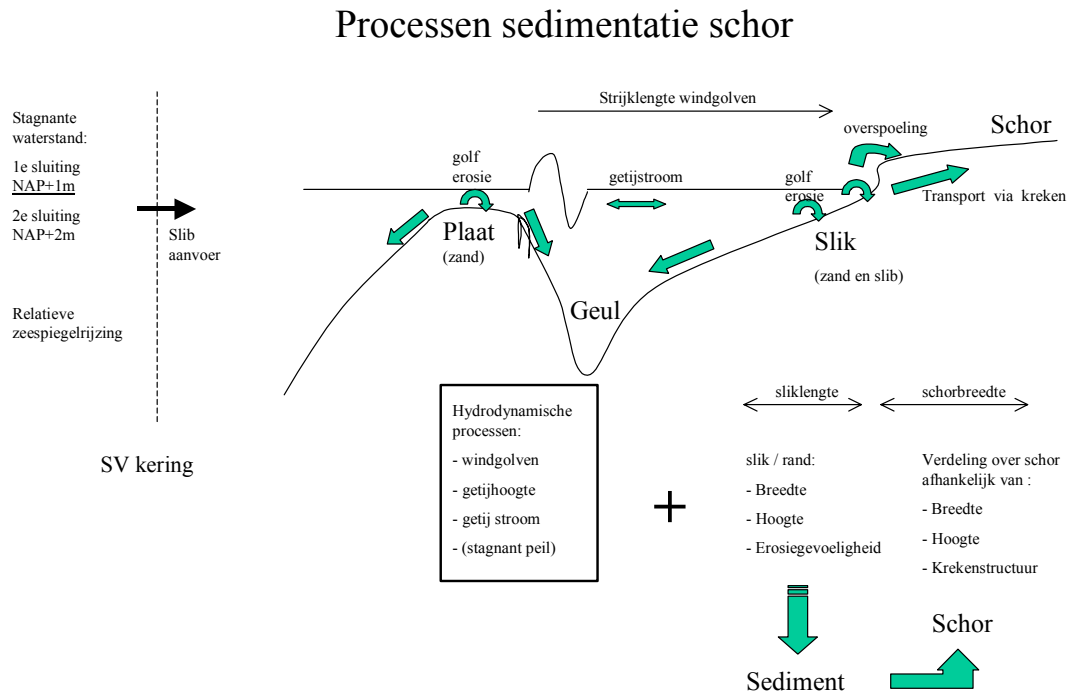
Voorafgaand aan de eindrapportage is daarom als hypothese gesteld, dat sediment, dat in de huidige situatie nog beschikbaar is voor sedimentatie op de schorren, voornamelijk afkomstig zal zijn van het voorliggende slik of van erosie van de schorranden.

Omdat de slikken overwegend zeer zandig zijn is gesteld dat verwacht mag worden dat als het slik de voornaamste bron is de schorren wat zandiger zullen worden. Als het schorklif (het schor zelf dus) de voornaamste bron is, zullen de schorren echter vergelijkbare slibgehalten houden.

4. Processen i.v.m. opbouw en afbraak van de schorren

4.1 Algemeen

In het vorige hoofdstuk is in grote lijnen de sedimenthuishouding van de (huidige) Oosterschelde geschetst. Hier worden de processen rond opbouw en afbraak kort geschetst. De opbouw en afbraak zijn de resultante van een combinatie van hydrodynamische processen (Figuur 4). Uit het vorige hoofdstuk is duidelijk geworden dat er een groot tekort is aan zand. In de figuur komt dit tot uiting door te laten zien dat de platen en slikken alleen eroderen.



Figuur 4. Processen die van belang zijn voor de opbouw en afbraak van de schorren in de Oosterschelde

In deze paragraaf komen achtereenvolgens de effecten van windgolven, het getijregiem, het transport van sediment en de sedimentatie zelf aan de orde. Omdat de veranderingen afspelen in een veranderd watersysteem is daarnaast aangegeven in welke mate de processen zijn veranderd.

4.2 Windgolven

De meeste tijd van het jaar is er wind, die afhankelijk van de kracht, richting en strijklengthe golven opwekt. Windgolven ontstaan door de wrijving van de wind langs het wateroppervlak. Dit veroorzaakt ribbeling van het wateroppervlak. Afhankelijk van de tijdsduur van de wind en de strijklengthe van het gebied, ontstaat een veld van windgolven. De onderlinge vorm kan sterk verschillen en o.a. beïnvloed zijn door windvelden, die al aanwezig waren. De windgolven hebben een bepaalde hoogte en frequentie. De golven onderling kunnen elkaar zowel versterken als verzwakken. Aldus ontstaat een heel gevarieerd beeld. Bij het naderen van ondiepe gebieden, die merkbaar zijn voor de ontwikkeling van de golven, ondervindt de golf bodemwrijving, verandert hij van vorm (shoaling) en buigt hij bij in de richting van de oever (refractie). Hierdoor zal afhankelijk van de waterdiepte de energie gaan afnemen tot de golf volledig is gebroken (breking) en de oever oploopt (golfoploop) of wordt teruggekaatst bij bijvoorbeeld een klif (golfklap). Het energieverlies gaat gepaard met veel turbulentie langs de waterbodem van platen, slikken en schorren. Dit veroorzaakt, afhankelijk van de weerstand van de oevers, erosie van o.a. de schorkliffen en opwoeling van sediment uit de bodem. De sedimentologische samenstelling van de oevers en de aanwezigheid van vegetatie speelt hierbij een belangrijke rol. Verder is de tijdsduur van de golfenergie

essentieel. Bij een gesloten stormvloedkering kan deze golfenergie lokaal sterk oplopen als gevolg van de min of meer stagnante waterstand.

Windgolven zorgen met name voor het opwoelen van sediment tot zekere mate suspensie. Het transport over grotere afstanden gaat via de getijstrooming en bij storm ook door windgedreven strooming (zie paragraaf 4.3).

4.3 Getijhoogte en getijstroom

Het getijdenregiem dat zich, gedempt door de stormvloedkering, voortplant via de geulen van de Oosterschelde is terug te zien in de stroomsnelheden en de tweemaal daagse fluctuaties van de waterspiegel. Wat betreft dit laatste dient op langere termijn rekening te worden gehouden met de effecten van de relatieve zeespiegelrijzing.

De stroomsnelheden zorgen voor erosie en transport van sediment in met name de geulgebieden en voor transport van materiaal over de slikken en platen dat door windgolven is opgewoeld. Het sediment komt in beweging na overschrijden van de kritische erosiesnelheid van de deeltjes of de korrels. Deze erosiesnelheid is voor zand één orde groter dan voor het fijnere slib. Door de lagere stroomsnelheden in de huidige toestand komt het zandige sediment nog wel als (rollend) bodemtransport in beweging, maar de kracht van de stroom en de tijdsduur hiervan is veel te kort om grote zandconcentraties in het oppervlaktewater te verkrijgen. Desondanks zal transport van sediment langs de schorranden en de schorgeulen plaatsvinden.

De getijdenstroom is nog wel krachtig genoeg voor het transport van slibrijk sediment, maar door het ontbreken van import is er weinig materiaal voorhanden om te transporteren. Bovendien heeft dit fijne sediment veel mogelijkheden zich af te zetten in de luwtegebieden. De verwachting is daarom dat er steeds minder slib voorhanden is om door de getijdenstroom te worden meegevoerd naar de schorgebieden (zie 4.4).

4.4 Sedimenttransport en sedimentatie

De ontwikkeling van de schorren is sterk afhankelijk van het sediment dat door de windgolven is opgewoeld en door het getij wordt meegevoerd naar de schorren. Voor het vasthouden van dit sediment is de ontwikkeling van de vegetatie waarschijnlijk van minder belang dan tot nu toe is aangenomen [Temmerman, 2003].

In een geheel natuurlijke situatie, zoals vóór de aanleg van de stormvloedkering, werd gedurende het grootste deel van het jaar zand en slib aangevoerd via de schorkreken. In de huidige situatie is zoals in de voorgaande paragrafen is aangegeven, veel veranderd in de sedimenthuishouding. De fysische principes, die verantwoordelijk zijn voor transport en sedimentatie zijn echter niet veranderd.

Naast de fysische principes is de sedimentatie afhankelijk van de topografie van het schor. Het gaat hierbij om de hoogteligging en het geulenpatroon en bij dit laatste is het van belang of er sprake is van schorgeulen, die via prielen op het slik goed aansluiten op het geulenpatroon van het getijdenbekken. Goed op elkaar aansluitende geulpatronen zijn namelijk veel effectiever in staat om zandig sediment te transporteren (bodemtransport).

Het fijne suspensieve slib (fractie $<63 \mu\text{m}$) wordt het verst in de schorkreken getransporteerd. Een deel van dit slib zal tijdens eb mee terugstromen. Netto zal slib achterblijven, afhankelijk tot waar het water voert. Het zandige materiaal (fractie $>63 \mu\text{m}$), dat als suspensief materiaal wordt meegevoerd, zal veel eerder bezinken dan slib, maar minder snel worden teruggevoerd met de ebstroom. Tijdens een volgend getij zal dit afgezette sediment weer verder de schorkreek in transporteren en weer afzetten, het "zgn. Postma principe". Het zand zal afhankelijk van de hoogte van het schor zich met name afzetten op de kreekruigen. Tijdens springtij en hoge waterstanden door windopzet zal ook afzetting op de andere delen kunnen plaatsvinden. De aanwezige vegetatie zal de afzetting wat bevorderen.

Tijdens storm kan het water behalve via de schorkreken ook rechtstreeks over de kliffen heen het schor overspoelen. In dergelijke situaties, en zeker in combinatie met springtij, zal de meeste afzetting kunnen plaatsvinden. De zeer hoge delen worden dan eveneens overspoeld. Golfwerking op het voorliggende slik zorgt er dan voor dat extra, met name zandige sediment in suspensie komt, wat bijdraagt aan de aanvoer van sediment over het schor. De mate waarin dit gebeurt is sterk afhankelijk van de situering van het schor ten opzichte van de windrichting en strijklengte.

4.5 Stagnant peil

Tijdens perioden van verhoogde waterstand door storm wel of niet in combinatie met springtij is het mogelijk dat het sluitingscriterium van de Oosterschelde wordt bereikt. Dit is een verwachte waterstand van NAP + 3.0 m. zeewaarts van de kering. In een dergelijke situatie wordt de stormvloedkering gesloten bij een waterstand rond NAP + 1 m en treedt een periode van stagnante waterstand op tot het moment dat de buitenwaterstand lager wordt dan NAP + 1 m. Indien tijdens de volgende vloed wordt verwacht dat het sluitingscriterium opnieuw wordt bereikt, wordt de stormvloedkering opnieuw gesloten, maar nu bij een waterstand van NAP +2,0 m (dit de zogenaamde wisselstrategie om de erosie van de intergeijdegebieden zoveel mogelijk te beperken).

Tijdens de sluiting van de stormvloedkering wordt in principe veel sediment opgewoeld van de platen en slikken, maar vindt er geen transport plaats naar het schor, maar veelal naar beneden, richting laagwaterlijn, met als gevolg verlaging van het maaiveld. Hierdoor kan onder normale omstandigheden (geen sluiting) de golfaanval op een schorklif sterker worden, omdat de golven groter kunnen worden, en daarmee de schorkliferosie sterker. Bij de hoge sluiting liggen de schorkliffen in de zone waar de waterstand en de golfaanval zich langere tijd concentreert. Ook dit leidt tot versterkte erosie van het schorklif.

4.6 Verandering van de processen t.g.v. de Deltawerken

Ten gevolge van de Deltawerken zijn de processen, die van invloed zijn op de schorvorming in de Oosterschelde, veranderd. In tabel 3 zijn deze veranderingen relatief aangegeven voor de perioden, die te onderscheiden door de aanleg van de Veersegetdam en Grevelingendam (1960/1965), de Volkerakdam (1969) en de aanleg van de stormvloedkering en compartimenteringsdammen (1983/1987). Wat betreft de aanleg van de stormvloedkering en compartimenteringsdammen wordt in deze paragraaf bewust gesproken over de periode 1983/1987, omdat ook tijdens de uitvoering de processen langzamerhand gingen veranderen tot de huidige toestand.

Proces	Perioden tijdens ingrepen van de Deltawerken			
	tot 1960/1965	1965 - 1969 ¹	1969 - 1983/1987	na 1983/1987
Wind golfenergie: erosie	0	0	0	0
Verticaal getij: overspoeling	0	+	+	-
Horizontaal getij:	0	+	+	-
sedimentaanvoer	0	+	0	-
Zout-zoet gradiënt: sedimentatie	0	0	-	-

Tabel 3. Verandering van de processen t.a.v. schorvorming in de Oosterschelde door de Deltawerken met effect voor het getijregiem in de Oosterschelde. (0 geen verandering; + toename; - afname; alle t.o.v. de periode voor 1960-65)

De tabel laat zien dat er t.o.v. de toestand vóór de Deltawerken, gedurende de perioden 1965 – 1969, 1969 – 1983/1987 en na 1983/1985 aanzienlijke verschillen zijn ten aanzien van de optredende processen m.b.t. schorvorming.

¹ Door de aanwezigheid van de Volkerakdam nam het getijverschil op het noordelijk deel van de Oosterschelde en Volkerak sterk toe, waardoor ook het getijvolume sterk toenam in het midden en westen van de Oosterschelde

5. Uitgevoerde metingen op de schorren

5.1 Meten van sedimentatie met kaolien

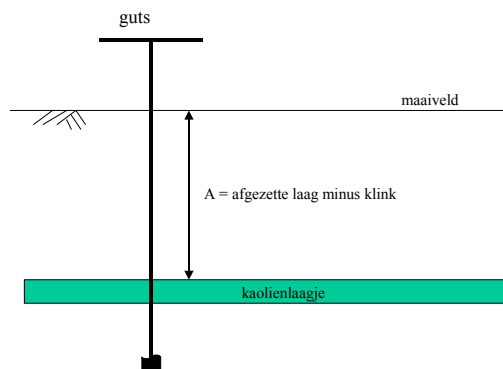
Principe

De sedimentatie op de schorren is bepaald met zgn. kaolienveldjes. De metingen zijn uitgevoerd door de Meet & Informatiedienst van de Rijkswaterstaat directie Zeeland (MID). Kaolienveldjes bestaan uit veldjes van 30 bij 100 cm die in een raai op verschillende plaatsen in het schor worden uitgezet (Figuur 5).



Figuur 5. Markeringspunt van kaolienveldje op het schor van St Annaland; foto Kees Joosse MID].

Binnen deze veldjes wordt een dun laagje (3 tot 5 mm) kaolien (mengsel van 25% kaolien klei en 75% wit fijn zand) op de oppervlakte van de schorbodem aangebracht [Stapel & de Jong, 1998]. In het voorjaar en najaar wordt bepaald hoeveel sediment zich bovenop het kaolienveldje heeft afgezet. Hiertoe worden per meting in ieder veldje met een gutsje van 10 cm lengte en 1 cm doorsnede 5 bodemprofieltjes gestoken op regelmatige afstand van elkaar. In deze bodemprofieltjes wordt de afstand tussen het kaolienlaagje en het bodemoppervlak opgemeten (hoogte A in figuur 6). Indien het laagje verouderd is, d.w.z. slecht zichtbaar of indien het afgezette sediment op het veldje meer is dan 10 cm wordt het veldje vernieuwd. Indien bij een meting het oude laagje nog zichtbaar is, wordt ook hiervan de afstand tot het bodemoppervlak opgemeten.



Figuur 6. Opgemeten hoogten in het kaolienveldje

Theorie sedimentatie op kaolienveldje

De gemeten afstand van het kaolienlaagje tot het bodemoppervlak of maaiveld (A) is in theorie de dikte van de laag die is afgezet minus de inklinking van het materiaal. Deze inklinking is afhankelijk van de tijdsduur van het afgezette laagje, de samenstelling van het sediment, de dikte van de laag bovenop het kaolien veldje, de afwatering enz. Om voor al deze factoren te kunnen corrigeren en zodoende te komen tot de werkelijke afgezette laag, is een uitgebreide wiskundige analyse nodig [Stapel & de Jong, 1998]. Deze analyse is tijdrovend, maar bovendien niet mogelijk, doordat niet alle hiervoor benodigde informatie aanwezig is. In de rapportage van de kaolienveldjes van de Westerschelde is dit pragmatisch opgelost door de informatie van het meest verse slib achterwege te laten en pas na ca 1,5 jaar te netto sedimentatie te bepalen. Voor de Oosterschelde is deze aanpak achterwege gelaten omdat de hoeveelheid afgezet slib relatief gering is en daardoor verwacht wordt dat de inklinking zeer snel zal verlopen.

Locaties

Er zijn op 3 schorren in de Oosterschelde langs raaien kaolienveldjes uitgezet (zie figuur 2). De keuze hiervan heeft op pragmatische wijze plaatsgevonden, met als doel een zo goed mogelijk beeld van de ontwikkeling van de schorren te kunnen verkrijgen. De veldjes zijn uitgezet langs 3 raaien op de schorren bij St Annaland, langs 6 raaien bij Rattekaai en langs 3 raaien bij het Slaak.

De veldjes langs de raaien zijn zo uitgezet dat op de oeverwal, eventueel op de overgang en op enkele locaties in het komgebied is gemeten. Per schorgebied wordt hiervan een overzicht gegeven.

Kaolienveldjes op schor bij St Annaland (zie figuur 7)

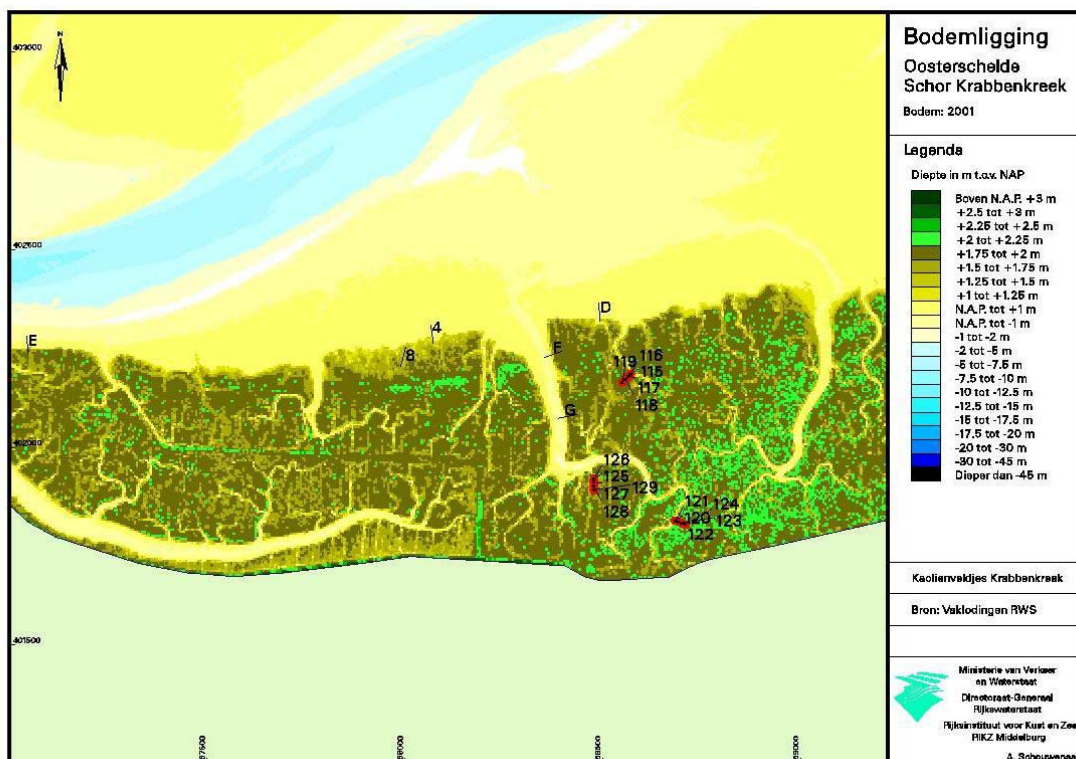
2 raaien zijn langs een relatief brede schorkreek gelegen, raai 4 halverwege en raai 3 achterin het schor. Raai 2 is gelegen aan het eind van een relatief smalle korte schorkreek. In totaal zijn 15 veldjes uitgezet (tabel 4). geeft hiervan een overzicht.

Raainummer	afstand (m) raai - schorklif [*]	veldje 0 – 1 m [#]	veldje 2 – 3 m [#]	veldje 10 – 11 m [#]	veldje 19 – 20 m [#]	veldje 30 – 31 m [#]
2	140 (140)	nr. 115	nr. 116	nr. 117	nr. 118	nr. 119
3	530 (880)	nr. 120	nr. 121	nr. 122	nr. 123	nr. 124
4	420 (420)	nr. 125	nr. 126	nr. 127	nr. 128	nr. 129

Tabel 4. Overzicht van de kaolienveldjes op het schor van St Annaland. De nummers van de veldjes zijn aangegeven in figuur 7.

* afstand direct (afstand via schorkreek)

ongeveer afstand vanaf de kreekrand



Figuur 7. Kaolienveldjes en slik-schorprofielen op schor bij St Annaland

Kaolienveldjes op schorgebied bij Rattekaai (zie figuur 8)

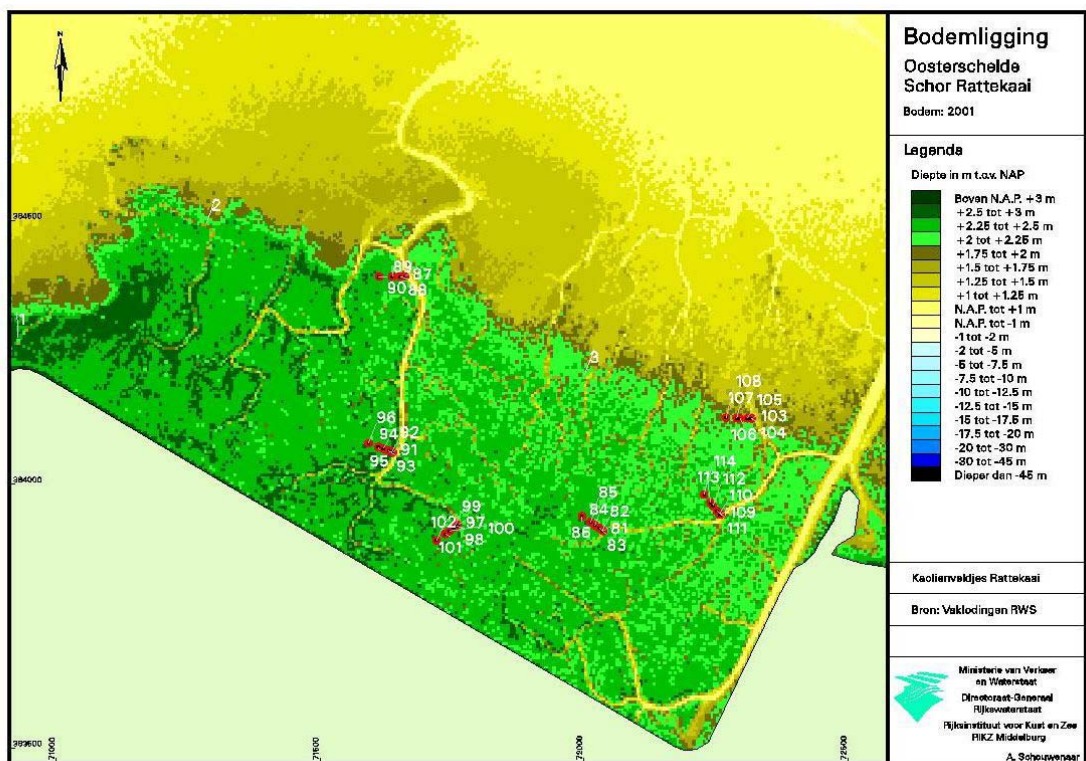
3 raaien zijn gelegen langs een relatief brede schorkreek, raai B4 voorin, raai B5 halverwege en raai B6 achterin. 3 raaien zijn gelegen langs een oostelijk hiervan gelegen schorkreek op ca. 700 m afstand, raai B8 voorin, raai B9 halverwege en raai B10 achterin. In totaal zijn 34 veldjes uitgezet (tabel 5).

Raai Nummer	afstand (m)* raai - schorklif	veldje 0 – 1 m [#]	veldje 2 – 3 m [#]	veldje 9 – 10 m [#]	diverse veld afstanden [#]	veldje 29 – 30 m [#]	veldje 49 – 50 m [#]
B4	100 (100)	nr. 87		nr. 88	nr. 89 (24-25m)		nr. 90
B5	330 (400)	nr. 91	nr. 92	nr. 93	nr. 94 (19-20m)	nr. 95	nr. 96
B6	420 (650)	nr. 97	nr. 98	nr. 99	nr. 100 (19-20m)	nr. 101	nr. 102
B8	0 (0)	nr. 103	nr. 104	nr. 105	nr. 106 (23-24m)	nr. 107	nr. 108
B9	170 (220)	nr. 109	nr. 110	nr. 111	nr. 112 (22-23m)	nr. 113	nr. 114
B10	290 (480)	nr. 81	nr. 82	nr. 83	nr. 84 (19-20m)	nr. 85	nr. 86

Tabel 5. Overzicht van de kaolienveldjes op het schor van Rattekaai. De nummers van de veldjes zijn aangegeven in figuur 8.

* afstand direct (afstand via schorkreek)

[#] ongeveer afstand vanaf de kreekrand



Figuur 8. Kaolienveldjes en slik-schorprofielen op schorgebied bij Rattekaai

Kaolienveldjes op schorgebied bij Slaak (zie figuur 9)

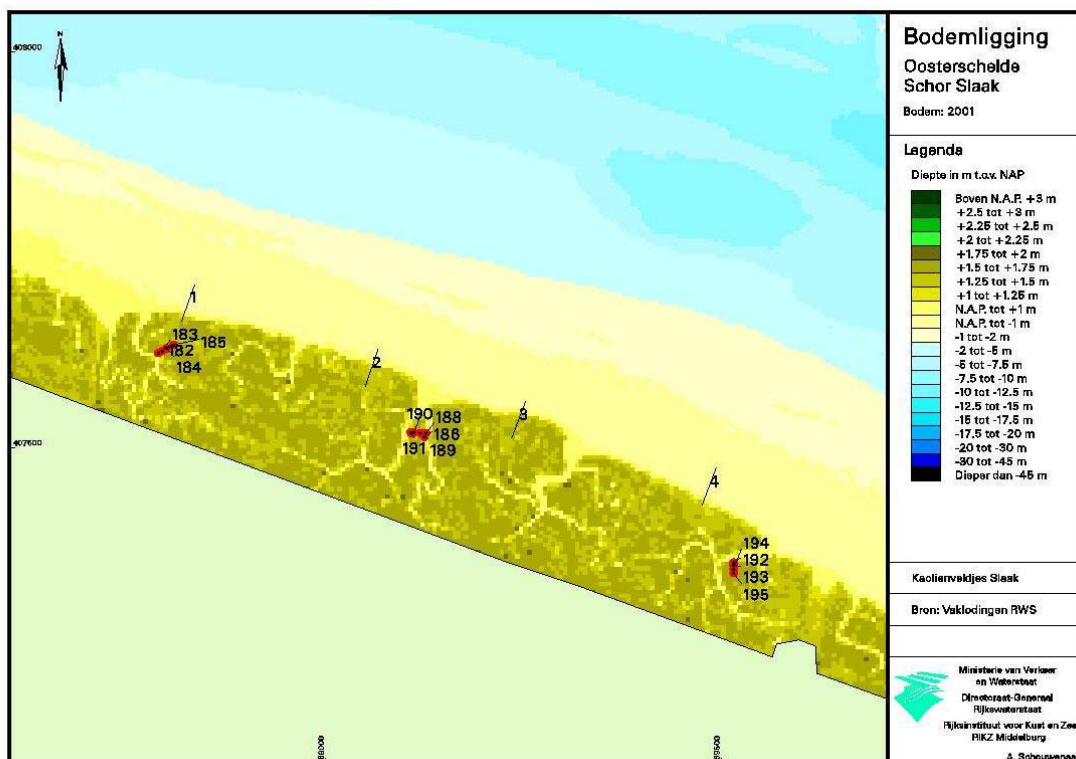
3 raaien (A, B en C) zijn gelegen halverwege schorkreken op onderlinge afstand van ca. 400 m. In totaal zijn 13 veldjes uitgezet (tabel 6).

Raai Nummer	afstand [m] raai - schorklif	veldje 0 – 1 m [#]	diverse veld afstanden [#]	diverse veld afstanden [#]	diverse veld afstanden [#]	diverse veld afstanden [#]
A	60 (90)	nr. 182		nr. 183 (7-8m)	Nr. 184 (13-14 m)	nr. 185
B	60 (60)	nr. 186	nr. 188 (2-3m)	nr. 189 (9-10m)	nr. 190 (19-20m)	nr. 191
C	60 (60)	nr. 192	nr. 193 (4-5m)	nr. 194 (9-10m)	nr. 195 (15-16m)	

Tabel 6. Overzicht van de kaolienveldjes op het schor van Slaak. De nummers van de veldjes zijn aangegeven in figuur 9.

^{*} afstand direct (afstand via schorkreek)

[#] ongeveer afstand vanaf de kreekrand



Figuur 9. Kaolienveldjes en slik-schor profielen op het schorgebied bij Slaak

Meetperiode

De veldjes op de schorren van Rattekaai en St Annaland worden vanaf 1989 opgenomen. De rapportage betreft de periode vanaf 1994 voor de veldjes op het schor van Rattekaai en de periode vanaf 1998 voor de veldjes op de schorren bij St Annaland en het Slaak. De opnamen hebben twee keer per jaar, in het voorjaar en het najaar, plaatsgevonden.

5.2 Profielhoogtemetingen

De raaien, waarop de veldjes zijn uitgezet, zijn op hoogte ingemeten door de MID Zeeland. Deze metingen zijn uitgevoerd in 1994 voor St Annaland en Rattekaai en in 1992 voor Slaak. In september 2003 zijn opnieuw hoogtemetingen uitgevoerd, vrijwel gelijktijdig met de laatste opname van het kaolien. Door de recente hoogtemeting wordt een totaal beeld verkregen van de profielhoogte. De vergelijking van de recente profielhoogtemeting met de eerdere opname op de raaien geeft aan wat de netto bodemhoogteverandering is geweest, sedimentatie minus inklinking.

5.3 Vegetatie

In september 2003 is gelijktijdig en aanvullend op de reguliere hoogteopname van de bodemlaag boven het kaolien de vegetatie in de directe omgeving van het veldje visueel opgenomen door dhr. Kees Joosse van de MID Zeeland.

5.4 Bodembemonstering en analyse

In september 2003 zijn gelijktijdig en aanvullend op de reguliere hoogteopname van de bodemlaag boven het kaolien door de MID Zeeland bodemmonsters genomen om de samenstelling van het afgezette materiaal in verschillende lagen te kunnen bepalen. Doel hiervan is te toetsen of het recenter afgezette materiaal zandiger of slikkiger is dan voorheen. Per veldje zijn met een guts 2 profielen gestoken. Hieruit zijn 4 mengmonsters verkregen voor de lagen 0-2,5cm, 2,5-5cm, 5-7,5cm en 15-20cm.

Het deeltjesanalyse laboratorium van RIKZ heeft na voorbehandeling van de monsters het slibgehalte (percentage < 63µm), het koolstofgehalte en de deeltjesgrootte voor de fractie > 63µm bepaald (D₁₀, D₂₀, D₃₀, D₅₀, D₈₀, D₉₀ en de Modus). De deeltjesgrootte kon alleen worden bepaald, indien minimaal 20% van het materiaal > 63µm is. Deze bepalingen zijn uitgevoerd met behulp van laserdiffractietechniek.

5.5 Database van kaolien en vegetatie opnamen

De resultaten van de metingen, bemonsteringen en vegetatie zijn door de MID Zeeland opgeslagen in een ACCES-database. De resultaten van de analyse van het deeltjeslaboratorium van RIKZ zijn opgeslagen in een aparte ACCES-database.

5.6 Opname van slik-schorprofielen

Naast de ontwikkelingen van de kaolienveldjes is ook gebruik gemaakt van data over de ontwikkelingen van de schorrand. Hiervoor zijn gegevens gebruikt van zgn. slik-schor- en schor-klifprofielen, hoogteprofielen over de overgang van slik naar schor. Hieruit kan o.a. informatie worden gehaald over de mate van schorranderosie. Deze profielen worden vanaf maximaal 1986 opgenomen in de schorren St Annaland, Rattekaai en Slaak (zie voor de situering figuur 7 t/m 9). Tabel 7 geeft een overzicht hiervan met bijbehorende periodes en opnamefrequentie.

Profiel D bij St Annaland, de profielen 2 en 3 bij Rattekaai en de profielen 1 t/m 4 bij Slaak bevinden zich in de omgeving van de opgenomen kaolienveldjes.

Schor	Profielnummers	Periode	Opnamefrequentie
St Annaland	4, 8, D en E	1986 – 1999	2 – jaarlijks
Rattekaai	1, 2, 3, 4*	1992 – 2001	1 – jaarlijks
Slaak	1, 2, 3, 4	1994 – 2001	1 - jaarlijks

Tabel 7. Opname van slik-schorprofielen van St Annaland, Rattekaai en Slaak. Zie voor de situering figuur 7 t/m 9.

* Profiel 4 bij Rattekaai is ten oosten gelegen van de dam en niet weergegeven in figuur 8

6. Resultaten (van de metingen op de schorren)

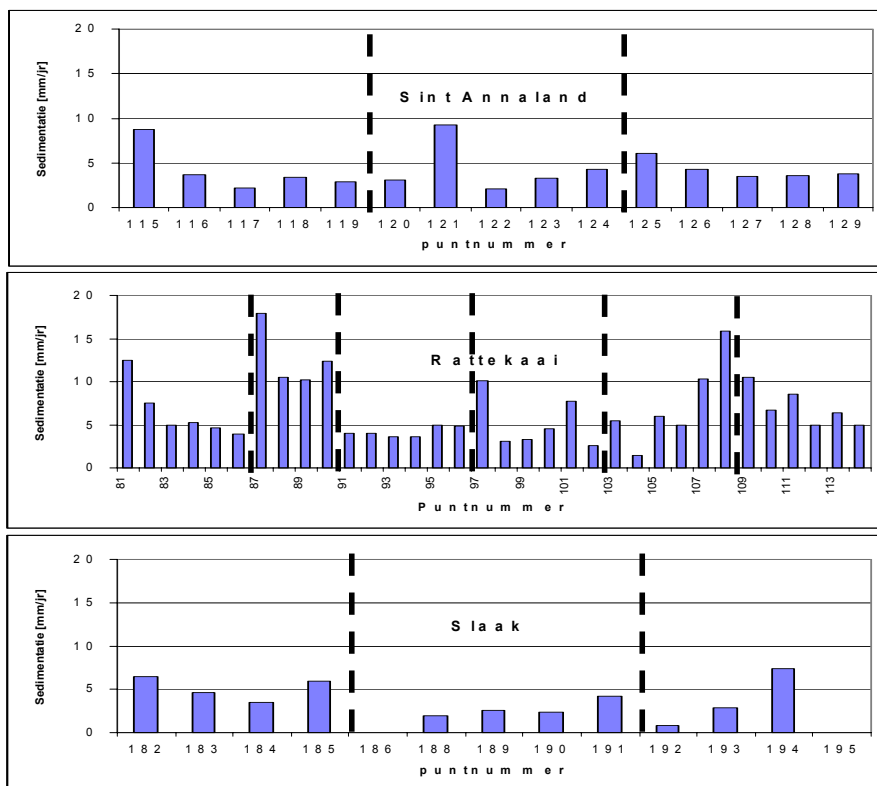
6.1 Algemeen

Bij het verwerken van alle meet- en laboratoriumresultaten is ten doel gesteld om de grote lijnen van de ontwikkeling van de schorren zo goed mogelijk in beeld te krijgen. De onderlinge verschillen zijn hiermee van minder belang. De ligging van de kaolienveldjes zijn qua gebieden heel verschillend. De karakteristieken hiervan zijn weergegeven (zie bijlage 1). Verder is gekeken naar de ontwikkeling van de schorkliffen voorzover deze zich bevinden nabij de kaolienveldjes. Na het bespreken van de resultaten worden deze vergeleken met de eerdere ontwikkelingen.

6.2 Sedimentatiesnelheid en hoogteligging van de kaolienveldjes

Sedimentatiesnelheid volgens kaolien

Bij iedere meting worden per kaolienveldje 5 laagdiktes van het sediment boven het kaolien gemeten. Deze zijn gemiddeld en per veldje als functie van de tijd uitgezet (zie bijlage 2). Het verloop van de puntenwolk in de grafieken is over het algemeen lineair en positief te noemen. De grafieken zijn gecorrigeerd voor uitbijters, veelal te wijten aan verkeerde registratie door nog aanwezige oude kaolienlaagjes. Er is voor iedere grafiek een lineaire trendlijn bepaald. De richtingscoëfficiënt, maat voor sedimentatie in mm/jaar, en de gemiddelde waarde van de standaardafwijkingen van de metingen per veldje zijn hieruit ontleend (zie bijlage 2). De resultaten hiervan zijn per gebied weergegeven in figuur 10.



Figuur 10. Gemiddelde sedimentatie in de schorgebieden St Annaland, Rattekaai en Slaak in de periode 1994 tot 2003 [mm/jr]. De raaien zijn aangegeven via verticale lijnen, en verlopen van links naar rechts van oeverwal naar kom.

De gegevens zijn verder gerangschikt naar oeverwal, kom en overgangsgebied. Op de oeverwal is de sedimentatie meestal groter dan in de komgebieden. Onderscheid naar overgangsgebieden is alleen bij het Slaak gemaakt, waar de sedimentatie ongeveer vergelijkbaar is met het komgebied. De sedimentatiesnelheid is duidelijk het grootst bij Rattekaai (gemiddeld 6 tot 10 mm/jaar), gevolgd door St Annaland (gemiddeld 4 tot 6 mm/jaar) en Slaak (gemiddeld 3 tot 4 mm/jaar). Hierbij moet rekening worden gehouden met een standaardafwijking van 5 tot 7 mm (zie bijlage 2). Tijdens de opname van het Slaak 10 september 2003 is éénmalig bepaald wat de onnauwkeurigheid is van het random doen van een sedimentdiktemeting. Dit is gedaan binnen de veldjes 184 en 191 door een

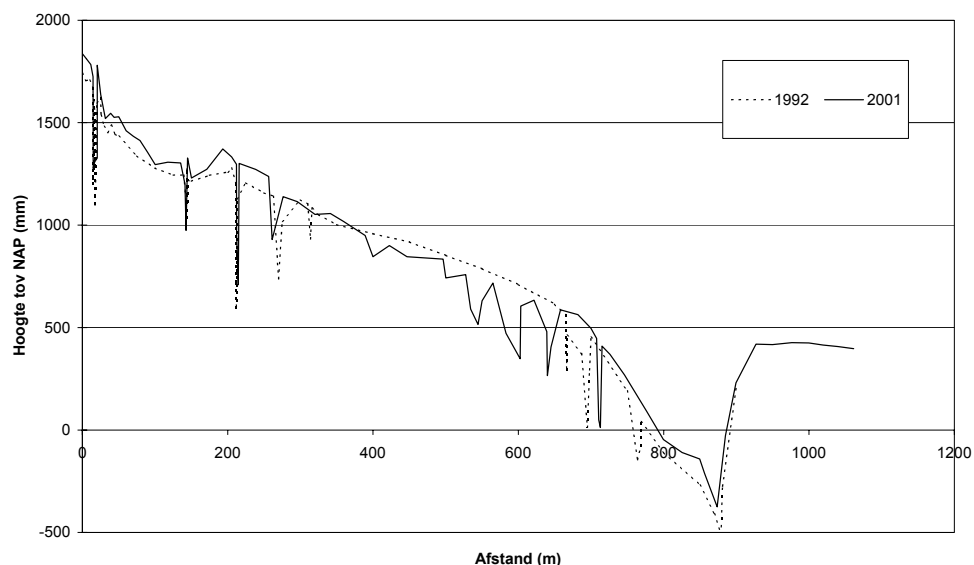
aantal series van 5 monsters te nemen. De variatie hiervan valt binnen de standaardafwijking in de trendlijn.

Omdat gekozen is voor lineaire regressie zijn secundaire effecten in principe buiten beschouwing gelaten. Deze secundaire effecten kunnen het gevolg zijn van fenomenen als storm, droogte, natte perioden en sluiting van de stormvloedkering.

Hoogteligging veldjes

De hoogteligging van de kaolienveldjes is het hoogst bij het schor van Rattekaai, gemiddeld NAP +2,05m, gevolgd door St Annaland, NAP+1,77m en Slaak, NAP+ 1,61m (zie bijlage 1). Vergelijken we dit met de astronomische springtij hoogwaterstanden van de nabijgelegen getijstations Bergse diepsluis NAP+2,14m Stavenisse NAP +1,80m en Krammersluizen NAP+1,81m dan overspoelen de schorren tijdens springtij gemiddeld met 9 cm, 3 cm en 20 cm. De gemiddelde overspoelingsfrequentie van de schorren zal analoog met de gemiddelde overspoelingshoogte verschillen. Opvallend is dat de sedimentatie niet evenredig verloopt met de mate van overspoeling.

De hoogteligging van de kaolienveldjes van september 2003 is vergeleken met die van 1994 voor St Annaland en Rattekaai, en 1992 voor Slaak (zie bijlage 1). Hieruit volgt wat netto is afgezet, dus sedimentatie minus inklinking van de gesedimenteerde laag. De netto sedimentatie bedraagt ca. 4 mm/jaar voor St Annaland, ca. 5 mm/jaar voor Rattekaai en een erosie van 1mm/jaar voor Slaak. De resultaten van Slaak zijn mogelijk te wijten aan hoogtecorrecties. Profielmetingen, die zijn uitgevoerd gedaan in het kader van de verdediging van het schorklif zijn te onnauwkeurig om deze conclusie wel of niet te kunnen onderbouwen (figuur 10). Zowel met als zonder Slaak is sprake van een klink van 1 tot 5 mm /jaar.



Figuur 10 Voorbeeld van resultaat profielmetingen op het schor van Rattekaai in 1992 en 2001(profielnummer 3 in tabel 7)

6.3 Samenstelling van het sediment

De samenstelling van het sediment toont vooral verschillen in de ruimte, tussen gebieden, tussen locaties en zoals te verwachten van oeverwal naar kom (zie bijlage 3). De verschillen in de tijd zijn veel kleiner (tabel 8). De laag 0-2,5 cm is afhankelijk van gebied en locatie ruwweg 0 tot 6 jaar oud, het laagje van 2,5 tot 5 cm is ruwweg 6 tot 12 jaar oud, het laagje van 5 –7,5 cm is ruwweg 12 tot 36 jaar oud en de laag 15 tot 20 cm nog ouder. De 2 laatste lagen bevatten sediment dat vóór 1983 is aangeslibd.

Schorgebied	% > 63µm bovenste laag		% > 63µm oude lagen	
	Oeverwal	Komgebied	Oeverwal	Komgebied
St Annaland	70/80	< 60	70/80	< 60
Rattekaai	10/60	< 30	30/70	<60
Slaak	30	< 20	30/50	<30

Tabel 8. Samenstelling van het sediment van de schorren van St Annaland, Rattekaai en Slaak

Het schor bij St Annaland is veelal relatief zandiger, terwijl het schor bij Rattekaai veel slibrijker is. Ook Slaak is veel slibrijker dan St Annaland.

Het schor van St Annaland vertoont niet een duidelijke verandering van de samenstelling in de tijd. In de schorren bij Rattekaai en Slaak zijn duidelijke veranderingen te zien. Het materiaal dat zich momenteel afzet bevat veel minder zand en bevat gemiddeld 10 tot 20% meer slib dan voorheen. Opmerkelijk is dat op Rattekaai de langs het slik gelegen raaien sterk "verslibd" zijn vergeleken met de naar binnen gelegen raaien. De verschillen in de D_{50} van de fractie $>63\mu\text{m}$ zijn te gering om een algemene lijn hierin te kunnen aangegeven. De algemene tendens is dat het materiaal iets fijner is geworden.

6.4 Vegetatie

De opname van de vegetatie van schorren laat een grote verscheidenheid in begroeiing zien (zie bijlage 4). Op het schor van St Annaland valt de aanwezigheid van Roodzwenkgras, Strandkweek en Zoutmelde op, wat kenmerkend is voor een hooggelegen schor (Figuur 11). Op het schor bij Rattekaai zijn er naast gebieden met veel Strandkweek en Zoutmelde (hoog schor) meer gebieden met veel Slijkgras, wat kenmerkend is voor laag schor (Figuur 12). Bij Slaak zijn er zowel gebieden met veel Engels Slijkgras als veel Zoutmelde.

De waargenomen vegetatie is ingedeeld naar een standaard typologie cq SALT97 [de Jong et al, 1998]. De betekenis van de codering en het voorkomen in de schorren is gegeven voor de schorren van St Annaland, Rattekaai en Slaak (Tabel 9). De vegetatietypen zijn geordend van hoog (Strandkweektype) naar laag schorgebied (Spartinatype).



Figuur 11. Vegetatie op het schor van St Annaland (foto Kees Joosse, MID; september 2003)



Figuur 12. Vegetatie op het schor van Rattekaai (foto Kees Joosse, MID; september 2003)

SALT-code	St Annaland	Rattekaai	Slaak	Totaal schorren
Xy5 = Strandkweektype	3	9	1	13
Jf = Roodzwenkgrastype	4			4
Jfz = Artemisiatype	1			1
Ph5 = Zoutmelde type	5	2	4	11
PI3 = Lamsoor/Zeeveegbreotype		3	2	5
Pp = Kweldergrastype	1	5		6
Qu = Schorrekruidtype	1			1
Ss5 = Spartinatype		15	5	20
Totaal	15	34	12	61

Tabel 9. Aantal plots met waargenomen vegetatie in de schorren van de Oosterschelde. Indeling volgens de SALT-code [de Jong et al, 1998].

De belangrijkste typen vegetatie in de directe omgeving van de kaolienveldjes zijn het Spartina-type, gevolgd door het Strandkweektype en het Zoutmeldetype. Het Artemisia- en Schorrekruidtype komen het minste voor. De voorkomende vegetatietypen geven dat het onderzochte deel van het schor van St Annaland over het algemeen relatief hoog gelegen is, dat van het schor van Rattekaai relatief zowel hoog als laag gelegen is, en van het schor van Slaak relatief over het algemeen laag gelegen is.

6.5 Ontwikkeling schorkliffen

De opgenomen slik - schorprofielen laten zien hoe de overgang van het slik naar het schor zich in de afgelopen jaren heeft ontwikkeld; zowel qua achteruitgang van het schorklif (schorerosie) als eventueel maaiveldverandering op het voorliggende slik. Als voorbeeld van de schorranderosie zijn waarden van enkele profielen gegeven die in de directe omgeving van de kaolienveldjes zijn gelegen: St Annaland nr. D, Rattekaai nr. 2 en Slaak nr 1 (voor de ligging zie de figuren 7, 8 en 9). Het algemene beeld in de periode van maximaal 1987 tot 2001 is een gestage achteruitgang van de schorkliffen. De gemiddeld achteruitgang is in de orde van 0,5 tot 1 m per jaar (tabel 10).

Schor	Ontwikkeling profielen*	Gemiddeld*
St Annaland	-0,6; -1,0; -1,7; -1,1	-1,1 (-1,7)
Rattekaai	- 1,1; -0,4; 0 ; 0	-0,4 (-0,2)
Slaak	- 1,0; -0,4; -0,4; - 0,4	-0,6 (-0,4)

Tabel 10. Ontwikkeling van de slik schorprofielen van St Annaland, Rattekaai en Slaak [m/jr].

*de onderstreepte waarden betreft profielen in de omgeving van de kaolienveldjes

De schorkliffen bij St Annaland gaan globaal 2x sneller achteruit dan die bij Rattekaai en Slaak. Op een termijn van 100 jaar is de verwachte trend hieruit dat de schorren 50 tot 100 m achteruit zullen gaan.

In de periode 2002 - 2003 is het schor langs het Slaak, in het gebied waar de slik-schorprofielen en kaolienveldjes zijn opgenomen, verdedigd met breuksteen. De verwachting is dat de achteruitgang van het schor hiermee tot stilstand is gekomen.

Voor het schor van St Annaland bestaat een plan voor verdediging met breuksteen. Dit betreft het deel ter plaatse van profiel E. De jaarlijkse achteruitgang hier bedraagt 1,1 m/jaar. De uitvoering heeft vanwege financiële prioritering nog niet plaatsgevonden.

6.6 Historische data over sedimentatie

Periode 1989 tot 1993 in vergelijking tot heden

Op de schorren van St Annaland en Rattekaai zijn van 1989 tot 1993 metingen van de sedimentatiesnelheden uitgevoerd [Schrauwen, 1994]. De resultaten hiervan zijn gegeven in tabel 11 en 12).

Locatie op schor	Raai 2	Raai 3	Raai 4	Gemiddeld
Oeverwal	12,1	4,9	7,6	8,2
Oeverwal	7,4	3,9	4,0	5,1
Overgang	3,9	3,1	3,1	3,4
Kom	4,6	2,7	1,7	3,0
Kom	3,7	4,4	0,1	2,7
Gemiddeld	6,3	3,8	3,3	4,5

Tabel 11. Sedimentatie schor bij St Annaland, periode 1989 – 1993 [mm/jaar] [Schrauwen, 1994]

Locatie op schor	Raai B10	Raai B4	Raai B5	Raai B6	Raai B8	Raai B9	Gemiddeld
Oeverwal	12,2	20,4	10,7	5,0	-5,4	1,0	7,3
Oeverwal	5,4		3,5	2,7	8,3	7,9	5,6
Overgang	6,1	9,1	1,3	0,7	4,1	8,1	4,9
Kom	3,6	6,7	3,4	12,5	10,9	6,0	7,2
Kom	5,7	18,1	3,8	6,0	14,7	0,5	8,1
Kom			1,9	3,6	4,5	2,6	3,2
Gemiddeld	5,9	13,6	4,1	5,1	6,5	4,7	6,2

Tabel 12. Sedimentatie schor bij Rattekaai, periode 1989 – 1993 [mm/jaar] [Schrauwen, 1994].

In Tabel 13 is dit op raai en gebiedsniveau vergeleken met de sedimentatie in de periode 1994 – 2003.

Gebied/Raai	Periode 1994 - 2003	Periode 1989 – 1993
<u>St Annaland</u> 2	4,2	6,3
3	4,2	3,8
4	4,4	3,3
gemiddeld	4,2	4,5
<u>Rattekaai</u> b10	6,7	5,9
b4	12,8	13,6
b5	4,3	4,1
b6	5,3	5,1
b8	7,3	6,5
b9	7,2	4,7
gemiddeld	7,3	6,1

Tabel 13. Vergelijking van de sedimentatiesnelheden, gemiddeld per raai over de periode 1994 – 2003 met de periode 1989 - 1993 voor de schorren van St Annaland en Rattekaai [mm/jaar].

De waarden per raaien liggen op het zelfde niveau, de verschillen liggen binnen de betrouwbaarheids-grens. Alleen voor raai b9 op het schor van Rattekaai is een significant verschil. Dit wordt veroorzaakt door meer sedimentatie op de oeverwal vanaf 1994.

Vergelijking van de gemiddelde sedimentatiesnelheid op oeverwallen en kommen laat zien dat in de laatste periode de oeverwallen op het schor van Rattekaai een hogere sedimentatiesnelheid hebben dan in de vorige periode (tabel 14).

Gebied	Periode 1994 - 2003	Periode 1989 – 1993
<u>St Annaland</u>		
Oeverwal	6	6,7
Kom/overgangsgebied	4	3,0
<u>Rattekaai</u>		
Oeverwal	10	6,5
Kom/overgangsgebied	6	5,9
<u>Slaak</u>		
Oeverwal	4	-
Kom/overgangsgebied	4	-

Tabel 14. Vergelijking van de gemiddelde sedimentatiesnelheden op de oeverwal en de kom voor de periode 1994 – 2003 met de periode 1989 - 1993 voor de schorren van St Annaland en Rattekaai [mm/jaar]. Slaak is toegevoegd ter vergelijking.

Afwerkperiode Oosterschelde van mei 1986 tot april 1987

Tijdens de 'afwerkperiode' van de Oosterscheldewerken (mei 1986 – april 1987) was het getij op de Oosterschelde extra verkleind in verband met de aanleg van de Oesterdam. Door deze extra getijreductie is het grootste deel van de schorren niet tot nauwelijks overspoeld geweest [Schrauwen, 1994]. De schorren tussen NAP+1,4 m en NAP +2,0 m zijn aanzienlijk minder overspoeld. De hoge delen zijn helemaal niet overspoeld geweest. Uit onderzoek van de Jong [1993] is gebleken dat de gemiddelde netto sedimentatiesnelheid tijdens deze periode sterk is verminderd t.o.v de periode ervoor. Het schor van St Annaland zal heel weinig zijn overspoeld. Rattekaai nog veel minder tot niet en Slaak nog het meest.

Sedimentatiesnelheid vóór aanleg stormvloedkering

Door Oenema [1988] is met behulp van ¹³⁷Ce voor Rattekaai de netto sedimentatiesnelheid vastgesteld voor de perioden 1954 – 1963 en 1963 – 1985. Deze is bepaald op 13 resp. 16 mm/jaar.

Voor een periode van 100 jaar is de netto sedimentatiesnelheid voor St Annaland vastgesteld op 4 tot 9 mm/jaar en voor Rattekaai op 10 tot 15 mm/jaar [Oenema, 1988]. Metingen in voornamelijk de schorkreken bij St. Annaland in de periode 1979 – 1981 geven als resultaat een sedimentatiesnelheid van ongeveer 5 mm/jaar [Kohsiek et al, 1981]. Tevens werd voorspeld dat na de aanleg van de stormvloedkering de opslibbing met 40 tot 75% zou afnemen.

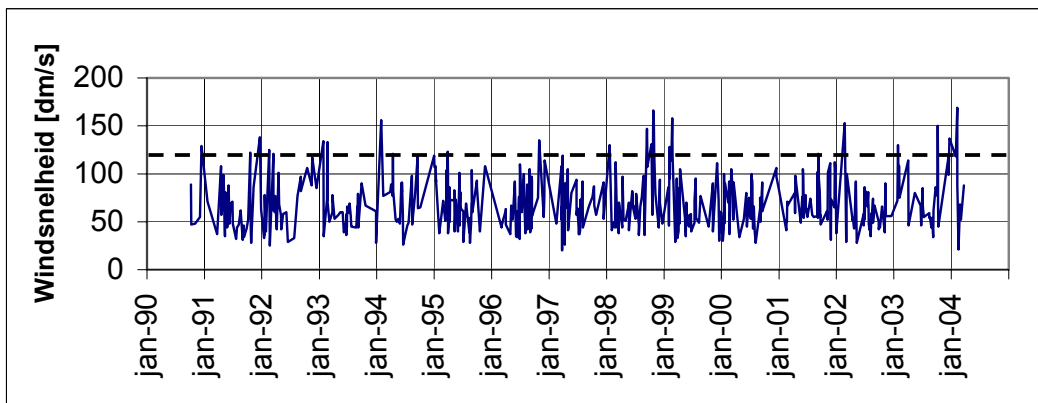
7. Hydromorfologische factoren en de doorwerking daarvan

In hoofdstuk 4 zijn de hydromorfologische processen beschreven die verantwoordelijk zijn voor de opbouw en afbraak van de schorren. Veranderingen hierin zijn bepalend voor de opgetreden ontwikkelingen en de ontwikkelingen die nog zijn te verwachten. In deze paragraaf worden de hydromorfologische omstandigheden gekwantificeerd en de doorwerking daarvan beschreven. Achtereenvolgens komen aan de orde wind en golven, hoogwaterstanden en stagnante waterstanden, relatieve zeespiegelrijzing en overspoeling van de schorren.

7.1 Wind en golven

In de Oosterschelde treedt bij een windsnelheid van meer dan 6 Beaufort (126 dm/s) een signifiante verhoging op van het chlorofylgehalte in het water [Vos, 1986]. Deze verhoging wordt toegeschreven aan de toename van benthische diatomeeën in de waterkolom als gevolg van de eroderende werking van de windgolven in de ondiepe zones. Een vergelijkbare constatering is gedaan in het Eems estuarium [de Jonge, 1992]. Parallel hieraan komt ook slib uit de bodem bij deze windsnelheid in het water terecht.

De hoogte van de windgolven wordt sterk bepaald door de beschikbare strijklengte langs het wateroppervlak. Voor de schorgebieden van St Annaland, Rattekaai en Slaak is de strijklengte uit de sector West tot Noord maatgevend voor het verkrijgen van de hoogste windgolven. Daarnaast is de waterdiepte van belang en de duur van de wind. Ten gevolge van de geringe strijklengte tot de schorren (enkele km) zijn de windgolven binnen het uur volledig ontwikkeld. De omstandigheden, waarbij de windgolven zich maximaal kunnen ontwikkelen, treden regelmatig op. Dit blijkt o.a. uit het verloop van de etmaalgemiddelde windsnelheid in de sector West - Noord (Figuur 13).



Figuur 13. Etmaalgemiddelde windsnelheid te Stavenisse bij wind uit de sector West – Noord (270 - 360 graden). Streeplijn: windkracht 6.

Voor het verkrijgen van veel sediment in het water is het van belang dat de wind lange tijd aanhoudt. Uit figuur 12 volgt dat jaarlijks gedurende meerdere etmalen de condities hiervoor aanwezig zijn. De golfenergie, die hierbij wordt opgewekt, is de aandrijvende kracht voor het sediment dat in suspensie geraakt. Uit golfberekeningen en golfmetingen is afgeleid welke golfhoogten en bijkomende golfenergie mag worden verwacht ter plaatse van de schorren [van Maldegem & Verhagen, 1984]. Hierbij is uitgegaan van HW omstandigheden en een gemiddelde windsnelheid van meer dan 126 dm/s (Tabel 15).

Schorgebied	Hs [m]	E [m ² /s]
St Annaland	0,4	0,2
Rattekaai	0,5 tot 0,7	0,4 tot 0,7
Slaak	0,4	0,2

Tabel 15. Golfhoogte en golfenergie ter plaatse van de schorren van St Annaland, Rattekaai en Slaak.

De resultaten zijn in overeenstemming met procesonderzoek wat in deze schorgebieden in 1982 en 1983 is uitgevoerd [Schoot & van Eerd, 1985]. Uit hun onderzoek volgt dat de maximale golfhoogte, die kan optreden overeenkomt met de helft van de aanwezige waterdiepte. Dit gegeven klopt redelijk met de waarde die de literatuur aangeeft voor het zogenaamde brekerccriterium voor windgolven, welke als randvoorwaarde is gehanteerd bij de golfberekeningen voor de Oosterschelde.

Uit de tabel volgt dat golfenergie nabij het schor van Rattekaai een factor 2 groter is als voor de schorren St Annaland en Slaak. Verwacht mag worden dat de hoeveelheid gesuspendeerd materiaal eveneens een factor 2 groter zal zijn. Voor het transport van het sediment naar de schorren zelf is een combinatie met de vloedstroom nodig. Procesonderzoek naar deze schorsystemen in 1982 en 1983 [Schoot & van Eerd, 1985] wijst eveneens uit dat door de hoge orbitaalsnelheden van de golven (tot ca. 0,5 m/s) het sediment opwoelt en dat de getijstroom zorgt voor het transport van dit sediment.

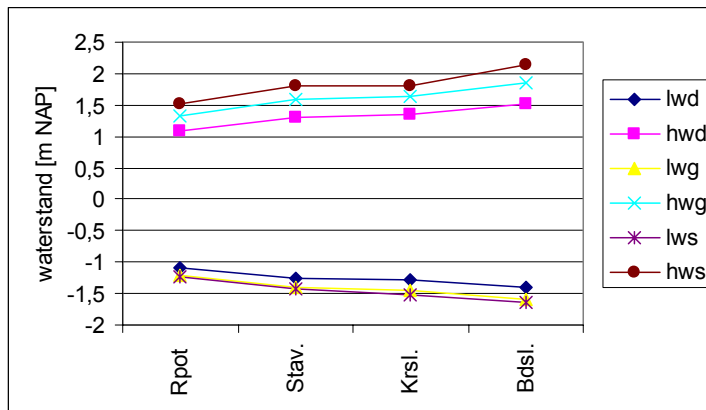
7.2 Hoogwaterstanden en stagnante waterstanden

De waterstanden die optreden bij de schorren zijn afhankelijk van het getij en de sluitingsstrategie van de stormvloedkering. Tengevolge van de getijgolf varieert het getij wat afhankelijk van de locatie in de Oosterschelde. De opgetreden laag- en hoogwaterstanden zijn berekend voor het slotgemiddelde 1991.0 (Tabel 16).

Station	gemiddeld doottij		gemiddeld tij		gemiddeld springtij	
	LW	HW	LW	HW	LW	HW
Roompot binnen	-1,10	1,09	-1,21	1,33	-1,23	1,52
Stavenisse	-1,26	1,30	-1,39	1,58	-1,42	1,80
Krammersluizen	-1,29	1,35	-1,45	1,63	-1,51	1,81
Bergsediepsuis	-1,39	1,52	-1,60	1,86	-1,65	2,14

Tabel 16. Gemiddelde hoog- en laagwaterstanden in de Oosterschelde voor enkele getijstations, slotgemiddelde 1991.0 [m NAP].

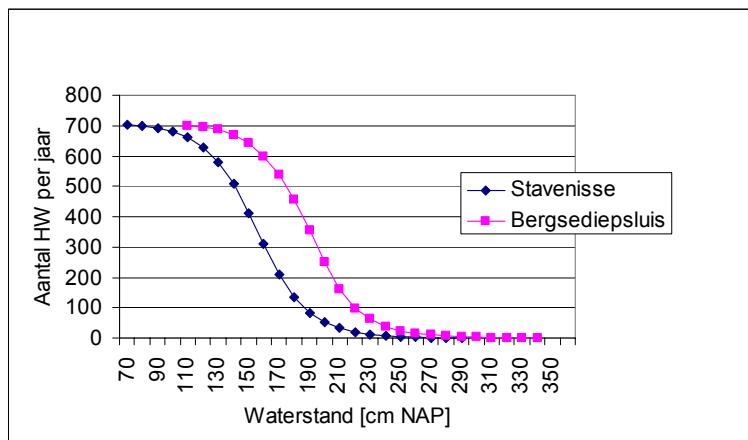
Deze variaties betekenen dat de schorren bij St Annaland en Slaak (getij Stavenisse tot Krammersluizen) te maken hebben met andere getijhoogten dan de schorren bij Rattekaai (getij Bergsediepsuis). In figuur 14 is dit geïllustreerd via de “theoretische” verhanglijnen, waarbij opvalt dat er weinig verschil is tussen Stavenisse en Krammersluizen.



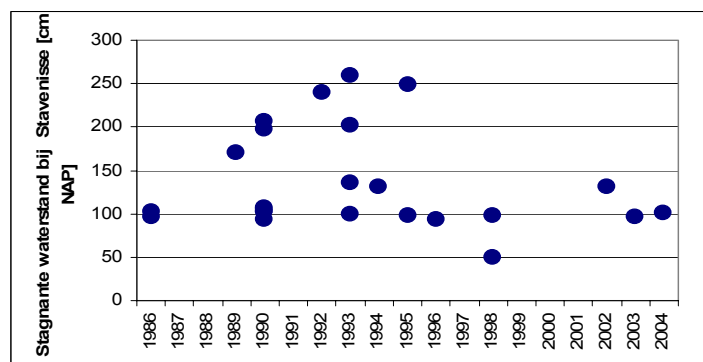
Figuur 14. “Theoretische” verhanglijnen tijdens gemiddeld laagwater en hoogwater situaties op de Oosterschelde.

Voor de schorren bepaalt de frequentie van het optreden van de hoogwaterstanden de mate van overspoeling van de schorren. Het aantal keren dat een bepaalde waterstand wordt overschreden is berekend voor de stations Stavenisse en Bergsediepsuis over de periode 1 april 1987 tot 29 februari 2004 (Figuur 15). Uit deze figuur kan worden afgelezen dat een bepaalde hoogte tov NAP bij de Bergsediepsuis (Rattekaai) minder frequent wordt overspoeld dan diezelfde hoogte bij Stavenisse (St Annaland, Slaak). Daarom kan voor schorren beter worden gewerkt met de relatieve hoogte t.o.v. Gem. Hoogwater.

De bovengrens van de optredende hoogwaterstanden in de Oosterschelde is bepaald door het sluitingscriterium van de stormvloedkering. Dit is vanaf 1987 een verwachte waterstand van NAP + 3.0 m zeewaarts van de kering. Figuur 16 geeft als functie van de tijd de sluitingen van de stormvloedkering.



Figuur 15 Overschrijding van de waterstanden op de Oosterschelde voor getijstation Stavenisse en Bergsediepsuis. De getrokken lijnen in de grafiek zijn de verbinding van de punten.



Figuur 16. De sluitingen van de stormvloedkeringen vanaf 1986 tot heden met bijbehorende stagnante waterstand te Stavenisse (sluitingsstrategie: 1^e sluiting NAP+1 m, 2^e sluiting NAP +2m).

Opvallend is dat na 1995 de sluiting bij lagere stagnante waterstanden heeft plaatsgevonden als in de periode ervoor. Dit komt o.a. doordat sindsdien geen 'meertopsstormen' meer zijn opgetreden, waarbij de kering twee maal achtereen gesloten moest worden. De verdeling van de sluitingsniveaus laat zien dat een stagnante waterstand rond NAP+1m het meeste is voorgekomen. Dit ligt onder het schor niveau.

7.3 Relatieve zeespiegelrijzing

De ontwikkeling van de schorren wordt naast de autonome ontwikkeling geconfronteerd met de effecten van relatieve zeespiegelrijzing. Tot 1950 was de relatieve zeespiegelrijzing < 8 cm per 100 jaar of < orde 1 mm per jaar [Vos, 2002]. De huidige schattingen van deze rijzing in verband met de opwarming van de aarde lopen uiteen van 1,5 tot 9,5 mm/jr. Bij het maken van prognoses dient tevens het effect van een grotere getijkkracht ten gevolge van de relatieve zeespiegelrijzing te worden meegenomen.

Vrij recent is voor de veiligheid van de kust een set waarden aanbevolen over een periode van 50 tot 100 jaar waarmee de beheerder rekening dient te houden [Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2002]. Deze waarden zijn verbonden aan drie mogelijke scenario's voor zeespiegelrijzing (Tabel 17).

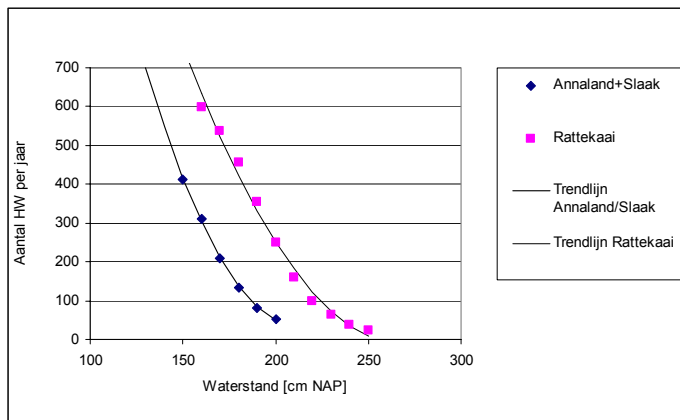
Jaar	2050	2100	2200
Minimumscenario	+ 0,10 m	+ 0,20 m	+ 0,40 m
Middenscenario	+ 0,30 m	+ 0,60 m	+ 1,20 m
Maximumscenario	+ 0,45 m	+ 0,85 m	+ 1,70 m

Tabel 17. Aanbevolen waarden voor randvoorwaarden op lange termijn in verband met relatieve zeespiegelrijzing.

Behalve de zeespiegelrijzing verandert ook het getijverschil. De hoogwaterstanden stijgen per 100 jaar 5 cm sneller dan de gemiddelde zeespiegelrijzing, terwijl de laagwaterstanden 5 cm langzamer stijgen dan de gemiddelde zeespiegelrijzing, waardoor het getijverschil geleidelijk groter wordt [Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2002]. Deze verandering in getijverschil werkt ook door op het getijverschil in de Oosterschelde. De verandering in hoogwaterstanden hierdoor is echter aanzienlijk kleiner dan de verandering door de relatieve zeespiegelrijzing. In de Zoutkrant van maart 2004 is aandacht besteed aan dit onderwerp [Dilling, 2004]. Resumerend lijkt het het meest reëel uit te gaan van een stijging van 0,20 tot 0,60 m/eeuw.

7.4 Overspoeling schorren

Tijdens hoogwater overspoelen de schorren in meer of mindere mate. Voor het berekenen van de overspoeling is gebruik gemaakt van de overschrijdingsfrequentie van de waterstand volgens figuur 14. Door de punten hiervan zijn 2^e graadskrommen gefit voor het bereik dat overeenkomt met de hoogteligging van de kaolienveldjes (Figuur 17).



Figuur 17. 2^e graadskrommen van de overschrijding van de waterstand nabij de schorren St Annaland, Slaak en Rattekaai, voor het bereik van de hoogteligging van de schorren. De punten in de figuur zijn dezelfde als in figuur 14; de berekende lijnen zijn de berekende 2^e graadskrommen hierdoor.

Met behulp van deze krommen is berekend hoeveel getijden per jaar de betreffende plots zijn overspoeld (Tabel 18). Het aantal overspoelingen is ingedeeld in klassen van minder dan 100 getijden per jaar tot meer dan 500 getijden per jaar. De tijdsduur van overspoeling is hierbij buiten beschouwing gelaten.

Schor	< 100 getij/jr	100 - 200 g/j	200 – 300 g/j	300 –400 g/j	400 – 500 g/j	> 500 getij/jr
St Annaland	3	7	5	-	-	-
Rattekaai	6	10	9	3	5	1
Slaak	-	2	4	6	-	-

Tabel 18. Verdeling van de kaolienveldjes op de schorren van St Annaland, Rattekaai en Slaak naar overspoelingsfrequentie.

Uit tabel 18 volgt dat de kaalienplots op het schor van Slaak over het algemeen zeer regelmatig worden overspoeld, terwijl er op het schor van St Annaland ook plots zijn die zeer regelmatig niet worden overspoeld. Op het schor van Rattekaai is de overspoeling van de veldjes van zeer frequent tot bijna nooit.

8. Discussie en synthese

8.1 Sedimentatiesnelheid kaolienveldjes in relatie tot morfologische aspecten

De resultaten van de sedimentatiesnelheden zijn gesplitst in kom en oeverwal en vervolgens geclusterd naar de afstand tot het schorklif via de kreek en de kreekbreedte (tabel 19). De directe afstand naar de schorklif is hierin niet betrokken, omdat dit nauwelijks een andere beeld van de resultaten geeft.

Afstand tot schorklif via de schorkreek	Oeverwal		Komgebied	
	kreekbreedte <20 m	kreekbreedte >20m	kreekbreedte <20 m	kreekbreedte >20m
Achterin schorkreek >400m	10	8 (6-9)	4 (3-8)	4 (2-4)
Halverwege schorkreek 200 -400m	13	-	5 (4-8)	-
Halverwege schorkreek 100 -200m	10 (9-11)	-	5 (2-9)	-
Monding schorkreek <100 m	6	-	10 (1-16)	-

Tabel 19. Sedimentatiesnelheden in relatie tot morfologische aspecten [mm/jaar]. Gemiddelde en spreiding.

De sedimentatie op de oeverwallen is globaal twee maal zo groot als in de kommen. Uitzondering is de sedimentatiesnelheid in de monding van de schorkreek. De ligging in afstand t.o.v. de kreekmonding maakt weinig uit, behalve voor het komgebied in de monding van kreek. Wellicht is alleen daar invloed van directe overspoeling merkbaar. De breedte van de schorkreek lijkt van ondergeschikte invloed.

8.2 Sedimentatiesnelheid kaolienveldjes in relatie tot de hydraulische factoren

De sedimentatiesnelheid van de kaolienveldjes is vergeleken met de hydraulische factoren door windgolven en overspoeling resp. tijdens het normale getij en tijdens stagnante waterstand.

Sedimentatiesnelheid versus windgolven

De sedimentatiesnelheid van de kaolienveldjes op het schor bij Rattekaai is ongeveer een factor 2 groter dan op de schorren van St Annaland en Slaak, een verschil dat vergelijkbaar is met het verschil in aanwezige golfenergie voor de betreffende schorren. Het is in overeenstemming met wat in de literatuur wordt gevonden over het belang van golfenergie voor de sedimentatie op schorren [Schoot & van Eerd, 1985; Vos, 1986].

Op basis hiervan zou verwacht kunnen worden dat storm tot extra sedimentatie op de schorren leidt. Dit is nagegaan voor de langste meetreeks, Rattekaai 1994 – 2003. Gedurende deze meetperiode is het stormseizoen 1998 -1999 het meest extreem geweest. In de meetreeks van Rattekaai is gedurende dit jaar echter geen extra sedimentatie geconstateerd. Aangenomen wordt daarom dat op jaarbasis gezien de effecten van stormen voor de sedimentatie verwaarloosbaar zijn t.o.v. het continu effect van de windgolven.

Sedimentatiesnelheid versus overspoelingsfrequentie door het getij.

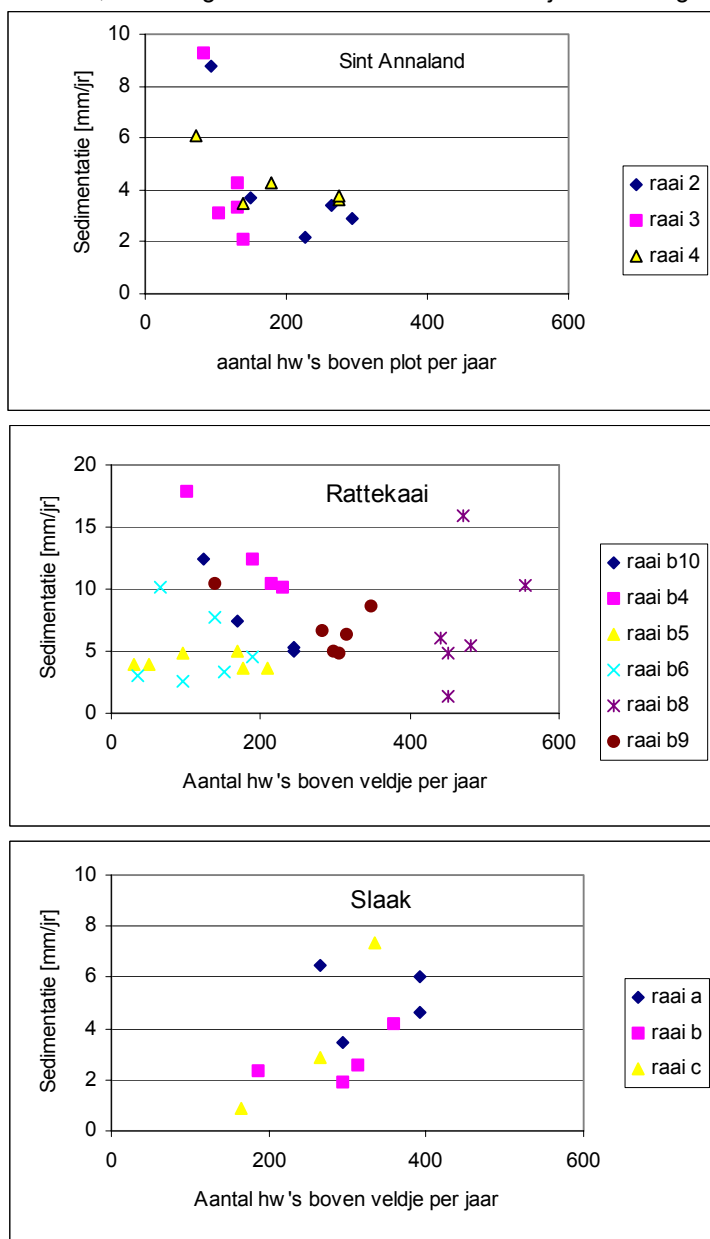
De sedimentatiesnelheid van de kaolienveldjes is vergeleken met de overspoelingsfrequentie van de veldjes. Deze vergelijking is afzonderlijk gemaakt voor de 3 schorgebieden (Figuur 19).

De figuur laat zien dat er over het algemeen een relatie is tussen de sedimentatiesnelheid van de veldjes binnen dezelfde raai, ofwel het maakt uit of een veldje ligt op de oeverwal dan wel in de kom.

Daarnaast blijkt dat er per schor een duidelijk verschil is tussen de raaien. D.w.z. dat naast de overspoelingsfrequentie ook de ligging van de raai binnen het schor van invloed lijkt op de sedimentatiesnelheid van een raai als geheel. Met name bij Rattekaai hebben de 2 raaien aan de schorrand, B4 en B8, als raai een hogere sedimentatiesnelheid dan de meer naar binnen gelegen raaien. Tenslotte laat de figuur zien dat voor de schorren van St Annaland en Rattekaai over het algemeen de sedimentatiesnelheid niet toeneemt bij meer overspoeling, terwijl bij het schor van Slaak dat wel zo is. Een duidelijke verklaring hiervoor is er niet.

Dit zou echter ook kunnen worden geïnterpreteerd als dat bij de hoger gelegen raaien (overspoelingsfrequentie ruwweg minder dan 300x/j) de sedimentatie toeneemt bij toenemende hoogte en bij de lager

gelegen veldjes juist toeneemt bij afnemende hoogte. In dat geval zou er sprake kunnen zijn van een hoogte, = overspoelingsfrequentie, effect in de lager gelegen delen en een morfologie effect, kom – oeverwal, in de hogere delen van het schor. Dat lijkt niet onlogisch.



Figuur 19 Vergelijking tussen de sedimentatie van kaolienveldjes en de overspoelingsfrequentie hiervan.

Sedimentatiesnelheid versus stagnante waterstand

In de meetperiode is gemiddeld één keer per jaar een periode van stagnante waterstand voorgekomen. De kaolienveldjes zijn niet overspoeld tijdens deze perioden, doordat het sluitingspeil steeds op NAP + 1 m lag. De sedimentatie op de schorren kan zodoende niet het gevolg zijn geweest van een stagnante waterstand.

8.3 Sedimentatiesnelheid versus relatieve zeespiegelrijzing

De sedimentatiesnelheid op de schorren loopt uiteen van 3 tot 10 mm/jr. Vergelijking van deze waarden met de relatieve zeespiegelrijzing (minimum scenario 2 mm/jr; gemiddeld scenario 6 mm/jr; maximum scenario 8,5 mm/jr) laat zien dat bij het minimum scenario de sedimentatiesnelheid van de kaolienveldjes groter is dan de zeespiegelrijzing, maar dat deze kleiner is dan het maximum scenario van de

zeespiegelrijzing. Voor het gemiddelde scenario van de zeespiegelrijzing geldt dat de schorren van St Annaland en Slaak niet in staat zijn deze rijzing bij te houden, maar dat de sedimentatiesnelheid op het schor van Rattekaai (vooral de komgebieden) vergelijkbaar is met deze rijzing. Hierbij moet nog bedacht worden dat de opslibsnelheid gemeten met kaolien niet overeenkomt met de absolute verhoging van het maaiveld. Als gevolg van klink is de absolute hoogteverandering van het schor geringer dan de gemeten sedimentatiewaarden in tabel 19. Uit de vergelijking van de kaolienmetingen en de hoogtemetingen aan het begin en het eind van de meetperiode volgt dat het gesedimenteerde materiaal nog ca. 25% inklinkt.

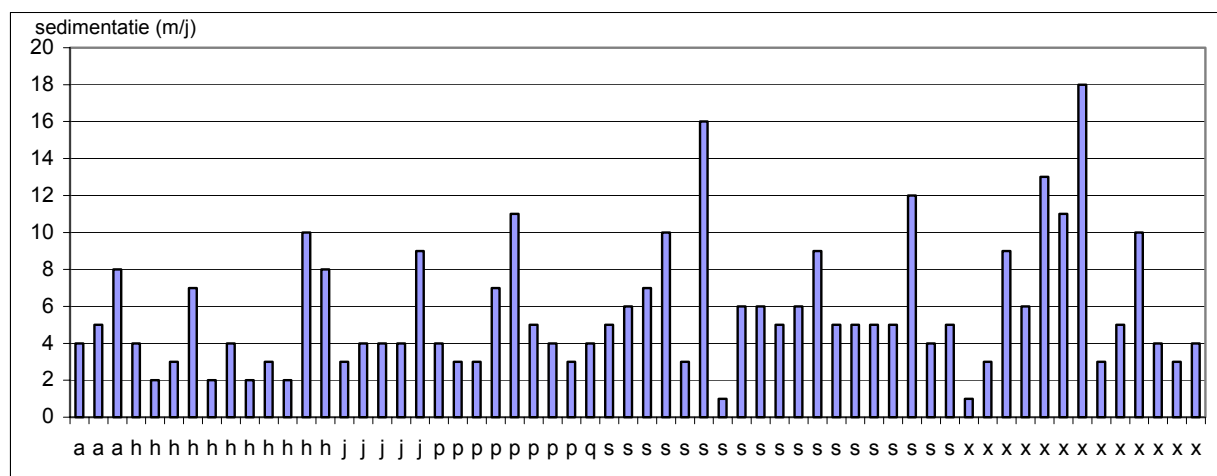
In hoeverre de sedimentatie op de schorren zal kunnen toenemen als de schorren door de zeespiegelrijzing frequenter overspoeld worden is moeilijk in te schatten. Het lijkt niet echter waarschijnlijk dat dit veel zal zijn, omdat de sedimentatieniveaus op met name Slaak en St Annaland nu laag zijn door het beperkte voorland en strijklengte.

Samenvattend kan voorzichtig worden geconcludeerd dat mogelijk alleen het schor bij Rattekaai de zeespiegelrijzing voldoende zal kunnen bijhouden, maar dat de schorren van St Annaland en Slaak een risico lopen op den duur te 'verdrinken'.

De band rond de prognose van de relatieve zeespiegelrijzing is echter nog te breed om hardere uitspraken te kunnen doen.

8.4 Sedimentatiesnelheid versus vegetatie

In de plotjes is naast de sedimentatie ook de vegetatie bepaald. Wanneer deze met elkaar worden vergeleken valt op dat er geen duidelijke relatie is tussen vegetatie, als type of als begroeiingshoogte, en de mate van sedimentatie (Figuur 20). Blijkbaar is het effect van de aard van de vegetatie erg gering of loopt dit parallel met de hoogteligging en/of de morfologie



Figuur 20. Sedimentatiesnelheid in relatie tot de vegetatie; binnen de vegetatiegroepen is ingedeeld naar hoogteligging tov NAP.

a: kweldergas/engels slijkgras gedomineerd, h: zoutmelde gedomineerd, j: roodzwenkgras gedomineerd, p: kweldergas gedomineerd, s: engels slijkgras gedomineerd, x: strandkweek gedomineerd.

8.5 De herkomst van het sediment van de schorren

Sedimenttoevoer naar de schorren

Ervan uitgaande dat de meetlocaties en bijbehorende meetresultaten maatgevend zijn voor de gemiddelde ontwikkeling van de schorgebieden in de Oosterschelde is een beeld te verkrijgen van de hoeveelheid sediment die naar het schor wordt verplaatst (tabel 20).

Schorgebied	Oppervlakte [ha]	Meetgegevens		Berekende sedimentaanvoer op basis van kaolienveldjes	
		kaolienmeting [mm/jr]	%>63 μ m	Zand [m ³ /jr]	Slib [m ³ /jr]
St Annaland	177	4 tot 6	70 tot 80	5000 tot 8500	2100 tot 3200
Rattekaai	135	6 tot 10	10 tot 60	800 tot 8100	3200 tot 12200
Slaak	130	3 tot 4	30	1200 tot 1600	2700 tot 3600
Totaal deze schorren (85% totaal)	442			7000 tot 18200	8000 tot 19000
Totaal Oosterschelde				8200 tot 21400	9400 tot 22400

Tabel 20. Sedimentaanvoer naar de schorren in de Oosterschelde

Conclusies orde grootte van sedimentaanvoer:

Zandaanvoer 8 tot 21. 10³ m³/jr

Slibaanvoer 9 tot 22. 10³ m³/jr

Totaal sedimentaanvoer 18 tot 44. 10³ m³/jr, waarvan ca 45% zand en ca 55% slib.

Rekening houdende met een soortelijke massa van ca 2 ton/m³ wordt jaarlijks 36 tot 90.10³ ton droog sediment aangevoerd. Dit sediment moet ergens vandaan komen. Voor de hand liggende bronnen zijn het voorland (het slik), de eroderende schorkliffen en het overspoelende water. Hier wordt kort iedere bron besproken.

Het voorland als sedimentbron

Gezien het belang van de strijklengte en/of de breedte van het voorland kan een aanzienlijk deel van het sediment uit de naaste omgeving van het schor komen, het voorliggende slik.

Wanneer al het benodigde sediment wordt verdeeld over het voorland betekent dit dat dit hierdoor met een tot enkele mm per jaar verlaagd. Dit is zo gering dat het binnen de meetfout valt van zowel de grootschalige hoogtemetingen als de slik-schorprofielen; deze laatste zijn bovendien te kort om hierover nadere uitsluitel te geven.

Ter illustratie: in de periode 1993 – 2001 is het volume (boven GLW) van het intergetijde gebied afgenomen van 121 naar 108.10⁶ m³. Dit betekent een netto erosie van orde grootte 13. 10⁶ m³, gemiddeld 1600. 10³ m³/jr [Hesselink & van Maldegem, 2003]. De berekende sedimentaanvoer naar de schorren van 18 tot 44 .10³ m³/jr ligt ver binnen deze geërodeerde hoeveelheid, en ook binnen de meetnauwkeurigheden.

Het sediment dat naar de schorren wordt aangevoerd kan dus mogelijk deels afkomstig zijn van de intergetijdengebieden. Probleem is dat de erosie op de slikken netto neerwaarts, naar de geulen, gericht is en niet naar boven, naar de schorren. Een dergelijk transport is dus tegen de netto bewegingsrichting van het sediment in. Maar mogelijk dat onder stormomstandigheden daadwerkelijk sediment richting schor getransporteerd wordt t.g.v de samenwerkende krachten van golven en naar het schor gerichte windgedreven stroming.

Het voorliggende slik als bron voor zandtransport naar de schorren is dus een goede mogelijkheid. Het positieve effect van de breedte van het voorland op de mate van sedimentatie lijkt hier ook op te wijzen. Het voorland is echter over het algemeen zand met erg weinig slib. Het gesedimenteerde materiaal bestaat echter uit ruwweg 50% slib. Er moet dus nog een andere, slibrijke, sedimentbron zijn.

Het schorklif als sedimentbron

De schorkliffen gaan gemiddeld genomen achteruit, zij het niet over de gehele lengte van de schorranden. Globaal is in het oosten van de betreffende schorren de erosie gering en in het westen sterker, ruwweg 0,5 –1,5 m/j. Om een beeld te krijgen van de mogelijke invloed is voor de meetgebieden, waarvan zowel de kliferosie als de sedimentatiesnelheid bekend is, een globale vergelijking gemaakt tussen de achteruitgang van de schor-slik overgang (inclusief schorklif) en de sedimentatiesnelheid van het betreffende schorgedeelte (Tabel 21).

Schor	Lengte schor-slik overgang [m]	Breedte schor [m]	Erosie schor-slik overgang [m/jr]	Sedimentatie snelheid [mm/jr]	Hoeveelheid sediment* uit schor-slik overgang [m ³ /jr] in meetgebied	Gesedimenteerd op schor [m ³ /jr] in meetgebied
St Annaland	1000	500	1,7	5	850	2500
Rattekaai	1000	500	0,2	8	80	4000
Slaak	1000	150	0,4	4	280	600

Tabel 21. Vergelijking tussen achteruitgang van het schorklif en de sedimentatie op het schor in de meetgebieden.

* Hoogte schorkliffen: St Annaland 0,5 m, Rattekaai 0,4m en Slaak 0,7m.

De vergelijking tussen de hoeveelheid sediment die bij de erosie uit de schor-slik overgang beschikbaar komt met de gemeten sedimentatie op het betreffende schordeel laat zien dat bij St Annaland en Slaak er een substantiële bijdrage kan komen vanuit het klif, maar dat dat bij Rattekaai niet zo is. Ook de lutumrijkdom van het gesedimenteerde materiaal komt in de orde van de bodemsamenstelling van de kliffen [Stein, 1984], zij het dat bij Rattekaai en Slaak de nieuwe afzettingen 10 tot 20% meer slib bevatten dan voorheen. Er is dus in principe nog een extra slibbron zijn. Welke is niet duidelijk.

Verder zijn er ook delen van schorren waar de kliferosie heel beperkt tot nagenoeg afwezig is, zodat daar de mogelijk bijdrage vanuit de kliferosie aan de sedimentatie op het schor nog veel minder tot afwezig is.

Een consequentie van een mogelijke substantiële bijdrage van de kliferosie aan de sedimentatie op het schor is dat voor het behoud van het schor qua hoogte materiaal uit de rand van het schor nodig is. Om zichzelf in stand te houden moet het schor zich als het ware opeten. Het westelijk deel van het schor bij Slaak (Rumoir) is thans verdedigd met een grinddam tegen het klif, zodat de schorkliferosie hier zal stoppen. Het niet verder eroderen van dit schor kan dan betekenen dat vanuit kliffen geen sediment meer beschikbaar komt voor op het schor, waardoor, uitgaande van de zojuist gestelde hypothese, de sedimentatiesnelheid van het schor nog verder zal afnemen. Ook een (geplande) verdediging en zal een deel van het schorklif bij St Annaland kan dit effect hebben. Onduidelijk is in hoeverre dit ook echt zo is. Onderzoek met behulp van tracers zou hier meer uitsluitsel over kunnen geven.

Het zwevend slib vanuit het overspoelende water als sedimentbron

Het oppervlaktewater, dat de schorren overspoelt, bevat vrijwel geen zand maar nog wel wat slib, getijgemiddeld 10 mg/l slib < 53 µm. In principe zal bij iedere overspoeling tenminste een deel van dit zwevende slib op het schor achterblijven. Gemiddeld worden de kaolienveldjes 230 keer per jaar overspoeld. De overspoeling bedraagt orde enkele dm's, met een gemiddelde van ca 1 dm. Indien wordt uitgegaan van 442 ha schor en een droge dichtheid op het schor van orde 2 t/m³ levert dit een jaarlijkse aanvoer van orde 500 m³ slib vanuit het water naar het schor. Hierbij is aangenomen dat t.g.v. de lage stroomsnelheden en geringe waterhoogte boven het schor al het fijne sediment, dat zo wordt aangevoerd, zich afzet op het schor. De werkelijke slibaanvoer naar het schor is berekend op 9500 tot 22500 m³/jr. De berekende slibaanvoer naar het schor vanuit het zwevend slib ligt dus ver onder de berekende hoeveelheid fijn sediment die per jaar wordt aangevoerd naar het schor. Het overspoelende water kan dus wel een beperkte bijdrage leveren, maar bij lange na niet voldoende.

Door de stormvloedkering wordt per getij (vloed en eb) ca. 450.10⁶ m³ water aangevoerd [de Bock, 2002]. Op jaarbasis bedraagt deze hoeveelheid 320. 10⁹ m³ water. Het vloedwater komt vanuit de Voordelta; het zwevend stofgehalte in het gebied vóór de stormvloedkering is < 20 mg/l [Kohsiek & Mulder, 1988]. In dit oppervlaktewater zweven zowel slib als zanddeeltjes. De ontgrondingskuilen vóór en achter de kering werken echter als zandvang waardoor het zand de Oosterschelde zelf niet bereikt. Aangenomen wordt echter dat een zeer gering deel van de fijne deeltjes, met geringe valsnelheid (wash load), wel de Oosterschelde kan bereiken [ten Brinke, 1991]. Indien de slibaanvoer naar de schorren geheel hiervan afkomstig zou zijn, zou ongeveer 0,3 mg/l van het aangevoerde zwevende stof in de Oosterschelde op de schorren achterblijven. Dit zou dan een niet te meten concentratieverandering geven van het zwevend stofgehalte in de Oosterschelde (<10 mg/l). Geconcludeerd kan worden dat het slib op de schorren tenminste voor een deel vanuit zee kan zijn aangevoerd.

Sedimentbronnen samengenomen

Wanneer alle potentiële sedimentbronnen worden samengenomen ontstaat het beeld dat de zandige fractie vermoedelijk voornamelijk vanuit het voorland zal komen. Daar is voldoende zand beschikbaar en er lijkt een correlatie tussen de omvang van het voorliggende slik de mate van sedimentaanvoer. De bron

voor het aangevoerde slib is minder duidelijk. Mogelijk komt een deel uit het geërodeerde schorklif en een deel uit de zwevende stof fractie in het overspoelingswater, maar dat is bij lange na niet voldoende. Er kan een mogelijke derde bron worden benoemd, maar daar is weinig van bekend. In de Oosterschelde ligt in de ondiepe delen een omvangrijk areaal mosselpercelen. Mosselen produceren grote hoeveelheden pseudo-feces, die voor een deel bestaan uit zwevend slib dat vanuit de waterkolom wordt gefiltreerd. Het lijkt goed mogelijk dat tijdens storm deze pseudo-feces voor een deel worden opgewoeld in de waterkolom en vervolgens richting schor gaan. Onder die omstandigheden is ook de waterkolom boven het schor tijdens hoogwater beduidend groter, globaal tot 1 m. Hoewel ook het water veel sterker in beweging is, wat de mogelijkheden voor afzetting van dit fijne sediment beperkt, zou er toch een substantieel groter deel van de dan fors verhoogde concentratie zwevend slib op het schor kunnen achterblijven. Op deze wijze profiteren de schorren meer van het via de kering binnen komende zwevend slib.

Herkomst van het sediment door nadere analyse van de bodemonsters

De bodemonsters van de schorren zijn geanalyseerd op deeltjesgrootte en koolstof. Nadere analyse van het materiaal, waarbij onderscheid kan worden gemaakt naar onderliggende lagen kan mogelijk bepalen in hoeverre sediment van het gebied buiten de kering wordt aangevoerd. Gedacht kan worden aan de verhouding C^{12}/C^{13} , de hoeveelheid $^{137}\text{Cesium}$ enz. Ideeën hieromtrent zijn gevormd in samenwerking met Gerard Spronk van de hoofdafdeling MI.

8.6 Integratie van de verschillende processen

De sedimentatie op de schorren varieert, maar er zijn geen grote verschillen. De verschillen in sedimentatie zijn ten dele verklaarbaar door de positie van de meetlocatie op het schor, oeverwal of kom resp. afstand tot de schorrand.

Wanneer de hydromorfologische informatie erbij wordt betrokken kan worden geconcludeerd dat de sedimentatiesnelheid van het schor als geheel in belangrijke mate wordt bepaald door de maximale golfenergie vóór het schor. Daarbij zorgen de orbitaalsnelheden voor de resuspensie van sediment en transporteert de getijstroom het sediment de schorren in. Naarmate het slik breder wordt neemt de aanvoer toe en naarmate de veldjes verder in het schor liggen neemt de aangevoerde hoeveelheid sediment af. De oeverwal ontvangt over het algemeen meer sediment dan het komgebied er achter.

De hypothese dat het schor zandiger is geworden moet worden verworpen. Het gemiddelde beeld is dat de schorren gelijk zijn gebleven of wat slikkiger zijn geworden. Gecombineerd met de verminderde sedimentatiesnelheid betekent dit dat er netto minder zand en slib wordt aangevoerd, maar dat de zandaanvoer relatief gezien meer is afgenomen dan de slibaanvoer.

De sedimentatiesnelheden die behoren bij dit beeld zijn schematisch gerangschikt naar de belangrijkste morfologische en hydraulische aspecten (Tabel 22). Omdat weinig veldjes als overgangsgebied zijn getypeerd, zijn deze als kom beschouwd. Daarnaast zijn enkele oeverwallen, die als zodanig niet meer functioneren, vervallen of als kom getypeerd.

De kaolienveldjes op het schor van Slaak (halverwege het smalle schor gelegen) zijn gerekend als liggend in de Monding van de schorkreek door de korte afstand tot het schorklif.

Vergelijk van de waarden uit tabel 22 met de orde grootte van de zeespiegelrijzing (2 tot 6 mm/jr) laat zien dat bij een gemiddeld scenario de oevers redelijk in staat zijn mee te groeien met de zeespiegelrijzing. De komgebieden met veel golfenergie zullen ook redelijk lang bestand zijn hiertegen; de komgebieden met weinig golfenergie daarentegen zullen naar verwachting op termijn gaan 'verdrinken'. Mogelijk dat dit deels wordt gecompenseerd door extra sedimentatie t.g.v de grotere overspoelingsfrequentie, maar waarschijnlijk is dit niet gezien de verdergaande achteruitgang van de slikken.

Afstand tot schorklif	Oeverwal		Komgebied	
	weinig golfenergie	veel golfenergie	weinig golfenergie	veel golfenergie
Achterin schorkreek >400m	9	10	2 tot 4 (gem. 3)	3 tot 8 (gem. 4)
Halverwege schorkreek 200 -400m	6	13	4	4 tot 8 (gem. 5)
Halverwege schorkreek 100 -200m	9	11	3 tot 4 (gem. 3)	5 tot 9 (gem. 6)
Monding schorkreek <100 m	7	6	2 tot 6 (gem. 4)	1 tot 16 (gem. 9)

Tabel 22. Overzicht netto sedimentatiesnelheden schorgebieden Oosterschelde [mm/jaar]. (netto: inclusief klink)

Het voor de sedimentatie benodigde sediment kan afkomstig zijn uit verschillende bronnen. De voornaamste zandbron is vermoedelijk het voorliggende slik, waar het zand tijdens storm wordt opgewoeld door de golven waarna het via windgedreven transport naar het schor gaat. Een tweede bron kan zijn een deel van het materiaal dat bij de kliferosie vrijkomt. Bekend is dat dit materiaal tijdens storm op de schorrand gedeponeerd kan worden. In hoeverre dit in substantiële hoeveelheden verder in het schor komt is niet duidelijk. Tenslotte kan er, met name slib, vanuit het overspoelende water op het schor komen. Omdat de onder normale omstandigheden aanwezige hoeveelheid zwevend slib erg klein is zal dit dan vermoedelijk vooral tijdens storm gebeuren wanneer veel slib wordt opgewerveld (van mosselpercelen?) en wordt meegenomen.

9. Conclusies en aanbevelingen

- De resultaten van dit onderzoek zijn gebaseerd op 62 meetveldjes van 30 bij 100 cm in een gebied van 442 ha, dwz op één tienmiljoenste deel van de schorren van St Annaland, Rattekaai en Slaak. Toch worden de resultaten gezien als indicatief voor de ontwikkelingen op de schorren als geheel
- Na het aanleg van de Deltawerken is het getijregiem op de Oosterschelde sterk verminderd en is er een ernstig sedimenttekort in het bekken ontstaan. Op de schorren is de sedimentatie ruwweg met een factor 2 afgenomen, terwijl de schorren zelf versmallen. Deze ontwikkeling in de periode 1989 – 1993 heeft zich doorgezet tot 2003. Het sediment dat zich afzet bij Rattekaai en Slaak is fijner dan vóór 1989. De afname van de sedimentatie komt orde grootte overeen met wat is voorspeld in 1981.
- De grootte van sedimentatie correleert positief met het aanwezige golfklimaat. Het binnenstromende en overspoelende water zorgt voor het transport van sediment naar het schor.
- De sedimentatie in het schor neemt af naarmate de afstand tot de monding van geulen en kliffen groter wordt. Voor de sedimentatie in de landwaarts gelegen delen van het schor zijn de krekens van cruciaal belang.
- Er wordt geen duidelijke relatie gevonden tussen de vegetatie (bv hoogte ervan) met de mate van sedimentatie.
- Het materiaal dat op het schor sedimenteert is vermoedelijk voor een belangrijk afkomstig uit het voorland (met name zand) en mogelijk voor een (onbekend) deel uit de kliferosie. Dit wordt vermoedelijk aangevuld met vooral fijn sediment uit het overspoelende water dat tijdens stormen wordt opgewoeld van bijvoorbeeld mosselpercelen. Duidelijke effecten van stormachtige perioden kunnen echter niet worden gevonden in de meetdata.
- Het minimum scenario van de relatieve zeespiegelrijzing heeft nauwelijks gevolgen voor het behoud van de schorren. Bij het maximum scenario is het effect echter dramatisch, 'verdrinken' van alle drie de schorren. Uitgaande van het gemiddelde scenario zullen de schorren bij St Annaland en Slaak in de toekomst veranderen doordat ze relatief lager komen te liggen, waardoor de vegetatie een teruggaande beweging zal vertonen (regressie). In hoeverre de vergroting van de overspoelingsfrequentie nog zal worden gecompenseerd, doordat bij meer overspoeling meer sediment op het schor wordt afgezet, is onduidelijk, gezien de verdergaande achteruitgang van de slikken.
- Aanbevolen wordt nader te onderzoeken in hoeverre er een relatie is tussen de erosie van de schorklif en de sedimentatie van het schor. In verband hiermee kan worden overwogen de ontwikkelingen in de sedimentatie op het schor van Slaak te blijven volgen.
- Aanbevolen wordt de effecten van de zeespiegelrijzing op de ontwikkeling van schorren in het Deltagebied nader te kwantificeren.
- Aanbevolen wordt in het algemeen de herkomst van het gesedimenteerde materiaal nader te onderzoeken. Hierbij kan voor een deel gebruik worden gemaakt van bestaande gegevens.
- Aanbevolen wordt na te gaan welke duurzame oplossingen er nog zijn voor het behoud van de schorren.
- Aanbevolen wordt de slik-schorprofielen iedere 3 jaar op te meten voor het kunnen blijven volgen van de ontwikkelingen.

Referenties

- Berchum, A.M. van & G. Wattel, 1997.
De Oosterschelde, van estuarium naar zeearm. Bekkenrapportage 1991-1996.
Rapport RIKZ-97.034.
- Bok, C. de, 2002.
Long-term morphology of the Eastern Scheldt.
Werkdocument RIKZ/2002.108x.
- Brinke, B.M. ten, 1991.
Quantifying mud exchange between the Eastern Scheldt tidal basin and the North Sea.
Proceedings Coastal Sediments, Seattle, ASCE, Washington, pp 760-774.
- Brinke, B.M. ten, J. Dronkers, 1993.
Physical and biotic aspects of fine sediment import in the Oosterschelde tidal basin (The Netherlands).
Netherlands Journal of Sea Research 31(1):19-36 (1993).
- Dilling, D, 2004.
Het wassende water.
Artikel in Zoutkrant Maart 2004, RIKZ.
- Geurts van Kessel, A.J.M., B.J. Kater & T.C. Prins.
Veranderende draagkracht van de Oosterschelde voor kokkels.
Rapportage van Thema's 2 en 3 uit het "Lange Termijn Onderzoeksprogramma Voedselreservering Oosterschelde" in het kader van de Tweede Evaluatie van het Nederlands Schelpdiervisserijbeleid, EVA II
Rapport RIKZ/2003.043, RIVO rapport C062/03, ISBN 90-369-3487-7.
- Hesselink, A.W. & D.C. van Maldegem, 2003.
Verandering van de morfologie van de Oosterschelde door aanleg van de Deltawerken.
RIKZ/OS/2003.810x.
- Jonge, V.N. de, 1992.
Physical processes and dynamics of microphytobenthos in the Ems estuary.
Proefschrift RUG, 1992.
- Jong, Z. de, 1993.
Schorren in de Oosterschelde, veranderingen van de morfologie, de bodem en de vegetatie, tijdens en na de aanleg van de stormvloedkering, analyses en prognoses.
Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, 1993.
- Jong, D.J.de, K.S. Dijkema, J.H. Bossinade & J.A.M. Janssen, 1998.
SALT97, classificatieprogramma voor kweldervegetaties
Rijkswaterstaat, RIKZ/DNN/MD, IBN-DLO.
- Jorissen, R.E., F.M. Stroeve,
Ontgrondingsprocessen bij de stormvloedkering Oosterschelde
Land en water nummer 7/1997
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2003.
Leidraad Zandige Kust.
DWW-2003-046, ISBN 90-369-5541-6, 2002.
- Kohsiek L.M.H., P. Bloks, P. Hoekstra, J. van Alphen, 1981,
Morfologische consequenties van de bouw van de stormvloedkering voor de opslibbing van de schorren in de Oosterschelde,
Nota DDWT 81.042, Nota DDMI 81.26, Rijkswaterstaat.

- Kohsiek, L.H.M., J.P.M. Mulder, T. Louters & F. Berben, 1987.
De Oosterschelde naar een nieuw onderwaterlandschap. Eindrapport GEOMOR.
Nota DGW.AO87.029. Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Middelburg.
- Kohsiek, L.H.M. & J.P.M. Mulder.
Een verkenning van een veranderend watersysteem: De Voordelta.
Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, nota GWAO-88.002.
- Maldegem, D.C. & H.J. Verhagen, 1984.
Berekening van golfhoogten langs de teen van de Oosterscheldedijken onder superstormcondities bij verschillende streefpeilen.
RWS, district Kust en Zee, Adviesdienst Vlissingen, notitie WWKZ-84.V253, januari 1984.
- Maldegem, D.C. van, 1998.
Literatuuronderzoek zandhonger Oosterschelde.
RIKZ werkdocument RIKZ/AB-98.827x.
- Maldegem, D.C. van, 2001.
Verkenning morfodynamische condities ter plaatse van munitiestortplaats Oosterschelde.
Werkdocument RIKZ/AB.2001.836x.
- NCK, 1997.
Slibbalans Noordzee tijdens stormomstandigheden
Workshop disciplinegroep slib, 13 November 1997.
- Oenema, O., 1988.
Early diagenesis in recent fine-grained sediments in the Eastern Scheldt.
Proefschrift 1988, RUU.
- Pluijm, A.M. van der & D.J. de Jong, 1998.
Historisch overzicht schorareaal in Zuid-West Nederland.
Werkdocument RIKZ/OS-98.860.
- Smaal, A.C. & R.C. Boeije, 1991.
Veilig getij; de effecten van de waterbouwkundige werken op het getijdemilieu van de Oosterschelde.
Nota GWWWS91.088/AX91.091; ISBN 90-73286-05-0.
- Schoot, P.M. en M.M. van Eerd, 1985.
Toekomstige ontwikkeling van de schorgebieden in de Oosterschelde, procesonderzoek schorsystemen.
RU Utrecht en RWS Deltadienst, nota nr. DDMI-85.23.
- Schrauwen, W.C.M., 1994.
Effect van het veranderend getij op de schorren in de Oosterschelde en de invloed van menselijk handelen op de schorren bij Waarde in de Westerschelde.
Afstudeerrapport onder begeleiding van RIKZ en Directie Zeeland, mei 1994
- Stapel, J & D.J. de Jong, 1998.
Sedimentatiemetingen op het schor bij Waarde en het Verdrongen Land van Saeftinge, Westerschelde (ZW Nederland).
Rapport RIKZ-98.022.
- Stein, M.A.M., 1984.
Schor-slikovergangen in de Oosterschelde, resultaten van een bodemkundige en morfologische kartering.
RU Utrecht, Deltadienst Milieu en Inrichting, nota DDMI-84.08.
- Temmerman, S., 2003.
Sedimentation on tidal marshes in the Scheldt estuary, a field and numerical modelling study.
Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van Doctor in de Wetenschappen
K.U. Leuven 2003.

Vos, P.C., 1986.

De sediment stabiliserende werking van benthische diatomeeën in het intergetijdegebied van de Oosterschelde.

RU Utrecht, Instituut voor Aardwetenschappen publ. nr.63 / RWS Dienst Getijdewateren, GEOMOR nota 86-03.

Vos, P.C., 2002

ISBD Kaartatlas van de holocene ontstaansgeschiedenis van de Zuidwest Nederlandse kustdelta: delta-2003, 5000 jaar terugblik.

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen (TNO-NITG), Utrecht. TNO rapport NITG 02-096-B.

Bijlage 1. Overzicht kaolienveldjes, ontwikkeling volgens lineaire regressie [mm/jr], hoogteligging en overspoelingen

Lokatie	Lokatiernr	Raai	MIDZ	Puntnr	Oeverwal	Kom	Overgang	Omschrijving lokatie	GSTDkaolien [mm]
St Annaland	91	2	115		9			Midden schor	5,9
St Annaland	91	2	116			4		Midden schor	9,8
St Annaland	91	2	117			2		Midden schor	5,8
St Annaland	91	2	118			3		Midden schor	5,9
St Annaland	91	2	119			3		Midden schor	5,9
St Annaland	91	3	120		3			Achterin westkreek 600 m terug	6,8
St Annaland	91	3	121			9		Achterin westkreek 600 m terug	6,6
St Annaland	91	3	122			2		Achterin westkreek 600 m terug	7,6
St Annaland	91	3	123			3		Achterin westkreek 600 m terug	6,4
St Annaland	91	3	124			4		Achterin westkreek 600 m terug	6,2
St Annaland	91	4	125		6			Halverwege westkreek 400 m terug	6,8
St Annaland	91	4	126			4		Halverwege westkreek 400 m terug	7,6
St Annaland	91	4	127			4		Halverwege westkreek 400 m terug	5,7
St Annaland	91	4	128			4		Halverwege westkreek 400 m terug	8,8
St Annaland	91	4	129			4		Halverwege westkreek 400 m terug	6,6
gemiddeld					6	4			6,8
standaardafw					3	2			

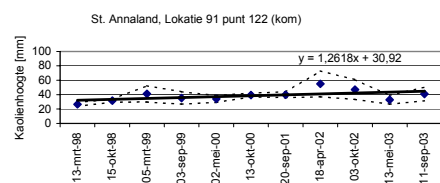
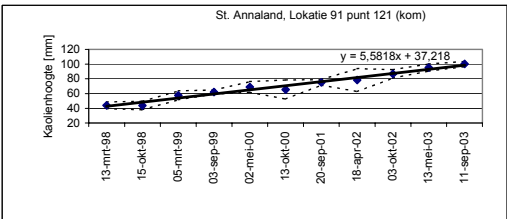
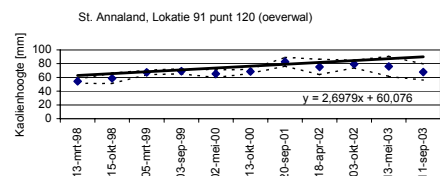
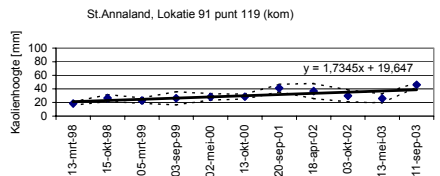
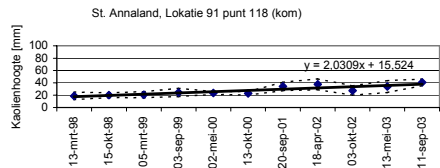
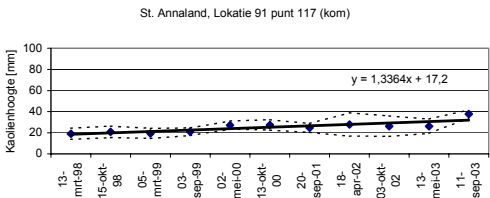
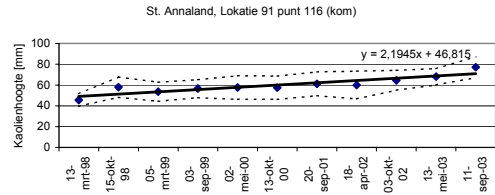
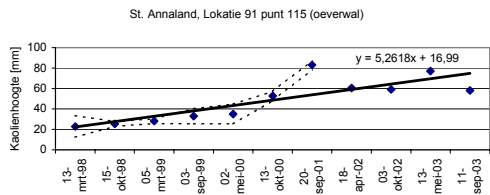
Lokatie	Lokatie nr	Raai	MIDZ	Punt nr	Oeverwal	Kom	Overgang	Omschrijving lokatie	GSTDkaolien [mm]
Rattekaai	92	b10	81		13			Achterin oostkreek 400 m terug	6,7
Rattekaai	92	b10	82			8		Achterin oostkreek 400 m terug	7,9
Rattekaai	92	b10	83			5		Achterin oostkreek 400 m terug	4,8
Rattekaai	92	b10	84			5		Achterin oostkreek 400 m terug	4,5
Rattekaai	92	b10	85			5		Achterin oostkreek 400 m terug	4,1
Rattekaai	92	b10	86			4		Achterin oostkreek 400 m terug	3,5
Rattekaai	92	b4	87		18			Monding westkreek	6,4
Rattekaai	92	b4	88			11		Monding westkreek	6,5
Rattekaai	92	b4	89			10		Monding westkreek	5,6
Rattekaai	92	b4	90			12		Monding westkreek	5,9
Rattekaai	92	b5	91		4			Halverwege westkreek 400 m terug	5,7
Rattekaai	92	b5	92			4		Halverwege westkreek 400 m terug	5,0
Rattekaai	92	b5	93			4		Halverwege westkreek 400 m terug	4,9
Rattekaai	92	b5	94			4		Halverwege westkreek 400 m terug	8,3
Rattekaai	92	b5	95			5		Halverwege westkreek 400 m terug	6,1
Rattekaai	92	b5	96			5		Halverwege westkreek 400 m terug	6,4
Rattekaai	92	b6	97		10			Achterin westkreek 600 m terug	12,8
Rattekaai	92	b6	98			3		Achterin westkreek 600 m terug	6,6
Rattekaai	92	b6	99			3		Achterin westkreek 600 m terug	6,8
Rattekaai	92	b6	100			5		Achterin westkreek 600 m terug	6,3
Rattekaai	92	b6	101			8		Achterin westkreek 600 m terug	5,8
Rattekaai	92	b6	102			3		Achterin westkreek 600 m terug	5,5
Rattekaai	92	b8	103		6			Monding westkreek 100 m terug	9,2
Rattekaai	92	b8	104			1		Monding westkreek 100 m terug	6,7
Rattekaai	92	b8	105			6		Monding westkreek 100 m terug	4,7
Rattekaai	92	b8	106			5		Monding westkreek 100 m terug	8,5
Rattekaai	92	b8	107			10		Monding westkreek 100 m terug	7,9
Rattekaai	92	b8	108			16		Monding westkreek 100 m terug	5,1
Rattekaai	92	b9	109		11			Halverwege oostkreek 300 m terug	5,5
Rattekaai	92	b9	110			7		Halverwege oostkreek 300 m terug	5,9
Rattekaai	92	b9	111			9		Halverwege oostkreek 300 m terug	4,0
Rattekaai	92	b9	112			5		Halverwege oostkreek 300 m terug	4,8
Rattekaai	92	b9	113			6		Halverwege oostkreek 300 m terug	4,4
Rattekaai	92	b9	114			5		Halverwege oostkreek 300 m terug	3,7
gemiddeld					10	6			6,1
standaardafw					5	3			

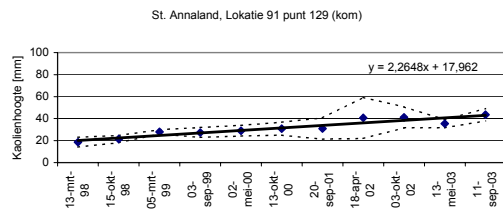
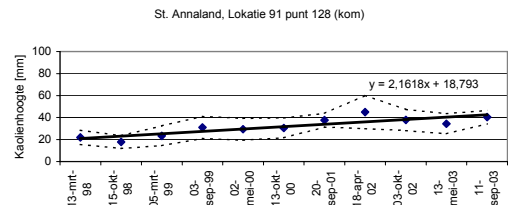
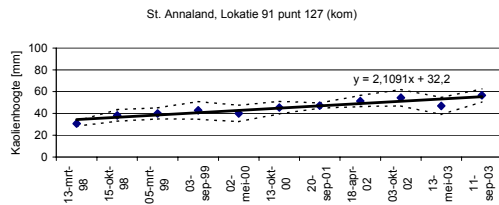
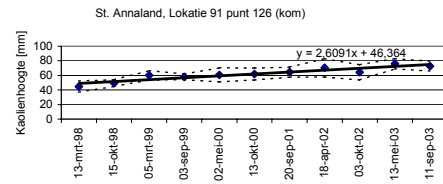
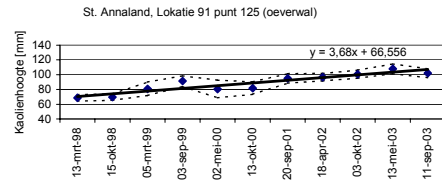
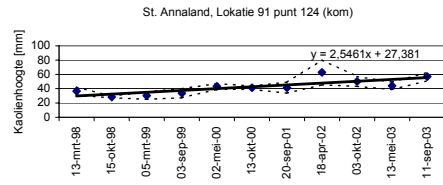
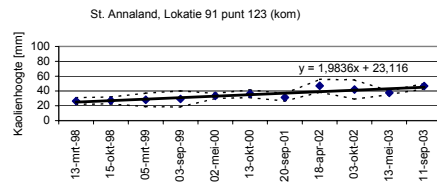
Lokatie	Lokatie nr	Raai	MIDZ	Punt nr	Oeverwal	Kom	Overgang	Omschrijving lokatie	GSTDkaolien [mm]
Slaak	93	a	182		7			Halverwege westkreek	10,1
Slaak	93	a	183				5	Halverwege westkreek	4,7
Slaak	93	a	184			3		Halverwege westkreek	5,6
Slaak	93	a	185			6		Halverwege westkreek	4,1
Slaak	93	b	186					Halverwege middenkreek tot 7 sept. 89	

Bijlage 2, bestaande uit 6 bladen

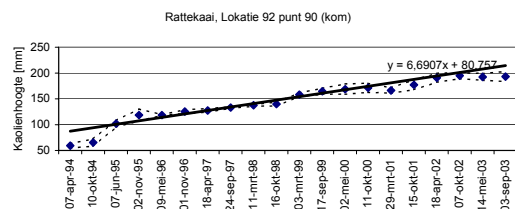
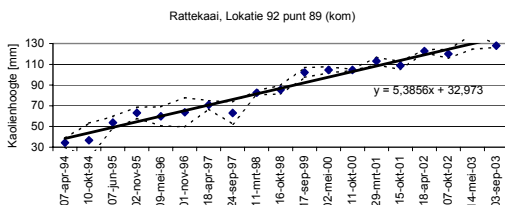
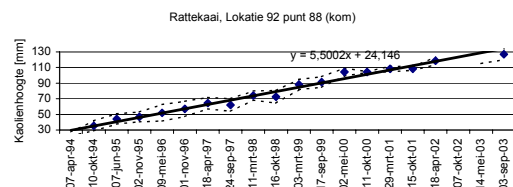
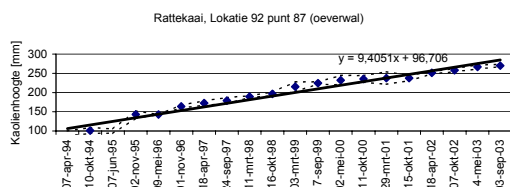
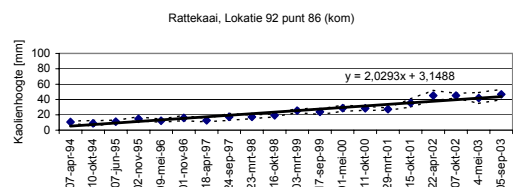
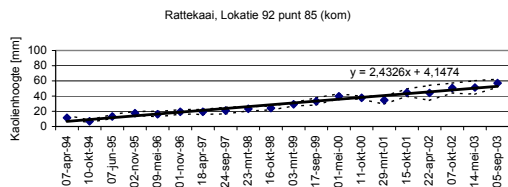
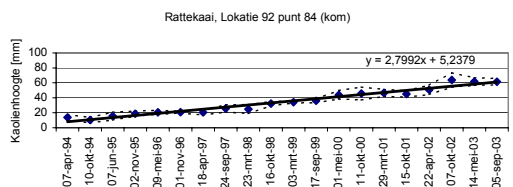
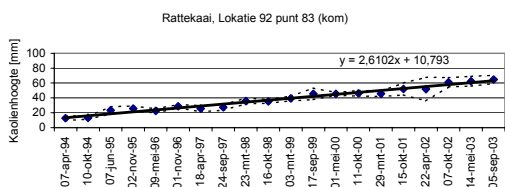
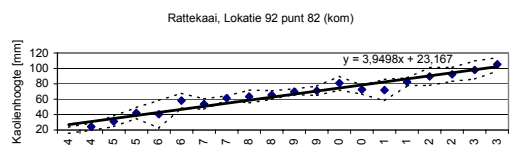
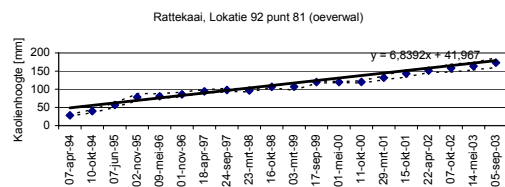
**Lineaire regressie ontwikkeling
kaolienveldjes van
St Annaland, Rattekaai en Slaak**

Sint Annaland



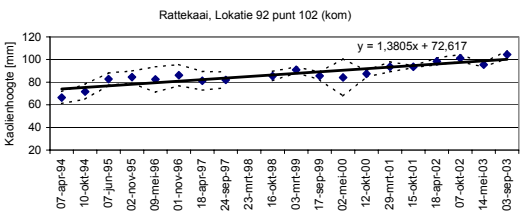
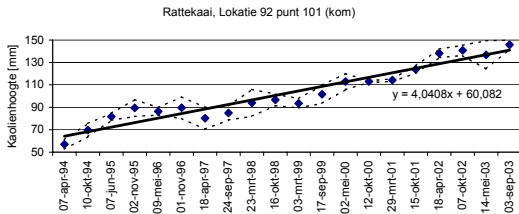
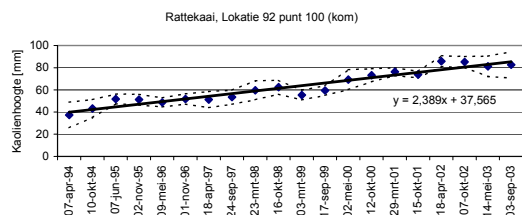
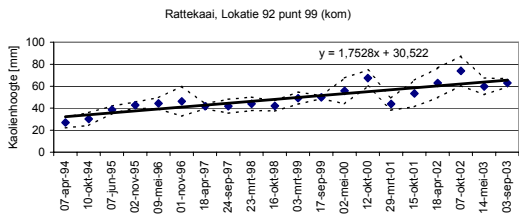
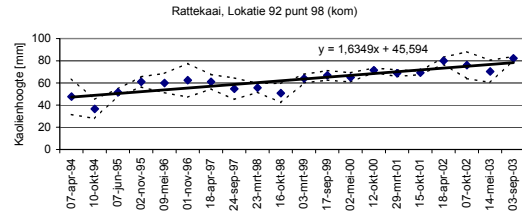
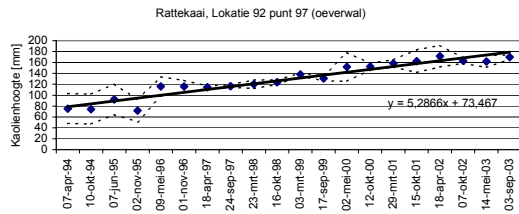
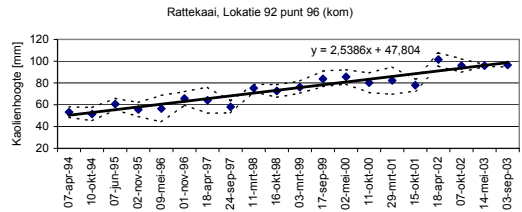
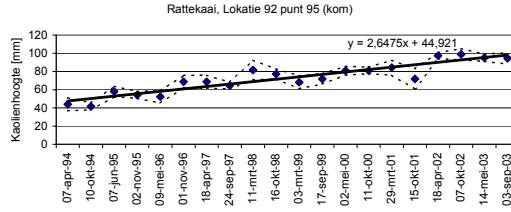
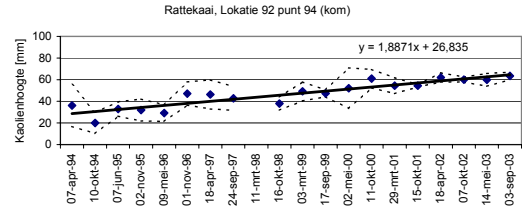
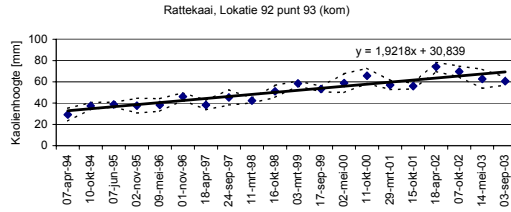


Rattekaai

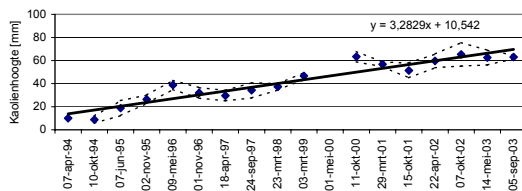


Rattekaai, Lokatie 92 punt 91 (oeverwal)

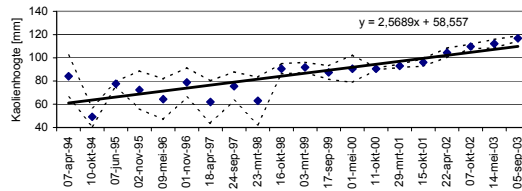
Rattekaai, Lokatie 92 punt 92 (kom)



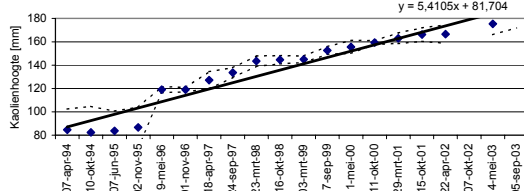
Rattekaai, Lokatie 92 punt 105 (kom)



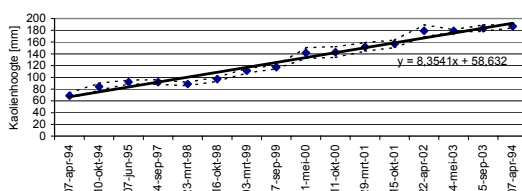
Rattekaai, Lokatie 92 punt 106 (kom)



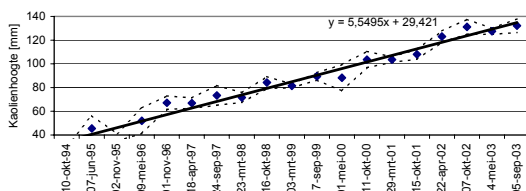
Rattekaai, Lokatie 92 punt 107 (kom)



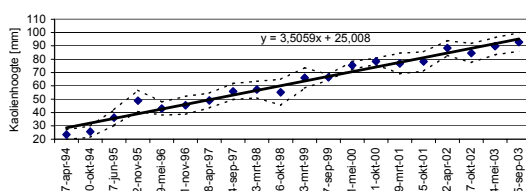
Rattekaai, Lokatie 92 punt 108 (kom)



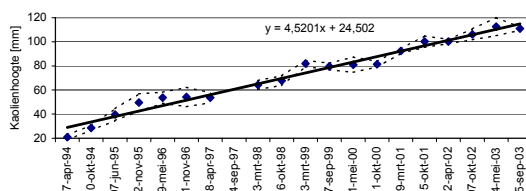
Rattekaai, Lokatie 92 punt 109 (oeverwal)



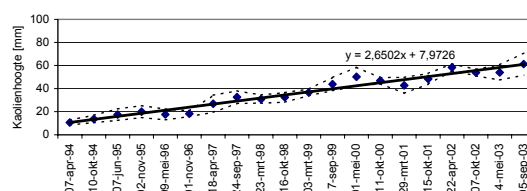
Rattekaai, Lokatie 92 punt 110 (kom)



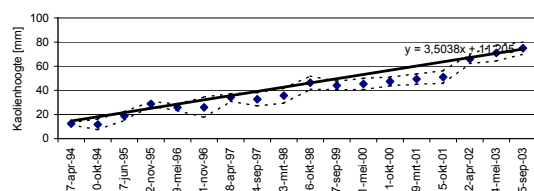
Rattekaai, Lokatie 92 punt 111 (kom)



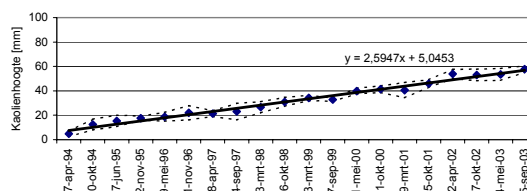
Rattekaai, Lokatie 92 punt 112 (kom)



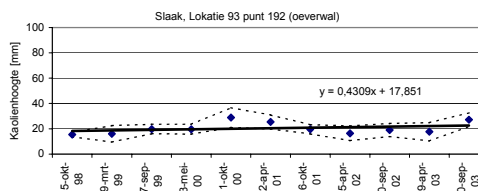
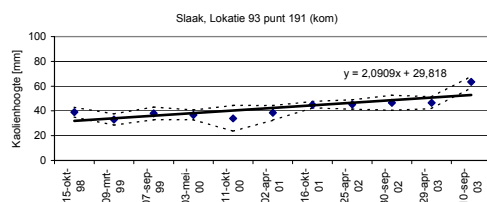
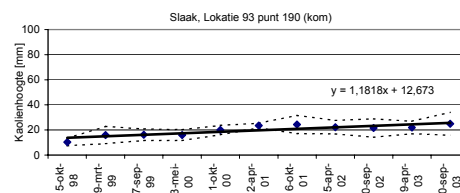
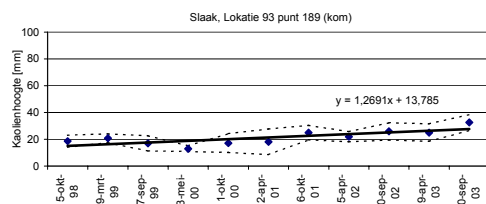
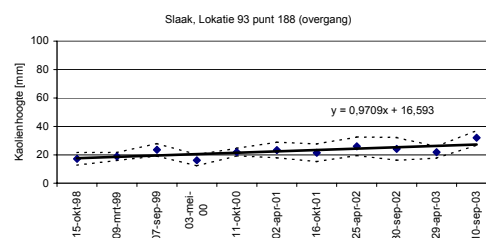
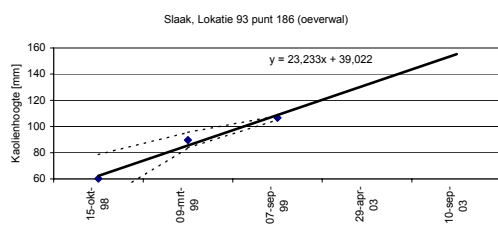
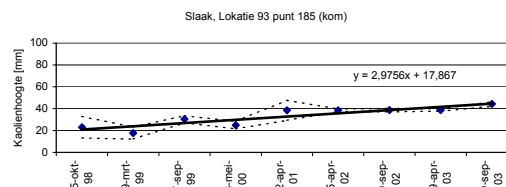
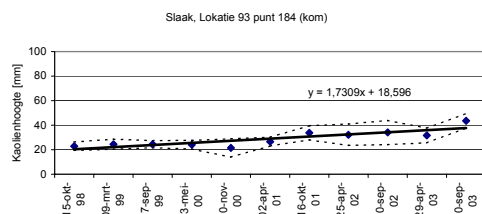
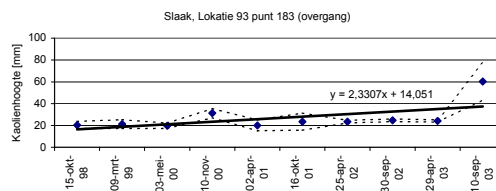
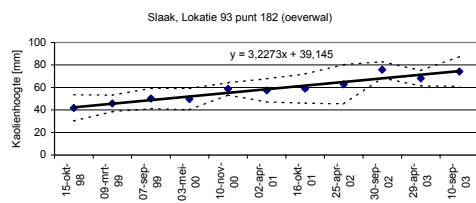
Rattekaai, Lokatie 92 punt 113 (kom)



Rattekaai, Lokatie 92 punt 114 (kom)



Slaak



Slaak, Lokatie 93 punt 193 (overgang)

Slaak, Lokatie 93 punt 194 (kom)

Bijlage 3. Resultaten analyse bodemonsters

Lokatie	Punt nr	Labanalyse [% > 63mu in bodemlaag beneden MV]				Labanalyse [D50, mits 20% > 63mu in bod]			
		0-2,5 cm	2,5-5 cm	5-15 cm	15-20 cm	0-2,5 cm	2,5-5 cm	5-15 cm	
St Annaland	115	79,9	78,9	59,8	79,8	128	131	109	
St Annaland	116	60,4	61,8	81,1	17,3	120	109	128	
St Annaland	117								
St Annaland	118	1,4	4,7	5,3	12				
St Annaland	119	2,9	2,7	6,9	14,8				
St Annaland	120	76,4	81,2	70,6	68,9	119	114	114	
St Annaland	121	65	68	62,7	62	112	113	111	
St Annaland	122	18,2	43,5	41,5	31,2	100	103	112	
St Annaland	123	16,3	30,4	42,1		98	100		
St Annaland	124	18,2	48,8	13,2	49,2	105			
St Annaland	125	73,6	76,1	75,6	75,7	116	116	116	
St Annaland	126	64,8	68,6	69,7	43,2	107	110	110	
St Annaland	127	51,7	17,2	63,9	39,9	104		105	
St Annaland	128	19	32,1	31,9	41,6	100	101	106	
St Annaland	129	28,8	27	25,6	32	99	98	102	
gemiddeld		41	46	46	44	109	110	111	
standaardafw									

Lokatie	Punt nr	Labanalyse [% > 63mu in bodemlaag beneden MV]				Labanalyse [D50, mits 20% > 63mu in bod]			
		0-2,5 cm	2,5-5 cm	5-15 cm	15-20 cm	0-2,5 cm	2,5-5 cm	5-15 cm	
Rattekaai	81	42,5	38,4	70,6	38,8	99	97		
Rattekaai	82	17,4	24,9	37,2	25,2		88	97	
Rattekaai	83	0,6	1,4	4,6	2				
Rattekaai	84	1,6	1,3	3	2,6				
Rattekaai	85	0,5	1,1	7,6	3,7				
Rattekaai	86	0,9	0,9	5,7	8,7				
Rattekaai	87	42,4	43,1	60	54	102	102	102	
Rattekaai	88	6,5	41,3	20,3	27,3	93	88		
Rattekaai	89	3,5	38,3	12	33,3		94		
Rattekaai	90	9,1	40,9	18,1	55		94		
Rattekaai	91	38,1	48,8	57,5	73,7	98	115	105	
Rattekaai	92	25,3	34,3	63,3	47,8	92	113	110	
Rattekaai	93	4,4	13,3	21	15,8			97	
Rattekaai	94	1,5	1,5	2,4	4,1				
Rattekaai	95	1,5	4,5	2,5	5,9				
Rattekaai	96	31,4	29,8	21,3	29,7	100	97	98	
Rattekaai	97	35,6	62,7	51	63,6				
Rattekaai	98	38,2	43	50,2	48,6	100	100	107	
Rattekaai	99	0,9	16,2	26,4	13			97	
Rattekaai	100	2,4	5,3	4,5	8				
Rattekaai	101	1,8	7,8	2,6	3,3				
Rattekaai	102	7,5	13,4	10,6	13,9				
Rattekaai	103	10,9	23,9	29,4	48,1		93	92	
Rattekaai	104	17,3	28,6	29,2	31,8	88	89	85	
Rattekaai	105	21,9	19,2	25,8	22,3	92	85	91	
Rattekaai	106	14,2	43,1	11,8	28		95		
Rattekaai	107	12,6	23,7	22,7	21,7		84	84	
Rattekaai	108	10,6	16,8	12,1	33,3				
Rattekaai	109	57,2	41,4	45	50,7	113	98	98	
Rattekaai	110	10	7,4	19,7	42,8			101	
Rattekaai	111	5,3	6	4,8	10,4				
Rattekaai	112	2,8	5,2	2,7	5,9				
Rattekaai	113	0,9	1,9	1,5	7,2				
Rattekaai	114	4,9	1	1,9	3,6				
gemiddeld		14	21	22	26				
standaardafw									

Lokatie	Punt nr	Labanalyse [% > 63mu in bodemlaag beneden MV]				Labanalyse [D50, mits 20% > 63mu in bod]			
		0-2,5 cm	2,5-5 cm	5-15 cm	15-20 cm	0-2,5 cm	2,5-5 cm	5-15 cm	
Slaak	182	30,2	27,9	33	8,3	101	99	98	
Slaak	183	4,4	10,3	27,3	4				
Slaak	184	6,5	15,3	15,2	5,6				
Slaak	185	8,5	16,6	20	7,8		93	93	
Slaak	186								

Bijlage 4. Resultaten inventarisatie vegetatie

Lokatie	Raai	MIDZ	Punt nr	Vegetatietype "SALT-code"	Geschat percentage vegetatie september 2003 [%]										Strandkwe	Strandmel	Zeealsem	Zeeaster	Zeekraal	Zeeweegb
					Eslijkg	Gschijnspt	Kweldergr	Lamsoor	Rzwenkgr	Schorrekr	Schorrezoutgr									
St Annaland	2		115	Xy5											100		5			
St Annaland	2		116	Jf					90	2							5	5		
St Annaland	2		117	Ph5				10	10	5								10		
St Annaland	2		118	Ph5		5	5	15	20	2								2		
St Annaland	2		119	Jf	5	5	20	5	80	5										
St Annaland	3		120	Xy5											100		5			
St Annaland	3		121	Jf					90	2							5	5		
St Annaland	3		122	Ph5				10	10	5								10		
St Annaland	3		123	Ph5			5	15	20	2								2		
St Annaland	3		124	Jf	5	5	20	5	80	5										
St Annaland	4		125	Xy5			10	20	20					50	2	10				
St Annaland	4		126	Ph5			5	10		5								2		
St Annaland	4		127	Jfz			5		2	30	2					40		5		
St Annaland	4		128	P			10	30	2	30	5							20		
St Annaland	4		129	Qu				20	10	60								10		5
gemiddeld																				
standaardafw																				

Lokatie	Raai	MIDZ	Punt nr	SALT-type	Geschat percentage vegetatie september 2003 [%]										Strandkwe	Strandmel	Zeealsem	Zeeaster	Zeekraal	Zeeweegb
					Eslijkg	Gschijnspt	Kweldergr	Lamsoor	Rzwenkgr	Schorrekr	Schorrezoutgr	Spiesmeld								
Rattekaai	b10		81	Xy5				5		15				75				5		
Rattekaai	b10		82	Ph5			1	5		1				25						
Rattekaai	b10		83	Ss5		75		10	3	1										
Rattekaai	b10		84	Pps		50	1	50	5	10								1		
Rattekaai	b10		85	Ss5		75		10	15											
Rattekaai	b10		86	Pps		50		25	30	2										
Rattekaai	b4		87	Xy5								1	100					1		
Rattekaai	b4		88	Pp				60		30								10		
Rattekaai	b4		89	Ph5		50				10										
Rattekaai	b4		90	Ss5		70														
Rattekaai	b5		91	Xy5								1	100							
Rattekaai	b5		92	Xy5								1	100							
Rattekaai	b5		93	Pl3		30		50		2										
Rattekaai	b5		94	Ss5		80		20		1										
Rattekaai	b5		95	Ss5		50														
Rattekaai	b5		96	Xy5								2	100							
Rattekaai	b6		97	Xy5					1			1	100							
Rattekaai	b6		98	Xy5								1	100							
Rattekaai	b6		99	Pl3				5	95									5		
Rattekaai	b6		100	Pl3		10		45	45			2								
Rattekaai	b6		101	Pps		40		40	10			10								
Rattekaai	b6		102	Xy5				10		15				70						
Rattekaai	b8		103	Ss5		80														
Rattekaai	b8		104	Ss5		100														
Rattekaai	b8		105	Ss5		100														
Rattekaai	b8		106	Ss5		100														
Rattekaai	b8		107	Ss5		100														
Rattekaai	b8		108	Ss5		80														
Rattekaai	b9		109	Xy5					15	15				70						
Rattekaai	b9		110	Pp		10		50	5	40								5		
Rattekaai	b9		111	Ss5		80				10										
Rattekaai	b9		112	Ss5		60		30	5	10								3		
Rattekaai	b9		113	Ss5		100			5									3		
Rattekaai	b9		114	Ss5		80		5	10	10								5		
gemiddeld																				
standaardafw																				

Lokatie	Raai	MIDZ	Punt nr	SALT-type	Geschat percentage vegetatie september 2003 [%]										Strandkwe	Strandmel	Zeealsem	Zeeaster	Zeekraal	Zeeweegb
					Eslijkg	Gschijnspt	Kweldergr	Lamsoor	Rzwenkgr	Schorrekr	Schorrezoutgr									
Slaak	a		182	Ph5		10		20	30									10		
Slaak	a		183	Ss5		98												5		
Slaak	a		184	Pl3		10		20	40		20							10	2	20
Slaak	a		185	Ss5		100														
Slaak	b		186																	