



Prognose van Schor- en slikontwikkelingen in de Oosterschelde

Een analyse naar de te verwachten ontwikkelingen tot 2060

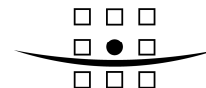
Rijkswaterstaat RIKZ

8 november 2006

Definitief rapport

9R9125.A0

A COMPANY OF



ROYAL HASKONING

**HASKONING NEDERLAND B.V.
KUST & RIVIEREN**

Hoofdweg 490
Postbus 8520
3009 AM Rotterdam
(010) 286 54 32 Telefoon
(010) 220 00 25 Fax
info@rotterdam.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoning.com Internet
Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel Prognose van Schor- en slikontwikkelingen in
de Oosterschelde
Een analyse naar de te verwachten
ontwikkelingen tot 2060
Verkorte documenttitel Schor- en slikprognose Oosterschelde
Status Definitief rapport
Datum 8 november 2006
Projectnaam Schor- en slikprognose Oosterschelde
Projectnummer 9R9125.A0
Auteur(s) Sjaak Jacobse, Olaf Scholl, Johan van de
Koppel (NIOO)
Opdrachtgever Rijkswaterstaat RIKZ
Referentie 9R9125.A0/R0003/SJAC/SEP/Rott1

Collegiale toets G.J. Akkerman
Datum/paraaf 8 november 2006 
Vrijgegeven door J.J. Jacobse
Datum/paraaf 8 november 2006 

SAMENVATTING

Op basis van de beschikbare profielmetingen uit de database van de Meetinformatie dienst van Rijkswaterstaat Zeeland is geanalyseerd hoe de schorren en slikken zich ontwikkelen in de Oosterschelde. De schorren laten na de aanleg van de Oosterscheldekering overal een sterke teruggang van de schorrand zien. Ook de slikken nemen in hoogte af.

Als gevolg van het afsluiten van de Oosterscheldekering en het verkleinen van de komberging door de bouw van compartimenteringdammen zijn de getijdensnelheden in de Oosterschelde sterk afgenomen. Hierdoor vindt er geen netto opbouw van slikken meer plaats terwijl de golfwerking gelijk gebleven is of zelfs is toegenomen. De slikken nemen hierdoor per saldo af in hoogte, waardoor de aanwas van jonge schorren op hoge slikdelen minder goed mogelijk wordt. Ook is de aanvoer van sediment naar hogere slik- en schordelen sterk afgenomen omdat vrijwel al het sediment terecht komt bij de geulwanden.

De geconstateerde ontwikkeling zet zich de komende tijd naar verwachting onverminderd voort. Analyse van de beschikbare profielmetingen laat geen vertraging van de ontwikkelingsnelheden zien. Anderzijds geeft de raai-analyse ook geen reden om een versnelling van de ontwikkelingen te verwachten.

Op basis van de profielanalyse mag verwacht worden dat de schorren bij Kats, de Zandkreek en de Dortsman vrijwel geheel verdwenen zijn in 2060. De overige kleine schorren zijn gemiddeld 40 tot 60% in oppervlak afgenomen. Alleen de grote schorren bij de Rattekaai, het Rumoitschor en de Krabbenkreek zullen zich grotendeels handhaven. Deze grote schorren nemen tot 2060 ca. 10 tot 20% in oppervlak af. Prognose van de ontwikkeling van de slikhoogte, op basis van lineaire trendanalyse van de profielmetingen, indiceert dat de meeste slikken zullen afnemen in hoogte met 0,5 tot 1,5 meter in de periode tot 2060. De ruimtelijke analyse blijkt dit beeld te bevestigen, en duidt op nog sterkere afnamen van de slikhoogte.

De afname in hoogteligging van de slikken zal stabiliseren zodra deze rond gemiddeld laag water komen te liggen. De belastingduur neemt dan significant af. Verwacht wordt dat een groot deel van de slikken in 2060 dit eindstadium bereikt zal hebben en een hoogte zal hebben van NAP-2,5 meter tot NAP-3,0 meter.

Voor de randvoorwaarden die het Projectbureau Zeeweringen hanteert, wordt een correctie toegepast voor de bodemhoogte. De ruimtelijke analyse geeft aan dat de mogelijke bodemverlaging groter is dan tot dusverre is aangenomen.

Uit de voorliggende studie blijkt dat de profielmetingen maar deels geschikt zijn voor voorspellingen van de hoogteligging van slikken en schorren. Aanbevolen wordt om een betrouwbare methode te ontwikkelen voor prognoses op basis van ruimtelijke opnamen. Hiervoor is meer meetinformatie van essentieel belang. De voor 2007 geplande nieuwe ruimtelijke opname van de hoge delen in de Oosterschelde met behulp van laseraltimetrie kan belangrijke aanvullende informatie opleveren om de prognoses uit dit rapport verder te onderbouwen en de bandbreedte voor onzekerheid te verkleinen.

INHOUDSOPGAVE

	Blz.
1	1
1	1
1.1	1
1.2	3
1.3	3
1.4	3
2	4
2.1	4
2.2	4
2.3	5
3	7
3.1	7
3.2	8
3.3	8
3.3.1	8
3.3.2	8
3.3.3	10
3.3.4	10
3.3.5	10
3.4	11
3.5	13
3.5.1	13
3.5.2	14
3.5.3	16
4	18
4.1	18
4.2	19
4.3	19
4.4	21
4.4.1	21
4.4.2	22
4.4.3	24
4.5	26
4.5.1	26
4.5.2	26
4.5.3	27
4.5.4	28
4.6	30

5	PROGNOSE ONTWIKKELINGEN SLIKKEN EN SCHORREN	32
5.1	Van ontwikkelingsnelheid naar prognoses	32
5.2	Lineaire prognose	33
5.2.1	<i>Positie schorrand</i>	33
5.2.2	<i>Hoogteligging schor</i>	34
5.2.3	<i>Hoogteligging slik op basis van profielmetingen</i>	35
5.2.4	<i>Hoogteligging slik op basis van ruimtelijke analyses</i>	35
5.3	Bovengrens prognose	36
5.3.1	<i>Lineaire of meer dan lineaire belastingtoename?</i>	36
5.3.2	<i>Kwantitatieve analyse belasting toename</i>	37
5.3.3	<i>Verklaring belastingtoename</i>	40
5.3.4	<i>Conclusies ten aanzien van bovengrensprognose schor- en slikontwikkelingen</i>	42
6	SCHOR- EN SLIK PROGNOSES VERSUS ONTWERPUITGANGSPUNTEN	43
6.1	Ontwerpuitgangspunt afname hoogteligging	43
6.2	Vergelijking ontwerpuitgangspunten met prognoses	44
6.3	Evaluatie uitgangspunten	44
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	46
7.1	Wat zijn de uitkomsten van deze studie?	46
7.2	Aanbevelingen voor het gebruik van de resultaten van deze studie	47

BIJLAGEN

1. Overzicht beschikbare data slikken en schorren
2. Lineaire trendanalyse
3. Ontwikkelingssnelheden per profielmeting
4. 2D analyse afname slikhoogte
5. Prognose op basis van lineaire regressie
6. Prognose op basis van lineaire voorspelling
7. Kaartjes voorspelling 2060
8. Prognose absolute toename golfhoogte bij sterk afgeschermd gebied
9. Relatieve golfhoogte (Hs/d) bij prognosebodems tot 2060

1 ACHTERGROND VAN HET PROJECT

1.1 Algemeen

Het Projectbureau Zeeweringen is in het voorjaar van 2006 begonnen met de versterking van de eerste dijken aan de Oosterschelde. De dijkbekleding van deze dijken was te zwak om een (uitzonderlijk) zware storm goed te kunnen weerstaan. De nieuwe dijken worden aangelegd met als uitgangspunt om de veiligheid voor wat betreft de sterkte van de dijkbekleding tot minimaal 2060 te garanderen. Dit betekent dus dat er rekening gehouden wordt met veranderingen die op kunnen treden in de Oosterschelde. Een belangrijke schakel hierin is de hoogte van de voorlanden. Deze bepaalt immers voor een belangrijk gedeelte de belasting op de dijk en de stabiliteit van de dijk.

Dit rapport is het eindresultaat van de studie "prognose van schor- en slikontwikkelingen in de Oosterschelde" waarin een voorspelling gemaakt is van de positie en hoogteligging van deze voorlanden. Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee was opdrachtgever voor deze studie (D. Hordijk) met D.C. van Maldegem als projectbegeleider. Het project is uitgevoerd door Royal Haskoning (J.J. Jacobse en O. Scholl) met inbreng van het NIOO (J. van de Koppel).

1.2 Projectbureau Zeeweringen en hoge voorlanden

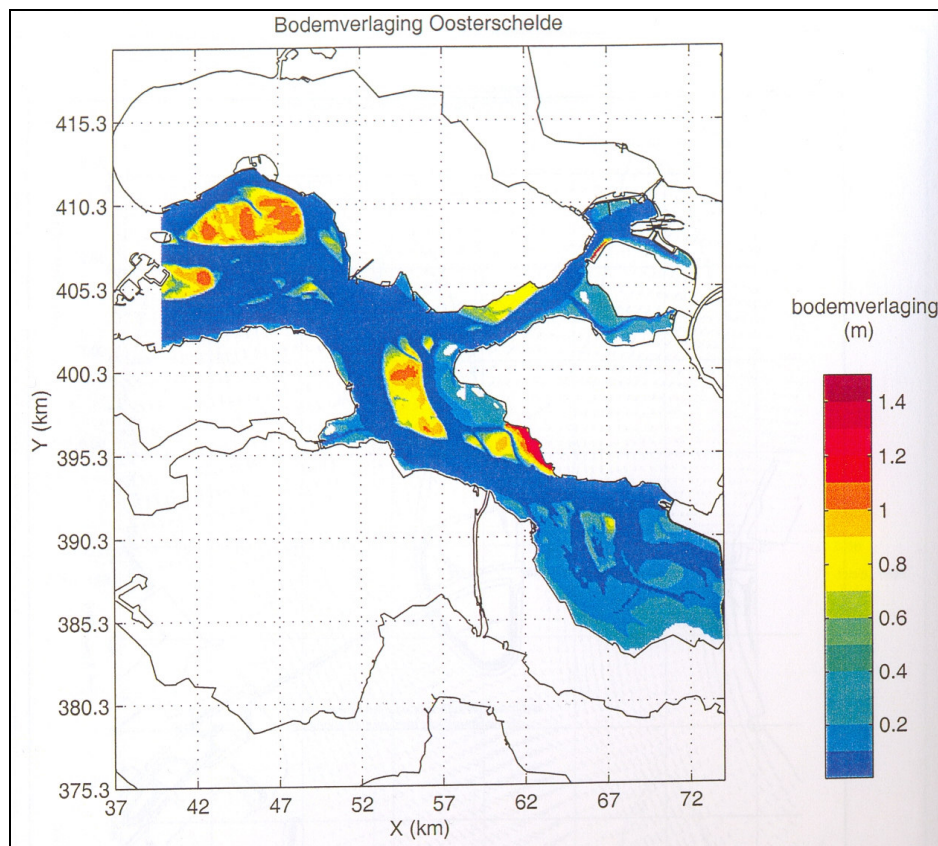
Rijkswaterstaat is in 1996 in samenwerking met Waterschap Zeeuwse Eilanden en Waterschap Zeeuws Vlaanderen begonnen aan de versterking van de bekleding van in totaal ruim 300 kilometer dijken aan de Westerschelde en Oosterschelde. Voor de Oosterschelde moet er in totaal tot 2015 nog zo'n 175 kilometer aan dijkbekleding vervangen worden. De nieuwe dijkbekleding wordt ontworpen op basis van golfbelastingen die door het RIKZ in 2001 berekend zijn [RIKZ\2001.008]. In deze berekeningen is reeds rekening gehouden met een structurele verlaging van alle hoge platen, schorren en slikken in de Oosterschelde.

De belasting op een dijkbekleding is afhankelijk van de golfbelasting en de waterstand. De golfbelasting op een dijk wordt in grote mate bepaald door de windsnelheid, strijklengte en bodemligging. Vooral de bodemligging van de ondiepe vooroever is bepalend voor de belasting op de dijk. Ook uitvoeringstechnisch is deze voorlandhoogte erg belangrijk: als verwacht wordt dat de voorlandhoogte binnen de levensduur van het ontwerp van de dijkbekleding veranderd, zullen beschermende maatregelen getroffen moeten worden om de stabiliteit op langere termijn te kunnen garanderen. Hiermee wordt voorkomen dat de dijkbekleding gedurende de beoogde levensduur instabiel wordt en af zal gaan afschuiven.

Bij de berekeningen van de ontwerpwaarden voor golfcondities heeft het RIKZ rekening gehouden met de verwachte morfologische ontwikkeling van de Oosterschelde. De Oosterschelde verandert langzamerhand van een estuarium met hoge platen en diepe geulen naar een zeearm met aanmerkelijk minder reliëf. Zonder ingrijpen zullen op termijn de karakteristieke hoge platen verdwijnen [o.a. Royal Haskoning, 2005]. Dit is een direct gevolg van de aanleg van de Deltawerken. Het morfologisch systeem is bezig om zich aan te passen aan het gewijzigde getij. Hierdoor zullen de geulen zich opvullen met het beschikbare sediment wat in suspensie komt op platen, slikken en schorren.

Om hiermee rekening te houden is voor de Oosterschelde in het golfmodel SWAN gerekend met een lokaal verlaagde bodem. De bodemhoogte is hierbij lokaal aangepast op basis van de destijds verwachte morfologische ontwikkelingen tot 2060 (*expert opinion*).

Zo zijn de hoge platen Neeltje Jans, Roggenplaat, Galgepaat en de Vuilbaard met 1 meter verlaagd (ten opzichte van de bodem van 1996). Voor de schorren en slikken is rekening gehouden met een voorlandverlaging van 25 tot 50 centimeter, met uitzondering van de slikken van Viane (1 meter verlaagd) en de zuidelijke slikken van de Dortsman (1 meter verlaagd). Figuur 1-1. is afkomstig uit [RIKZ, 2001] en illustreert de toegepaste bodemverlagingen.



Figuur 1-1: Door RIKZ toegepaste bodemverlaging Oosterschelde

Inmiddels heeft de kennisontwikkeling niet stil gestaan. Op basis van de uitgebreide dataset aan raaimetingen en de beperkt beschikbare ruimtelijke opnamen is nu meer bekend over de morfologische gevolgen van de Deltawerken, en kunnen eerder gedane aannamen geverifieerd worden. Daarom heeft het RIKZ gevraagd om op basis van de huidige inzichten een nieuwe prognose te maken van de morfologische ontwikkeling van schorren en slikken in de Oosterschelde over de periode tot 2060. In deze studie wordt de vraag beantwoord of recente metingen nieuw licht werpen op de tot dusverre veronderstelde bodemverlaging.

1.3 Doelstelling en afbakening

Het in kaart brengen van de te verwachten morfologische ontwikkelingen van de schorren en slikken in de Oosterschelde voor de periode van 2010 tot 2060 is het doel van dit project. Deze morfologische ontwikkelingen worden beschreven in termen van de verandering in hoogte van schorren en slikken en de positie van de schorrand (het schorklif). Een neven doel van deze studie is het beantwoorden van de vraag hoe de gemeten ontwikkelingen zich verhouden tot de aannamen die gedaan zijn in het ontwerpproces van Projectbureau Zeeweringen.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de aanpak van het project weergegeven. Daarna wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op het conceptuele model van afbraak en opbouw van slikken en schorren. Dit conceptuele model is de basis voor de voorspellingen die volgen in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 wordt de voorspelling van de schorrandpositie en de voorlandhoogte met GIS vertaald naar een ruimtelijk beeld. De evaluatie van de ontwerpuitgangspunten in het licht van deze studie wordt weergegeven in hoofdstuk 6. Als laatste worden in hoofdstuk 7 de resultaten van deze studie samengevat, en worden aanbevelingen gegeven voor het gebruik hiervan.

2 PROJECTAANPAK

2.1 Visie

Het doel van dit project is het maken van een voorspelling van de ligging en toestand van de schorren en slikken van de Oosterschelde in 2060. Met het huidige kennisniveau hebben we de grootschalige processen die optreden in de Oosterschelde redelijk “in de vingers”. Dit (globale) begrip is echter onvoldoende om procesgebaseerde betrouwbare lange termijn voorspellingen te maken op kleine tijd en ruimteschalen. Het kennisniveau schiet vooralsnog tekort om processen op (eco)hydromorfologisch gebied op het grensvlak van geulen, platen, slikken en schorren te kunnen modelleren in een wiskundig model.

Om ondanks deze beperkingen toch een uitspraak te kunnen doen over de hoogteligging van slikken en de positie van schorren tot 2060, wordt zo veel mogelijk uitgegaan van feitelijke informatie. Deze is beschikbaar in de vorm van profielmetingen en tweedimensionale bodemopnamen. Om voorspellingen te kunnen doen is het belangrijk om eerst inzichtelijk te maken welke processen de dynamiek van schorren en slikken het meest beïnvloeden. Daarom wordt eerst een conceptueel model voor schoropbouw en afbraak opgesteld wat vervolgens uitgewerkt wordt tot een prognosemodel. Met behulp van dit prognosemodel kunnen op basis van de beschikbare metingen voorspellingen gemaakt worden.

Voor het Projectbureau Zeeweringen zijn vooral die locaties van belang waar naar verwachting de prognose af zal wijken van de in de modelberekeningen toegepaste bodemverlaging. Bij de locaties waarbij de golfhoogte sterk bepaald wordt door de diepte zal de golfhoogte toenemen bij een afnemende slikhoogte. Voor de schorpositie geldt dat met name die locaties relevant zijn waarbij de kans bestaat dat de schorrand de dijk bereikt binnen de levensduur van het ontwerp.

2.2 Aanpak

Om te komen tot een duidelijk advies, waarin rekening gehouden wordt met de geschetste randvoorwaarden en belangen, hebben wij een doelgerichte aanpak gevolgd waarin optimaal gebruik gemaakt wordt van de beschikbare kennis en ervaring.

1. De basis voor de voorspelling is het begrijpen van het huidige systeem. Daarom is eerst een conceptueel denkmodel voor schor- en slik ontwikkelingen bedacht. In dit model wordt beschreven welke invloedsfactoren de schorontwikkeling het meest beïnvloeden, en hoe deze processen met elkaar samenhangen.
2. Parallel hieraan zijn alle beschikbare metingen geanalyseerd en weggeschreven naar een database per raaimeting. Om voorspellingen te kunnen doen zijn deze profielmetingen uitwerkt in een viertal parameters waarvan de ontwikkeling per meting gevolgd kan worden. Deze zijn als volgt gedefinieerd:

$H_{\text{slik-}}$	Gemiddelde hoogteligging slik beneden NAP
$H_{\text{slik+}}$	Gemiddelde hoogteligging slik boven NAP
H_{schor}	Gemiddelde hoogteligging schor
$P_{\text{schor}} \mid L_{\text{schor}}$	Positie schorrand (lengte t.o.v. het nulpunt van de raai)

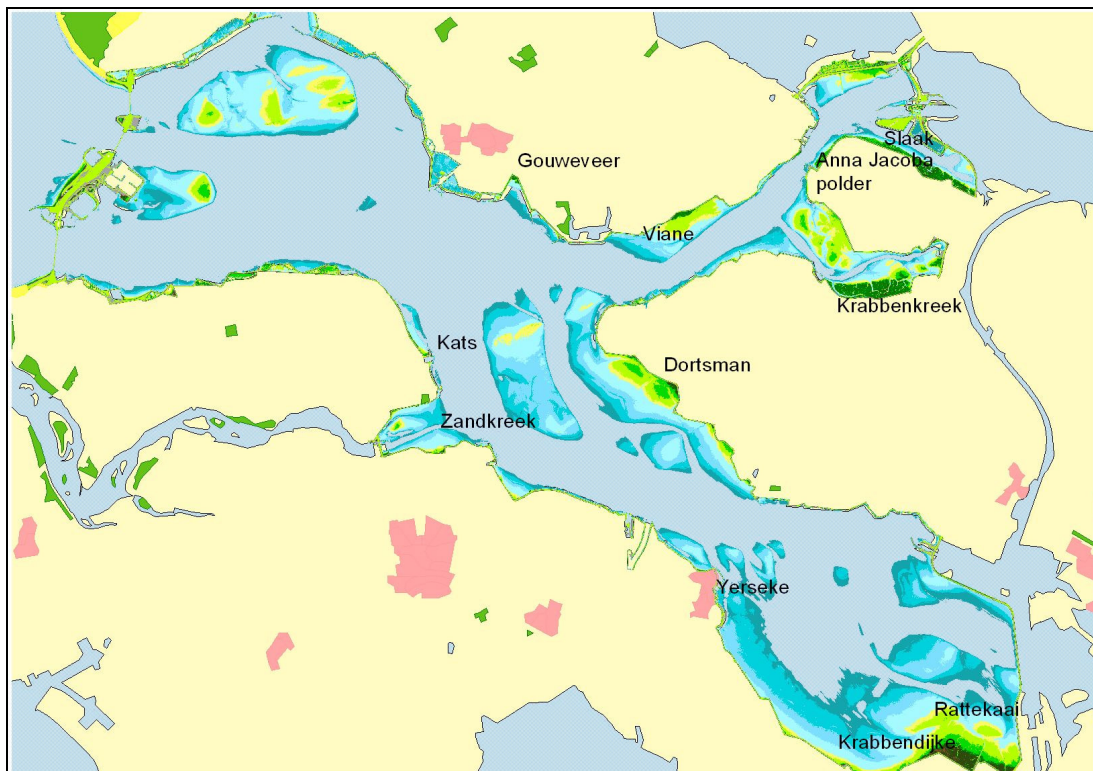
3. Om snel te kunnen zien voor welke gebieden een voorspelling relevant is, is eerst een voorspelling gemaakt van de schorpositie en hoogteligging van de slikken op basis van lineaire extrapolatie. Voor locaties waarbij de ontwikkelingen niet structureel afwijken van de aannamen voor het Projectbureau hoeft geen verdere analyse gemaakt te worden van de hoogteligging.
4. Voor de gebieden die niet afgevallen zijn in stap 3 is een kwalitatieve analyse gemaakt van de invloedsfactoren die de schor/slikontwikkeling kunnen versnellen of vertragen in vergelijking met de natuurlijke ontwikkelingen.
5. Op basis van deze kwalitatieve analyse worden de gebieden waarvoor een versnelling verwacht wordt ingedeeld in klassen van snelheden waarin deze versnelling zich zal voltrekken. Voor elk van deze klassen wordt een aparte keuze gemaakt van de ontwikkelingsnelheid.
6. Op basis van het gekozen prognosemodel is daarna de te verwachten ligging van het schor/slik berekend voor 2010, 2020, 2030, 2040, 2050 en 2060.
7. Met behulp van GIS zijn de prognoses omgevormd tot een ruimtelijk geografisch beeld waarin met behulp van een lijn de positie van de schorrand en met behulp van een kleur de verandering in hoogteligging aangegeven is.
8. Als laatste is deze integrale rapportage opgesteld.

2.3 Afbakening

Deze studie is een praktijkgerichte studie waarin voorspellingen gedaan worden over de hoogteligging en positie van de schorren en slikken voor de komende decennia. Om de studie binnen korte tijd af te kunnen ronden is de volgende afbakening gehanteerd:

- het bepalen van de toename van de belasting als gevolg van de morfologische veranderingen behoort niet tot deze studie;
- deze studie levert geen kwantitatieve uitspraken over de verwachte grootschalige ontwikkelingen in de totale Oosterschelde als gevolg van zandhonger. Het gaat in deze studie om de schorren en slikken die direct bepalend zijn voor de golfbelasting op de dijken;
- in deze studie ligt de focus op de problematiek van het Projectbureau Zeeweringen. Daarom wordt de voorkeur gegeven aan een pragmatische, robuuste aanpak, boven een geavanceerde morfologische aanpak;
- in de vraagstelling voor deze studie is opgenomen dat alleen de voor Projectbureau Zeeweringen relevante schorren en slikken in beschouwing genomen worden. Het gaat hierbij globaal om de volgende slikken en schorren:
 - slik en schor bij Kats;
 - slik tussen Yerseke en Krabbendijke;
 - schor bij Krabbendijke;
 - slik en schor van Rattekaai;
 - slikken bij de Oesterdam (Speelmansplaten etc);
 - slik en schor van de Dortsman;
 - slik en schor bij de Krabbenkreek;
 - slik en schor bij Sint Annaland;
 - slik en schor bij Sint Philipsland (Slaak);
 - slik en schor van Viane;
 - slik en schor bij Gouweveer.

In figuur 2-1 is de geografische ligging van de beschouwde slik- en schorgebieden aangegeven.



Figuur 2-1: Overzicht beschouwde slik- en schorgebieden Oosterschelde

3 CONCEPTUEEL MODEL VOOR SCHOR- EN SLIKPROGNOSES

3.1 Het gedrag van schorren en slikken

Schorren en slikken zijn kenmerkend voor hoogdynamische estuariene systemen. Een schor is een buitendijks hoog voorland begroeid door een vegetatie van hogere plantensoorten (d.w.z. geen macroalgen of sessiele dieren), met een hoogte rond of boven gemiddeld hoog water. In het noorden van Nederland worden deze systemen kwelders genoemd. Een slik is een (buitendijkse) intergetijden plaat zonder vegetatie. De overgang van een slik naar een schor wordt de schorrand genoemd. In de Westerschelde en Oosterschelde komen zowel schorren voor met een geleidelijke overgang tussen slik en schor als met een abrupte overgang. Bij een steile overgang wordt ook wel over een schorklif gesproken.

Een stabiel slik met een flauwe helling en voldoende hoge ligging t.o.v. hoogwater is een voorwaarde voor het ontstaan van een schor. Een tweede voorwaarde is voldoende aanbod van sediment. Als aan deze twee voorwaarden voldaan wordt, zal op afgeschermden plaatsen pioniervegetatie ontstaan. In Zeeland gebeurt dit op slikken met een hoogteligging vanaf ca. één meter beneden gemiddeld hoogwater. Dit kunnen planten zijn als Slijkgras of Zeekraal. Kenmerkend voor deze pioniervegetaties is het kunnen 'invangen' van sediment. Dit treedt vooral op bij polvormende pioniervegetatie zoals Engels Slijkgras. Hierdoor verlagen lokaal de stroomsnelheden, zodat sediment kan worden afgezet op het slik. Terwijl de vegetatie toeneemt, neemt daardoor ook de hoogte van het slik toe. Al gauw bereikt het slik de hoogte dat het niet meer bij elk hoogwater overspoeld wordt. We spreken nu van een jong schor.

Doordat de overspoelingsfrequentie afneemt, verandert de biochemische samenstelling van het schor, waardoor er zich andere planten kunnen vestigen. Dit zijn zoutminnende planten als Kweldergras, Zeeaster en Zeebies. De uitbreidende vegetatie zorgt er voor dat de krekken (eb- en vloedgeulen in het schor) versmallen, en als gevolg daarvan verdiepen. Bij hogere waterstanden wordt naast de kreekranden nieuw sediment afgezet. Dicht bij de kreekranden wordt zandig materiaal afgezet, verder het schor op wordt slibrijk sediment afgezet. De afzetting van zand aan de kreekranden kan er voor zorgen dat er oeverwallen ontstaan. Achter deze oeverwallen ontstaan diepere gedeelten (kommen) met een overwegend kleiachtige samenstelling. Als gevolg van verschillen in sedimentatiesnelheden wordt de overgang tussen het begroeide schor en het intergetijdengebied (slik) steeds steiler. Soms kan hier een klif ontstaan, met name op meer geëxponeerde locaties. Het schor is nu in het midden van zijn levenscyclus. Het ophogingproces gaat door totdat het schor een hoogte bereikt waarin het nauwelijks meer overspoeld wordt. We spreken dan van een oud schor. Kenmerkende vegetatie hierbij is o.a. Strandkweek (op relatief zoute schorren) en Riet (op zoetere schorren). Aan de rand van het schor is het klif steeds steiler geworden. Golven en stroming vallen deze schorrand aan, waardoor het schor begint te eroderen. Het oude schor wordt hierdoor afgebroken en verandert in een slik. Als de situatie het toelaat (genoeg sediment, beperkte aanval etc.) kan het proces van schorvorming opnieuw beginnen. Aan de voorkant van het oude schor ontstaat zo weer een jong schor. Schorvorming speelt zich normaalgesproken af op tijdschalen van enkele decennia tot eeuwen.

3.2 Schor- en slikontwikkelingen in de Oosterschelde

Veel schorren in de Westerschelde en Oosterschelde kunnen gekwalificeerd worden als oude schorren, en eroderen nu. In de Westerschelde wordt op verscheidene locaties weer jonge aanwas van schorren geconstateerd. Deze nieuwe aanwas wordt vooral gevonden bij meer beschutte locaties met hoge concentraties aan gesuspendeerd materiaal zoals in de directe omgeving van stortlocaties voor baggerspecie. Ook wordt schorvorming geconstateerd in wantijgebieden.

In de Oosterschelde wordt vrijwel geen nieuwe aanwas van schorren geconstateerd. De kleine schorren zoals de schorren bij Kats zijn vrijwel geheel verdwenen. Van deze schorren resteren alleen enkele zeer erosiebestendige, kleirijke gedeelten. Vooral schorren met een relatief steil hellend slik laten een grote teruggang zien na de aanleg van de Deltawerken. Geschat wordt dat in de periode vanaf de aanleg van de Oosterscheldekering het areaal aan schorren met ongeveer 3 hectare per jaar afgenomen is. Er resteert nu nog maximaal 500 hectare schor in de Oosterschelde. Relatief stabiel zijn de schorren aan de noordoever van Tholen en Sint Philipsland. Deze schorren liggen in de luwte en zijn onderdeel van een intergetijdengebied met een flauwe bodemhelling.

Ook het litorale areaal in de Oosterschelde is sterk aan het afnemen. Metingen uit 2001 tonen aan dat sinds de aanleg van de Oosterscheldekering al ongeveer 1000 hectare intergetijdenareaal verloren gegaan is. De huidige netto afnamesnelheid bedraagt 50 hectare per jaar. Ook laten deze metingen zien dat de erosiesnelheden nog niet afnemen.

3.3 Invloedsfactoren op huidige schor- en slikontwikkelingen in de Oosterschelde

3.3.1 *Invloedsfactoren*

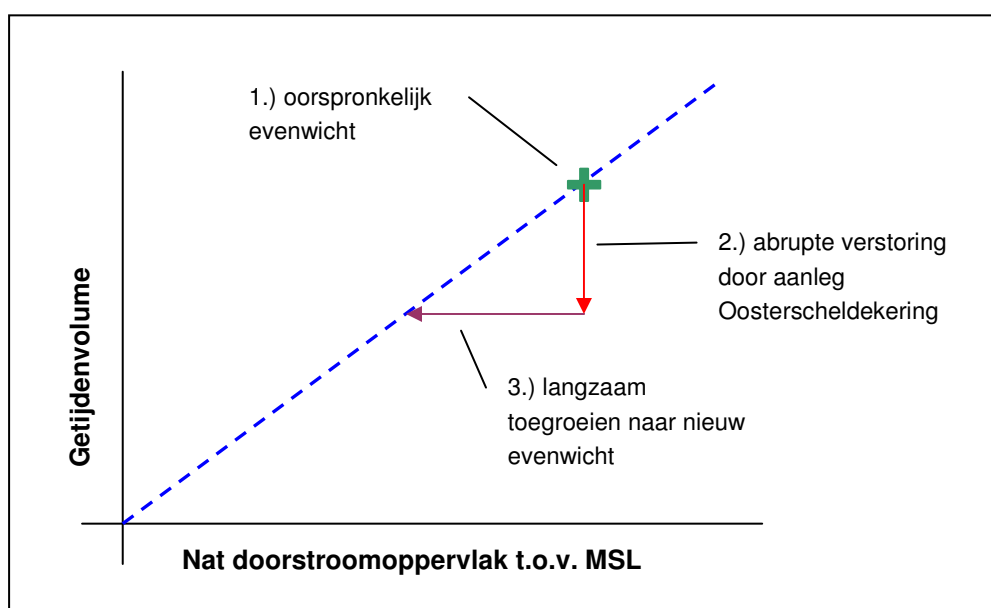
Schorerosie is de normaalste zaak van de wereld en is kenmerkend voor het laatste ontwikkelingsstadium van een schor. Een schorklif is per definitie een verschijningsvorm van erosieve processen. Opmerkelijk is echter het feit dat er in de Oosterschelde geen groei van nieuwe schorren meer plaatsvindt. In de Westerschelde wordt dit op verscheidene locaties nog wel geconstateerd, daar waar de condities geschikt zijn voor jonge aanwas van schorren. Sinds de aanleg van de Deltawerken, waaronder de Oosterscheldekering is er veel veranderd in de Oosterschelde. De Oosterschelde leidt nu aan zandhonger waardoor hoge platen en slikken sterk in hoogte afnemen. Als gevolg van deze verdieping neemt de belasting op de hogere delen toe.

3.3.2 *Oosterscheldekering en zandhonger*

De aanleg van de Deltawerken in de jaren '60 tot '90 van de vorige eeuw had tot doel de veiligheid van Zeeland te garanderen met behoud van het estuariene karakter van de Oosterschelde. Het estuariene karakter is door behoud van de getijdenbeweging in stand gehouden. Wel heeft de aanleg van de Deltawerken het evenwicht tussen het getij en de morfologie van de Oosterschelde sterk verstoord.

Wereldwijd is voor estuaria en zeearmen aangetoond dat er een (min of meer) lineaire relatie bestaat tussen het natte oppervlak van een geul (doorsnede) en het volume aan water dat door deze doorsnede per getij beweegt (getijdenprisma) [zie o.a. Haring, 1967, Eysink, 1991 en Allersma, 1994].

De aanleg van de Deltawerken zorgde voor een abrupte verschuiving in deze relatie. (zie figuur 3-1). Het (gemiddelde) getijdenvolume in de Oosterschelde namen maar liefst 25% af van 1.230 Mm³ naar 880 Mm³ per getij [zie o.a. RIKZ, 2004, Royal Haskoning, 2005]. Deze abrupte verstoring van de balans resulteerde in een groot tekort aan sediment in de geulen. Doordat de geulen na de aanleg van de Oosterscheldekering te ruim zijn voor de te transporteren volumina namen de stroomsnelheden evenredig af. Hierdoor vindt er netto sedimentatie in de geulen plaats. Waar er normaal gesproken bij platen, slikken en schorren een sterke relatie is tussen afbraak door golven en opbouw door het getij, zorgde de verlaagde stroomsnelheid voor een omslag: de stroomsnelheden zijn te laag om sediment omhoog te voeren vanuit de geulen naar hogere slikdelen en plaatdelen. Hierdoor is er op vrijwel alle hoge delen netto sprake van erosie.



Figuur 3-1: verstoring relatie getijdenvolume en geuldoorsnede

De netto sedimentatie van de geulen met van andere delen afkomstig sediment gaat door totdat de stroomsnelheden in de geul hoger worden dan de kritische schuifspanning. Pas als de stroomsnelheden hoger worden dan deze kritische grens, zal de netto plaatafbraak afnemen. De hoeveelheid tekort aan sediment is echter dusdanig groot dat deze niet met de beschikbare hoeveelheid aan sediment van platen en slikken opgevuld kan worden. Geschat wordt dat de totale zandhonger ca. 400 tot 600 Mm³ bedraagt, terwijl er maar maximaal 200 Mm³ 'beschikbaar' is vanaf platen en slikken. Dit betekent dat, zonder grootschalig ingrijpen, uiteindelijk nagenoeg alle hoge platen, slikken en schorren zullen verdwijnen. De termijn waarop deze veranderingen zich afspelen is nog onderwerp van studie. Schattingen lopen uiteen van honderd jaar tot meer dan tweehonderd jaar [RIKZ, 2000].

3.3.3 *Zandhonger en gevolgen voor erosie van schorren en slikken*

Normaal gesproken zorgen golven voor opwoeling van sediment van platen en slikken. Dit sediment wordt door het getij meegevoerd en wordt afgezet op gebieden waar de stroomsnelheid laag is. Dit zijn de hoger gelegen slikdelen die al dan niet begroeid zijn en de plaatranden.

Nu sinds de aanleg van de Oosterscheldewerken de stroomsnelheden lager zijn, is er geen significant transport meer van sediment naar hogere delen. Eventueel opgewoeld sediment bezinkt in diepere delen. Hierdoor vlakken hoge platen af en versteilen de slikken. Door de verlaging van hoge platen zullen de golven in lengte en hoogte toenemen. Hierdoor wordt verticale erosie van diepere slikken versterkt. Ook op de slikken zal door de hoogteafname de golfhoogte kunnen toenemen.

3.3.4 *Oosterscheldekering als sedimentblokkade*

Kenmerkend voor een estuarium en zeegat zijn afwisselende perioden waarin het systeem sediment-importerend dan wel -exporterend is. De Voordelta is ontstaan in de exporterende perioden van de Westerschelde en Oosterschelde. Ook aan het begin van de aanleg van de Deltawerken was de Oosterschelde nog sterk exporterend. Na de bouw van de Oosterscheldekering wordt er bijna geen import of export van sediment door de Oosterscheldekering geconstateerd. Dit wordt veroorzaakt door enerzijds de twee ontgrondingskuilen aan weerszijden van de kering, anderzijds door de fysieke blokkade door de onder en bovendrempel van de Oosterscheldekering. Wel duiden metingen op een kleine netto import van slib. Hierbij gaat vermoedelijk minder dan 1 Mm³ per jaar, wat te verwaarlozen is op het totale zandtekort. Daarnaast zou een netto import van slib niet zorgen voor een vermindering van de zandhonger. Vanwege de kleine sedimentfractie zou slib alleen de holle ruimte tussen de zandkorrels opvullen en netto nauwelijks bijdragen aan een verkleining van de geuldoorsneden.

De zandhonger kan dus niet gestild worden door de natuurlijke import van sediment. De herverdeling van sediment zal dus alleen plaatsvinden met sediment uit de omgeving. Voor de slikken en schorren betekent dit dat het proces van zandhonger nog continu doorgaat gedurende tientallen decennia.

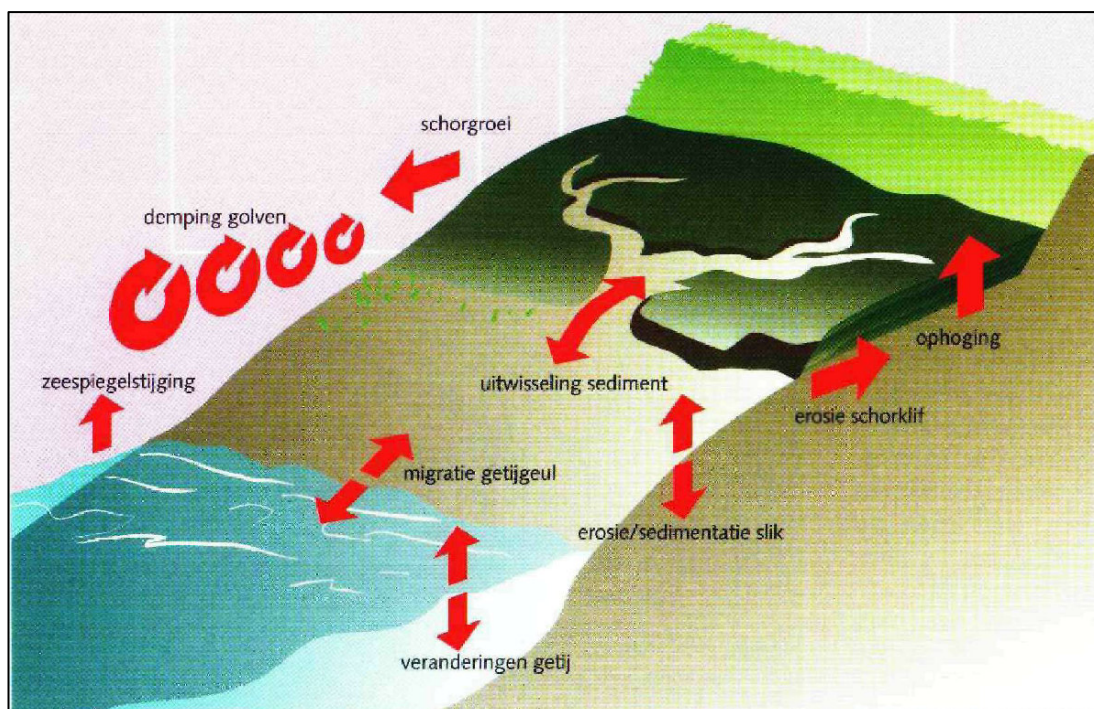
3.3.5 *Oosterscheldekering en stagnant waterpeil bij stormen*

Bij een verwachte waterstand hoger dan NAP+3 meter wordt de Oosterscheldekering gesloten. Hierdoor blijft de waterstand gedurende minimaal één getij op een constant (stagnant) waterpeil. Bij extreme stormen kan het zelfs gebeuren dat de Oosterscheldekering meer dan 12 uur gesloten blijft. Juist deze constante waterstand in combinatie met extreme weersituaties zorgt voor veel erosie. De meeste schorren liggen op niveaus van NAP+1,5 tot NAP +2,0 meter. In het gesloten Oosterscheldebekken kan de waterstand hoogten van NAP+3,45 westelijk tot NAP+3.95 meter bij de Philipsdam bereiken. Bij een noodsluiting met een waterstand van NAP+3 meter staat er gemiddeld 2 meter boven het slik, waardoor de golven juist breken op de schorrand i.p.v. op het slik. Dit zorgt voor een versnelling van de schorerosie. Bij een sluiting volgens het draaiboek wordt de waterstand in het Oosterscheldebekken het eerste getij gehandhaafd op NAP+1 meter en daarna constant gehouden op NAP+2 meter. Ook bij deze waterstanden is de belasting op de slikken en schorren een lange tijd constant.

In de periode van 1986 tot 2005 is de Oosterscheldekering 25 maal gesloten, waarbij enkele proefsluitingen. Gemiddeld genomen sluit de Oosterscheldekering eens per jaar bij stormen uit westelijke tot noordelijke richtingen. Bij deze stormen zullen schorren met een oriëntatie op het westen aanzienlijke erosie door golfaanval vertonen.

3.4 Conceptueel model schor en slik ontwikkelingen

De slikken en schorren in de Oosterschelde nemen af in grootte als gevolg van de aanleg van de Deltawerken. Om een voorspelling te kunnen maken van de snelheid waarmee slikken en schorren in de toekomst afnemen is het belangrijk om de samenhang tussen de diverse invloedsfactoren in beeld te brengen. In dit conceptuele model wordt beschreven welke parameters invloed uitoefenen op de schor en slikontwikkeling, en wat de onderlinge relatie is tussen de diverse parameters. In de literatuur is weinig bekend over de mechanismen achter schorerosie. Wel worden in [Rijkswaterstaat, 1999] de belangrijkste invloedsfactoren achter schor en slikprocessen beschreven en weergegeven in een overzichtelijk figuur (figuur 3-2).



Figuur 3-2: schor opbouw en afbraak processen (naar Storm, 1999)

Momenteel is NIOO aan een vijfjarig onderzoeksprogramma begonnen waarin gekeken wordt naar het fysisch en ecomorfologisch model achter schorerosie.

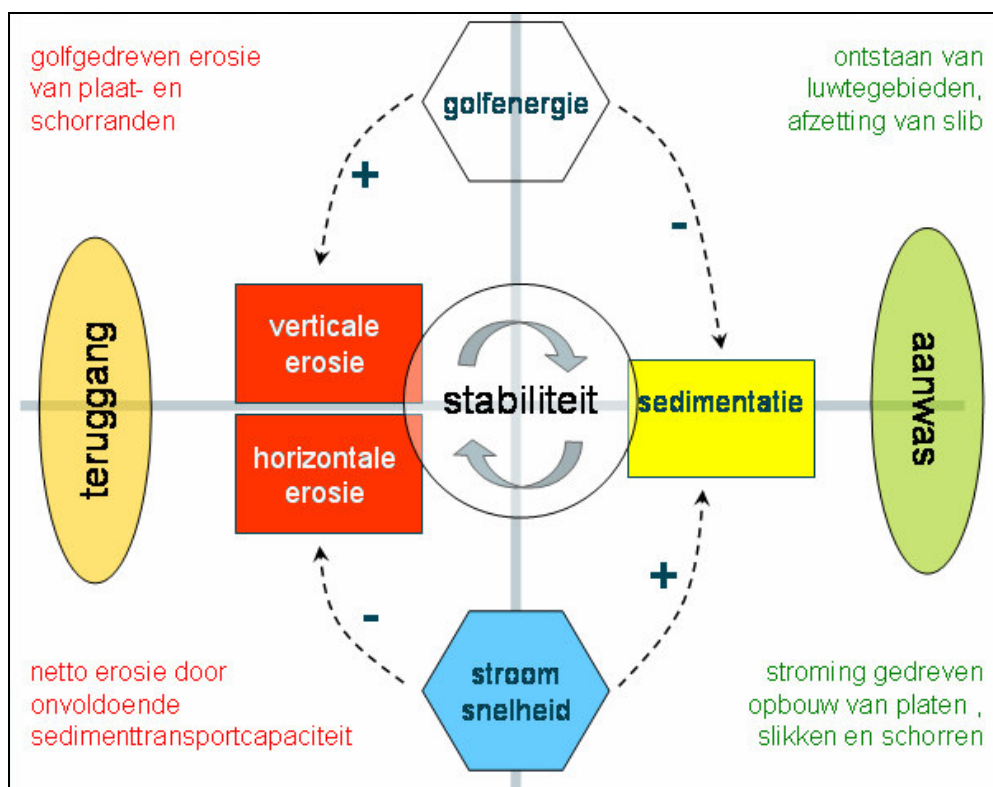
Opbouw van schorren en slikken vindt voornamelijk plaats door de werking van het getij. Bij snelheden die hoger zijn dan de kritische schuifspanning zal opgewoeld sediment getransporteerd worden en afgezet worden op hogere delen. Hiervoor is de getijdenstroming verantwoordelijk. Bij estuariene systemen met sterk meanderende geulen speelt de secundaire getijdenstroming (ook wel spiraalstroming genoemd) een belangrijke rol bij geulplaat interactie. Deze opwaarts gerichte stroming voert bij geulranden sediment van diepere delen naar hoger liggende delen.

Aanwas van slikken en schorren vindt alleen plaats bij voldoende aanbod van sediment, relatief weinig golfaanval en voldoende transportcapaciteit van de stroming.

In tegenstelling tot stroming zorgt golfwerking juist voor een bruto afbraak van platen, slikken en schorren. Golven woelen door de orbitaalstroming en turbulentie sediment op waarna dit vervolgens door golfgedreven, windgedreven of getijdengedreven stroming afgevoerd wordt. De mate van erosie is afhankelijk van de dissipatie van energie per oppervlakte schor of slik per tijdseenheid. Kort gezegd is de erosie afhankelijk van de golfhoogte, golfperiode en de duur van de belasting, die op hun beurt weer afhankelijk zijn van de windsnelheid, de strijklengte, de stormduur en de hoogte van de waterkolom. De hoogte van de waterkolom is afhankelijk van de waterstand en de gemiddelde bodemligging voor de dijk. Bij een diepliggend slik zal de golfbelasting op het schor aanzienlijk meer zijn dan bij een hoger liggend, vlak slik.

In figuur 3-3 is de samenhang tussen opbouw door het getij en afbraak door golfwerking weergegeven in een conceptueel model. Centraal hierin staat de vraag onder welke condities netto afbraak en netto aanwas optreedt. De pijlen in de figuur visualiseren een toename(+) of afname(-) van de stroming of golfwerking. Centraal in deze figuur is de bruto aanwas en afbraak in evenwicht zodat er sprake is van netto stabiliteit.

In de Oosterschelde bevinden zich vrijwel alle schor- en slikgebieden aan de linkerkant van de figuur, en is er sprake van een structurele teruggang. Deze wordt veroorzaakt door een gelijkblijvende of licht toenemende golfwerking en een relatief grote verlaging van de getijdenstroming. De schorren en slikken die in de Oosterschelde nog stabiel zijn of zelfs marginaal tekenen van aanwas lijken te vertonen hebben allemaal als kenmerk dat deze zeer beschermd voor golfaanval liggen. Het in suspensie zijnde slib kan bij deze slikken nog wel in voldoende mate op hoge delen afgezet worden. De Krabbenkreek is een slik- en schorsysteem wat centraal tot rechtsboven in figuur 3-3 gepositioneerd kan worden.



Figuur 3-3: Conceptueel model opbouw en afbraak van slikken en schorren

Golfenergie heeft een negatief effect op de erosie: het veroorzaakt erosie op schorren en slikken. In intergetijdengebieden is stroming verantwoordelijk voor het transport naar hogere slik/plaat of schordelen. Een verhoging van de stroomsnelheid zal in estuaria dus leiden tot een hogere sedimentatie op plaatranden, afschermende slikken en schorren.

3.5 Conceptueel model voor schor- en slikprognoses

3.5.1 Basis prognosemodel

Voor het Projectbureau Zeeweringen is het van belang om voorspellingen te maken van de slik- en schorontwikkelingen in de Oosterschelde voor de komende 55 jaar. Metingen tonen aan de ontwikkeling van schorren en slikken grillig verloopt. Modellen zijn (nog) niet in staat om het complexe proces van geulplaat interactie betrouwbaar te voorspellen. Ook zijn er te weinig metingen beschikbaar om alleen op basis van de metingen een betrouwbare voorspelling te kunnen maken. Daarom is voor deze studie gekozen om een prognosemodel op te stellen waarin gebruik gemaakt wordt van de beschikbare metingen en proceskennis over de opbouw en afbraak van schorren en slikken (het in paragraaf 3.4 omschreven conceptuele model).

Voor prognoses moet niet alleen uitgegaan worden van de huidige geconstateerde ontwikkelingen, maar moeten ook toekomstige ontwikkelingen in de Oosterschelde in ogenschouw genomen worden. De zandhonger gaat nog decennia tot eeuwen door. Daarnaast stijgt de zeespiegel en neemt wellicht de stormfrequentie toe.

Deze veranderingen in invloedsfactoren kunnen de ontwikkeling van schorren en slikken zowel positief als negatief beïnvloeden. In tabel 3-1 worden de verwachte veranderingen ingedeeld in positief (verwachte afname erosie) of negatief (verwachte toename erosie).

Tabel 3-1: Invloedsfactoren en relatie slik- en schorontwikkelingen

Invloedsfactor	Zandhonger	Invloed op slikken en schorren		
		Hoogte slik	Positie schorrand	Hoogte schor
Stijging gemiddelde waterstand (60 cm/eeuw)	- Neemt toe	- / 0 toename erosie	- toename erosie	+ / 0 kan iets meegroeien
Toename getijdenrange	+ Neemt af	+ / 0 kans op meer bruto sedimentatie	+ / 0 kans op meer bruto sedimentatie	+ / 0 kan iets meegroeien
Toename sluitfrequentie Oosterscheldekering	0 blijft gelijk	- erosie neemt toe	- erosie neemt toe	0 blijft stabiel
Ontwikkeling zandhonger	+ Neemt af	+ / 0 kans op meer bruto sedimentatie	0 erosie blijft constant	+ / 0 kan iets meegroeien

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de toekomstige veranderingen in de Oosterschelde geen reden geven om een structurele versnelling of vertraging van de erosiesnelheden te verwachten. Een structurele versnelling van de erosie kan wel optreden in gebieden waarbij de belasting, als gevolg van het wegvallen van afschermdende werking van hoge platen, significant toeneemt. Daarom is het belangrijk om de erosiesnelheid te koppelen aan de verwachte ontwikkeling van de belasting.

3.5.2 Empirische beschrijving erosie en sedimentatietermen

Uitgaande van schor en slikerosie door golfwerking en opbouw door getijdenstroming kan gesteld worden dat de positie van schorren benaderd kan worden met behulp van formule 3-1.

Formule 3-1 basisvergelijking ontwikkeling slikken en schorren

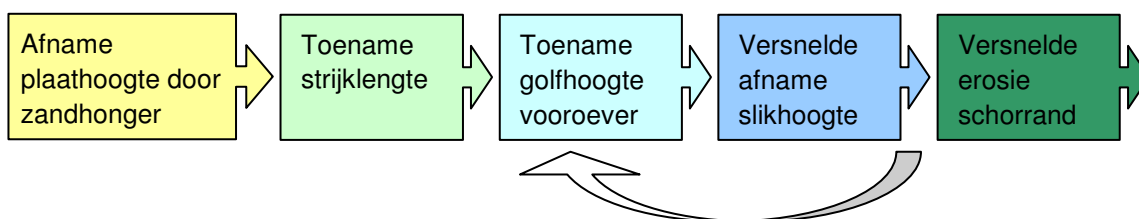
$dx/dt \cong D - E_h$	$ dz/dt \cong D - E_v$
met:	
\cong	is bij benadering gelijk aan
x	horizontale positie van de schorrand t.o.v. een vast referentiepunt [m]
z	hoogteligging slik [m t.o.v. NAP]
D	aangroei van het schor resp. slik [cm/jr of m/jr]
E	erosie van het schor resp. slik [cm/jr of m/jr]. E_h = horizontaal E_v = verticaal

Door de zandhonger en de sterk afgenomen getijdensnelheden vindt er in de Oosterschelde geen substantiële aangroei van slikken en schorren plaats. Uitgaande van de hypothese dat de getijdenstroming te laag is om voor een netto transport van sediment te zorgen (m.u.v. slibfracties), kan deze eenvoudige basisvergelijking verder gereduceerd worden tot een erosieformule. In deze erosieformule (formule 3.2) wordt de positie van de schorrand en de hoogteligging van het slik beschreven door de erosie-term.

Formule 3-2 vereenvoudigde erosiebeschrijving slikken en schorren

$dx/dt \cong - E_h$	$ dz/dt \cong - E_v$
met:	
x	positie van de schorrand [m]
z	hoogteligging slik [m t.o.v. NAP]
E	erosie van het schor resp. slik [cm/jr of m/jr]

De mate van verandering in hoogteligging of de positie van de schorrand is dus evenredig aan de erosie die veroorzaakt wordt door de golfwerking. De golfbelasting op een slik of schor wordt bepaald door de golfhoogte, golfperiode en de belastingduur. De formule van Bretschneider (formule 3-3 tot 3-6) beschrijft de relatie tussen de strijklengte, waterdiepte, stormduur, en de windsnelheid. Deze maakt het dus mogelijk om een globale schatting te maken van de toename van de belasting als gevolg van de zandhonger. De relaties tussen bodemgedrag en hydrodynamica worden schematisch beschreven in figuur 3-4 en worden uitgewerkt in de volgende alinea's.



Figuur 3-4: relaties tussen plaatgedrag en erosie

Formule 3-3 Golfgroei op ondiep water (Bretschneider)

$$H_s = 0.283 \frac{U_w^2}{g} p_1 \tanh \left(\frac{0.0125 F_x^{0.42}}{p_1} \right)$$

$$T_p = 7.54 \frac{U_w}{g} p_2 \tanh \left(\frac{0.077 F_x^{0.42}}{p_2} \right)$$

Met:

$F_x = \frac{gF}{U_w^2}$	H_s	significante golfhoogte
$h_x = \frac{gh}{U_w^2}$	T_p	piekperiode
$t_x = \frac{gt}{U_w}$	g	zwaartekrachtversnelling
$p_1 = \tanh(0.53 \cdot h_x^{0.75})$	F	strijklengte
$p_2 = \tanh(0.833 \cdot t_x^{0.375})$	U	windsnelheid
	h	waterkolom (waterstand – voorlandhoogte)
	t	stormduur

Om een idee te krijgen wat de toename van de belasting betekent voor de erosiesnelheid zou uitgegaan kunnen worden van de hypothese dat verticale erosie van slikken beschreven kan worden met een erosieformule voor slibrijk sediment. Een slik bestaat immers voor een aanzienlijk deel uit fijne sedimentfracties als klei, silt en slib. De erosie van (deels) geconsolideerd slib wordt beschreven met de formule van Partheniades (formule 3-4).

Formule 3-4 Beschrijving sliberosie volgens Partheniades

$$E_m = M \left(\frac{\tau_b}{\tau_e} - 1 \right) * H \left(\frac{\tau_b}{\tau_e} - 1 \right)$$

Met:

E_m	erosiesnelheid (kg/m ²)
M	erosieconstante (kg/N/s)
H	significante golfhoogte (m)
τ_b	schuifspanning t.g.v. belasting (N/m ²)
τ_e	kritische schuifspanning voor erosie (N/m ²)

3.5.3 Empirische relatie verandering in belasting, verandering in ontwikkeling

De schuifspanning aan de bodem (τ_b) wordt bij de slikken met name bepaald door de golfwerking (orbitaalsnelheid), en is een functie van de waterdiepte, golfhoogte en golfperiode. De orbitaalsnelheid aan de bodem verloopt lineair met de golfhoogte (en golfperiode) in ondiep water. Als gevolg hiervan verloopt de schuifspanning op ondiep water kwadratisch afhankelijk met de golfhoogte op ondiep water. Als dus de golfbelasting op het slik met 10% toeneemt, mag verwacht worden dat de slikerosie met 21% toeneemt.

Een versnelling van de verticale erosie van slikken resulteert in een lineaire toename van de golfhoogte. Omdat de diepte toeneemt wordt de golfhoogte op het slik hoger, en zal de schorrand zwaarder aangevallen worden. Hierdoor versnelt ook de afkalving van de schorrand kwadratisch met de toename van de golfhoogte op het slik.

Gekoppeld aan de verwachte verandering van de golfbelasting in de geul voor het slik/schor kunnen drie verschillende prognosemethoden bedacht worden. Deze worden beschreven in tabel 3-2.

Tabel 3-2: prognosemodellen

Belasting	Ontwikkeling hoogte slik	Ontwikkeling positie schorrand	Ontwikkeling hoogte schor
Constante belasting	$H_{\text{slik}}(t) \cong H_{\text{slik;nu}} * D_t * (D_z/D_t)$	$P_{\text{schor}}(t) \cong P_{\text{schor;nu}} * D_t * (D_x/D_t)$	$H_{\text{schor}}(t) \cong H_{\text{schor;nu}} * D_t * (D_z/D_t)$
Lineaire toename belasting	$H_{\text{slik}}(t) \cong H_{\text{slik;nu}} * D_t * (D_z/D_t) * D_{Hs}$	$P_{\text{schor}}(t) \cong P_{\text{schor;nu}} * D_t * (D_x/D_t) * D_{Hs}$	$H_{\text{schor}}(t) \cong H_{\text{schor;nu}} * D_t * (D_z/D_t)$
Meer dan lineaire toename belasting	$H_{\text{slik}}(t) \cong H_{\text{slik;nu}} * D_t * (D_z/D_t) * D_{Hs}^2$	$P_{\text{schor}}(t) \cong P_{\text{schor;nu}} * D_t * (D_x/D_t) * D_{Hs}^2$	$H_{\text{schor}}(t) \cong H_{\text{schor;nu}} * D_t * (D_z/D_t)$

Met:

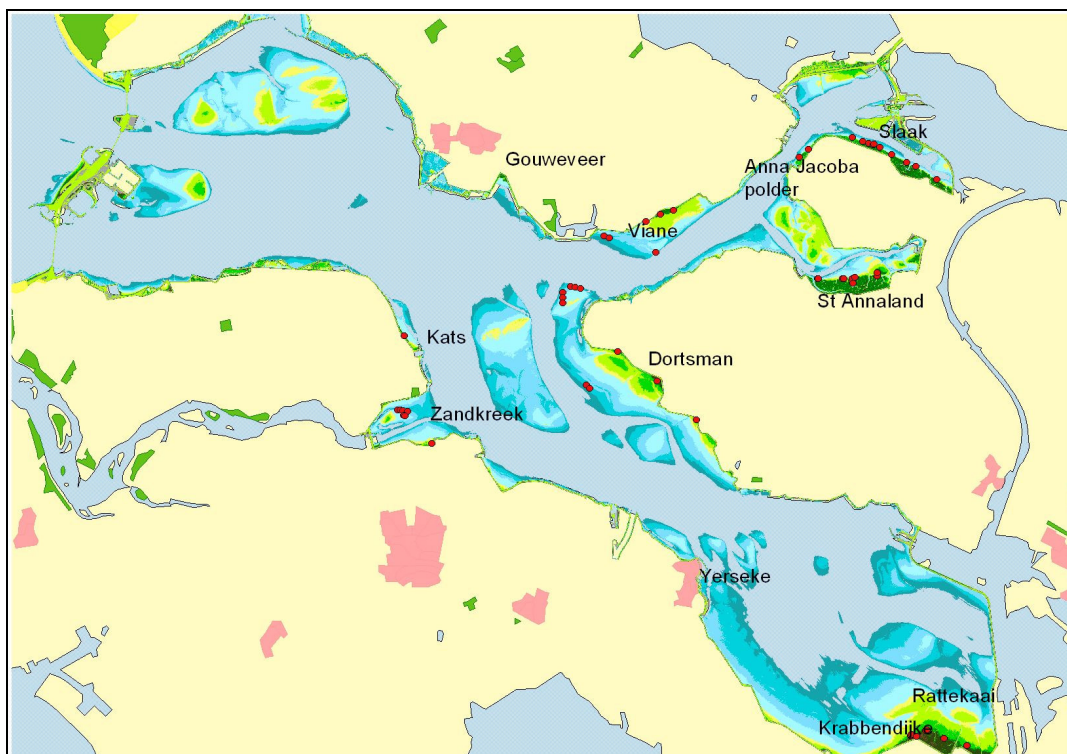
- D_t Delta tijd (tijd tussen prognosejaar en referentiesituatie) [m]
- D_z Delta hoogteligging (hoogteverschil tussen begin en eind van de meetreeks) [m t.o.v. NAP]
- D_x Delta positie schorrand (verschil in positie tussen het begin en het eind van de meetreeks) [m]
- D_{Hs} Delta golfhoogte [m]

Deze beschrijvende prognosemodellen zijn toepasbaar voor de Oosterschelde voor elke schor en slik waarbij de ontwikkeling van de belasting kwalitatief of kwantitatief bepaald kan worden. In de volgende hoofdstukken wordt deze benadering gebruikt om prognoses te maken van de toekomstige ontwikkeling van schorren en slikken.

4 ANALYSE MEETGEGEVENS

4.1 Aanpak analyse

In de Oosterschelde is vanaf ca. 1992 een monitoringprogramma opgezet wat gericht is op het monitoren van de verandering van de positie van schorranden. Deze profielmetingen zijn gemiddeld halfjaarlijks verricht op bepaalde locaties waar schorren voorkomen. De nulpunten van deze raaien zijn gemarkeerd in figuur 4-1.



Figuur 4-1: Overzicht schor/slik profielmetingen

Aanvullend op deze profielmetingen zijn ruimtelijke opnamen beschikbaar van het intergetijdengebied uit de periode 1983, 1989 tot 1991 en 2001. Daarnaast zijn vaklodingen beschikbaar voor de gebieden beneden de laagwaterlijn met opnames van diverse jaren. In bijlage 1 is een overzicht gegeven van de beschikbare profielmetingen en ruimtelijke opnamen.

Bij de analyse van de metingen zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Het omzetten van de profielmetingen naar een databaseformaat. Op deze wijze kunnen de metingen gebruikt worden voor berekeningen in Matlab etc.
2. Bepaling van karakteristieke parameters per raai.
 - $H_{\text{slik-}}$ Gemiddelde hoogteligging slik beneden NAP;
 - $H_{\text{slik+}}$ Gemiddelde hoogteligging slik boven NAP;
 - H_{schor} Gemiddelde hoogteligging schor;
 - P_{schor} Horizontale positie schorrand.
3. Analyse van ontwikkelingsnelheden per parameter. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een lineaire fit via de kleinste kwadraten methode.

4. Berekening ontwikkelingssnelheden voor slikken waarvoor geen raaien beschikbaar zijn. Hierbij wordt gebruik gemaakt van 2D-analyse met GIS.
5. Vaststellen gemiddelde ontwikkelingssnelheid per slik of schor(deel).

4.2 Omzetten profielmetingen in databasestructuur

De door het RIKZ beschikbaar gestelde profielmetingen zijn door de Meetinformatiedienst van Rijkswaterstaat Zeeland opgeslagen in een Excel-spreadsheet per raai. De benodigde meta-informatie over de raailigging en oriëntatie is alleen weergegeven in de in de bestanden opgenomen Excel-figuren. De opmaak en indeling van de bestanden maakt een geautomatiseerde analyse van de raaien vrijwel onmogelijk. Daarom zijn alle raaien omgezet naar een numeriek formaat waarin per raai alle beschikbare jaren in kolommen weergegeven worden.

Tabel 4-1: Omschrijving databaseformaat profielmetingen

Regel nr.	Parameter	Eenheid
1	raainummer	raaicode Meetinformatiedienst
2	X coördinaat peilbuis raai	RD-stelsel in meters
3	Y coördinaat peilbuis raai	RD-stelsel in meters
4	rotatiehoek van de raai	nautische graden
5	jaar van opname	jaar
6	maand van opname	maand
7	dag van opname	Dag
8	aantal beschikbare afstandswaarden in de raai	aantal
9	aantal beschikbare hoogtewaarden in de raai	aantal
10-209	200 posities voor afstandswaarden	m. t.o.v. oorsprong raai
210-409	200 posities voor hoogtewaarden	m. t.o.v. NAP

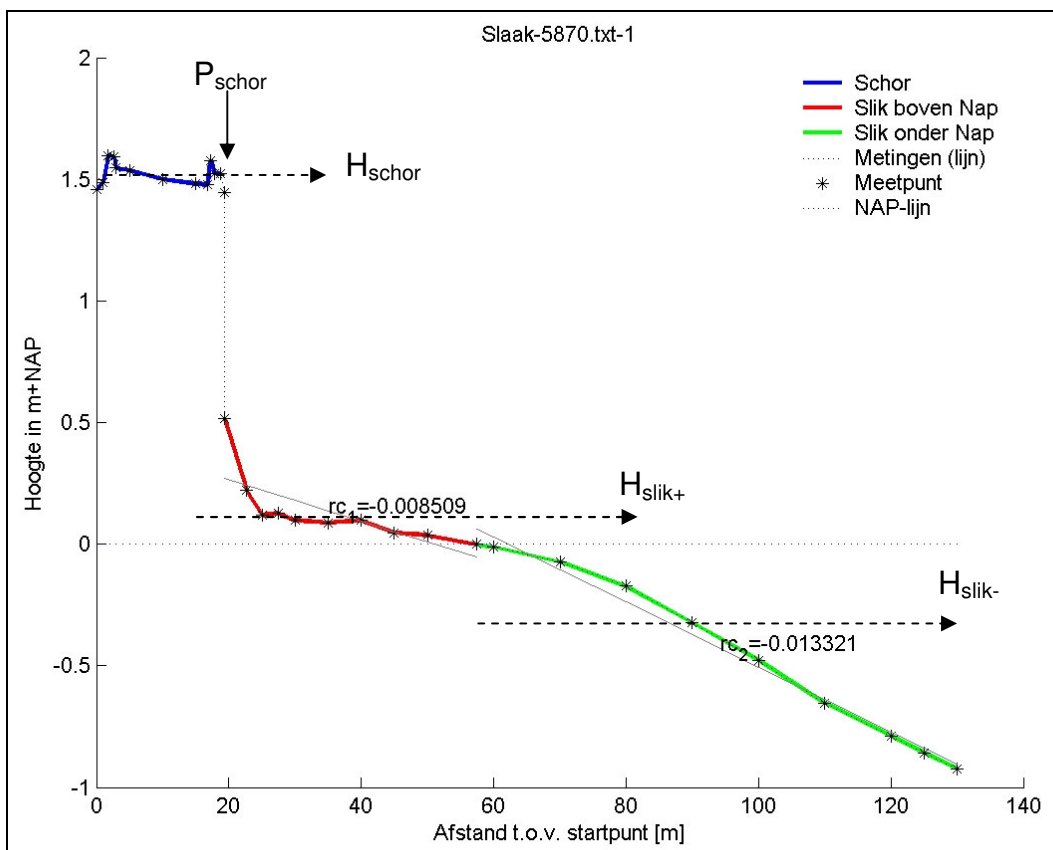
Voor alle raaien zijn de ongebruikte posities ingevuld door dummywaarden. Hierbij is gebruik gemaakt van de in Matlab gangbare "Not a Number" aanduiding "NaN".

4.3 Berekening karakteristieke parameters per raai

Vanuit de numerieke bestanden met de profielmetingen zijn de parameters $H_{\text{slik}+}$, $H_{\text{slik}-}$, H_{schor} en P_{schor} bepaald (zie o.a. figuur 4-2). Hierbij zijn de volgende definities gehanteerd:

- P_{schor} Positie in de raai waar de grootste hoogtevariatie optreedt tussen twee meetpunten (in de raaifiguren wordt deze parameter L_{schor} genoemd!)
- $H_{\text{slik}-}$ Gemiddelde van alle hoogtemetingen tot NAP
- $H_{\text{slik}+}$ Gemiddelde van alle hoogtemetingen vanaf NAP tot aan de schorrand
- H_{schor} Gemiddelde van alle hoogtemetingen vanaf de schorrand.

Ter controle van de correctheid van de parameterberekening zijn ook alle raaien gevisualiseerd m.b.v. Matlab, en zijn de gemiddelde taludhelling over het slik boven NAP en onder NAP berekend ($rc1$ en $rc2$, figuur 4-2).



Figuur 4-2: Voorbeeld schematisatie profielmetingen

De berekende parameters zijn opgeslagen in een resultaatfile waarin de volgende kolommen opgenomen zijn:

Tabel 4-2: Omschrijving resultaatbestand raai-analyse

kolom	parameter	omschrijving
1	Name	profielnummer
2	Datum	opnamedatum
3	N_Datum	numerieke datum
4	Lschor	positie schorrand (m t.o.v. peilbuis)
5	Hschor	hoogteligging schor (m t.o.v. NAP)
6	s1	spreiding in hoogteligging schor (m.)
7	Hslik1	hoogteligging slik boven NAP (m)
8	s2	spreiding in hoogteligging slik boven NAP (m)
9	Hslik2	hoogteligging slik beneden NAP (m)
10	s3	spreiding in hoogteligging slik beneden NAP (m+C24)
11	RC1	gemiddelde helling slik boven NAP (m/m)
12	RC2	gemiddelde helling slik beneden NAP (m/m)

4.4 Berekening ontwikkelingssnelheden per raai

4.4.1 Methode bepaling gemiddelde trend

Om te komen tot een voorspelling van de toekomstige hoogteligging en positie van slikken en/of schorren zijn figuren gemaakt met het verloop van de karakteristieke parameters in de tijd. Voor alle beschikbare raaien is daarna een trendanalyse uitgevoerd. Uit deze trendanalyse, waarin o.a. de afnamesnelheid (per jaar) in de tijd berekend is, blijkt dat er geen sprake is van een versnelling of vertraging. Vrijwel alle raaien vertonen een min of meer lineair gedrag.

Uitgaande van deze lineaire aanname is de gemiddelde trend door de puntwolk berekend. Hierbij is gebruik gemaakt van de kleinste kwadraten methode. Deze methode wordt veel gebruikt om op een snelle en simpele wijze een voorspelling te doen voor y op basis van x . De "beste"lijn die dit oplevert stelt daarbij de lijn voor waarvoor de som van de gekwadrateerde (in dit geval verticale) afwijkingen minimaal is. Om iets te zeggen over de nauwkeurigheid van de op deze wijze gevonden schatting wordt de term *fractie verklaarde variantie* (R^2) gebruikt. De *fractie verklaarde variantie* geeft aan hoeveel spreiding verklaard wordt door de introductie van een lineair regressiemodel van de vorm $y=ax+b$. R^2 ligt in het interval $[0, 1]$. Hoe dichter R^2 bij 1 ligt, hoe groter het aandeel is van de trend in de gevonden variatie (welke ook door andere factoren beïnvloed wordt). Wanneer de trend significant is ($p<0,05$), dan is er een significante toename of afname in de toestand van het schor of slik in de tijd.

De kleinste kwadraten methode is slechts één van de vele methoden om aan data $(x_1, Y_1), \dots, (x_n, Y_n)$ een rechte lijn van de vorm $y=ax+b$ aan te passen. Een groot bezwaar van deze methode is het gebrek aan resistentie, wat wil zeggen dat een verandering in een klein deel van de gegevens tot buitengewoon grote veranderingen in het resultaat leidt. Om een meer resistente methode te vinden is aan de hand van de methode van Siegel geprobeerd het voorkomen van (grote) uitschieters te onderzoeken, en daarmee een betere "beste lijn" door de data aan te passen. Resistentie in deze methode wordt verkregen door gebruikmaking van steekproefmedianen. Siegel's schatter is zeer resistent voor uitwijking in zowel x - als y -richting, maar niet erg nauwkeurig als in werkelijkheid het beperkte model van normale verstoringen wel geschikt is. Voor de data in de Oosterschelde blijkt dat de uitschieters die in de raaidata voorkomen niet groot genoeg zijn om met de Siegel methode een nauwkeurigere schatting te verkrijgen. Daarom is gekozen om gebruik te maken van de eenvoudige maar in dit geval meer nauwkeurige kleinste kwadraten methode.

Deze trendanalyse levert per raai de ontwikkelingsnelheid voor de betreffende parameters, welke weggeschreven wordt naar een resultaatbestand. De opmaak van dit bestand is beschreven in tabel 4-3.

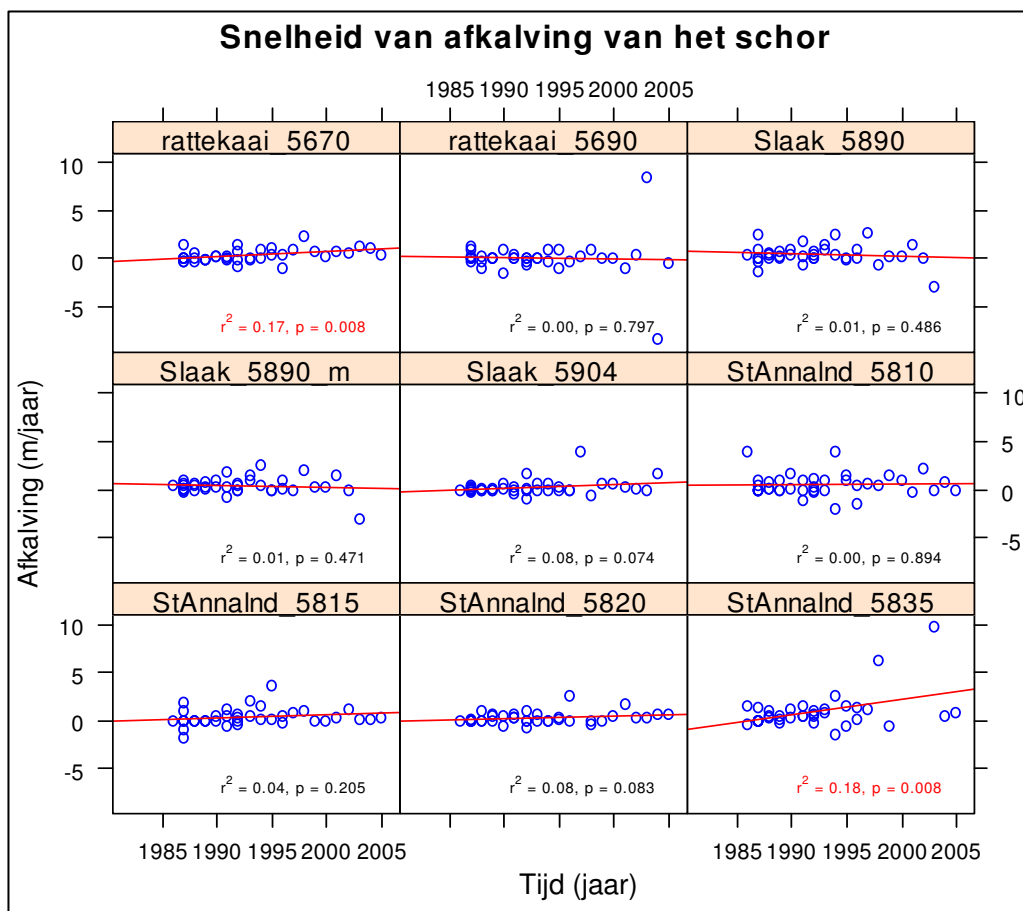
Tabel 4-3: Omschrijving resultaatbestand trendanalyse

kolom	parameter		omschrijving	eenheid
1	name		profielnaam + nummer	
2	n		aantal beschikbare metingen	
3	X1mean	H _{schor}	gemiddelde x-waarde	numerieke datum [jaar]
4	Y1mean	H _{schor}	gemiddelde y-waarde	[m.] of [m. t.o.v. NAP]
5	S1xx	H _{schor}	som van (Xi-Xmean) ²	
6	S1yy	H _{schor}	som van (Xi-Xmean) ²	
7	S1xy	H _{schor}	som van (Xi-Xmean)*(Yi-Ymean)	
8	a1	H _{schor}	Rc van de lijn y=ax+b	[m./jaar]
9	b1	H _{schor}	verticaal snijpunt van de lijn y=ax+b	[m.]
10	R1^2	H _{schor}	fractie verklaarde variantie bepaald als Sxy ² /(Sxx*Syy)	
11 tot 18	par*2	H _{slik+}	idem aan 3 tot 10	
19 tot 26	par*3	H _{slik-}	idem aan 3 tot 10	
27 tot 34	par*4	P _{schor}	idem aan 3 tot 10	
35	as1		verticaal snijpunt van de lijn Ysiegel=bs*X+as	[m./jaar]
36	bs1		Rc van de lijn Ysiegel=bs*X+as	[m.]
37 en 38	as2, bs2		idem aan 35, 36	
39 en 40	as3, bs3		idem aan 35, 36	
41 en 42	as4, bs4		idem aan 35, 36	

In bijlage 2 zijn deze figuren weergegeven voor 9 raaien. De overige raaifiguren zijn beschikbaar op de bijbehorende CD-Rom.

4.4.2 Onderbouwing lineaire trendanalyse

Zoals gezegd vertonen de meeste raaien een lineaire ontwikkelingstrend. Ook kort na de afsluiting van de Oosterscheldekering lijkt de snelheid van afkalving niet significant kleiner geweest te zijn dan in de periode 2001 tot 2005. In figuur 4-3 wordt de afkalvingsnelheid van de schorranden bij Rattekaai, Slaak en Sint Annaland weergegeven vanaf 1985 tot 2005. In deze figuren staat de tijd op de X-as en de verandering in positie van de schorrand (in meters per jaar) op de y-as. De trendlijn geeft de verandering in snelheid van afkalving aan. Een horizontale trendlijn betekent dus een constante afkalving/erosie van de schorrand (let op: geen constante positie van de schorrand). Een oplopende lijn (van links naar rechts) duidt op een versnelling van de erosie, een dalende lijn op een afname van de afkalvingsnelheid.



Figuur 4-3: Verandering in ontwikkelingsnelheid van schorren gedurende de periode 1986 tot 2005 (Alleen de raaien waarvoor langdurige metingen beschikbaar zijn)

Met uitzondering van raai 5835 bij Sint Annaland vertonen de profielen een vrijwel continue afname snelheid. De snelheid van afkalving varieert in de figuren van -1 meter tot +2 meter per jaar. De negatieve waarden duiden niet op een toename van de positie van de schorrand, maar zijn veeleer een aanduiding voor de nauwkeurigheid van de methode. Op basis van de profielmetingen wordt de positie van de schorrand vastgesteld. Het bepalen van het punt in de profielmeting wat benoemd wordt als schorrand is enigszins subjectief. Hierdoor tekent het gedrag van de schorrand zich wat grilliger in de tijd af dan in werkelijkheid opgetreden is.

In raai 5835 lijkt de afkalvingsnelheid in de trendlijn sterk toe te nemen. Hierbij wordt de trendanalyse echter volledig gedomineerd door enkele toevallige uitschieters in 1998 en 2003.

Uit de data-analyse blijkt dat de afbraak van slikken en schorren in een continue tempo verloopt. Hoewel in theorie de erosie van platen en slikken kan versnellen, is een significante versnelling niet te onderbouwen op basis van de huidige profielmetingen. Vanuit dit oogpunt lijkt een voorspelling op basis van een lineaire regressie een goed uitgangspunt. Een uitzondering zijn de gebieden waarbij verwacht wordt dat de belasting in de toekomst aanmerkelijk toe zal nemen door afname van de afscherpende werking van voorliggende platen. Voor deze gebieden is een versnelling fysieke gezien wél mogelijk. In paragraaf 5.3. wordt onderzocht hoe aannemelijk het optreden van een versnelde erosie is.

4.4.3 Ontwikkelingssnelheden op basis van lineaire trendanalyse

De trendanalyse laat per gebied een divers beeld zien: niet alle naastliggende raaien tonen eenzelfde erosiesnelheid. In tabel 4-4 zijn per gebied de gemiddelde ontwikkelingssnelheden per schorgebied weergegeven (over de aanwezige raaien) inclusief de standaardafwijking en maximale erosie. In bijlage 3 zijn de ontwikkelingssnelheden voor alle profielen weergegeven.

Tabel 4-4: Gemiddelde ontwikkelingssnelheden per slik of schor (negatief = afname, positief = toename)

gebied	profiel [nr]	statistische beschrijving	Delta H _{slik-} [cm/jr]	Delta H _{slik+} [cm/jr]	Delta H _{schor} [cm/jr]	Delta P _{schor} [m/jr]
Anna Jacobapolder	5810	gem.	0.63	-1.45	0.69	-2.86
		stdev.	0.00	0.00	0.00	0.00
		max.afname	0.63	-1.45	0.69	-2.86
Dortsman	5530 tot 5630	gem.	-0.09	-0.27	1.86	-1.02
		stdev.	0.20	1.78	0.00	0.62
		max.afname	-0.34	-2.93	1.86	-1.47
Kats	5280	gem.	-0.09	-1.39	-1.57	-2.08
		stdev.	0.00	0.00	0.00	0.00
		max.afname	-0.09	-1.39	-1.57	-2.08
Krabbendijke	5650 en 5660	gem.	0.28	-0.25	0.23	-0.79
		stdev.	0.54	0.30	0.17	0.20
		max.afname	-0.25	-0.54	0.06	-0.99
Rattekaai	5670 tot 5725	gem.	-0.53	-0.26	0.30	-0.44
		stdev.	0.54	1.28	0.38	0.29
		max.afname	-1.07	-2.06	-0.08	-0.73
Slaak	5870 tot 5904	gem.	-1.00	-0.89	-0.06	-0.82
		stdev.	0.44	0.65	0.46	0.36
		max.afname	-1.57	-1.81	-0.77	-1.22
Sint Annaland	5810 tot 5845	gem.	-0.07	0.02	-0.07	-0.78
		stdev.	1.49	0.04	0.35	0.50
		max.afname	-1.81	0.00	-0.86	-1.70
Viane	5740 tot 5765	gem.	0.47	0.30	0.89	-0.29
		stdev.	1.35	2.29	0.26	0.46
		max.afname	-1.36	-3.77	0.63	-0.75
Zandkreek	5310	gem.	-0.47	-1.23	0.54	-0.91
		stdev.	0.00	0.00	0.00	0.00
		max.afname	-0.47	-1.23	0.54	-0.91

Deze analyse laat zien dat gemiddeld genomen de slikken in hoogte afnemen en de schorranden eroderen met 0,5 tot 3 meter per jaar. In gebieden met aanzienlijke golfbelasting neemt de hoogteligging van het slik boven NAP sterker af dan de slikhoogte beneden NAP. Toch laten niet alle profielmetingen een eenduidig gedrag zien. In de onderstaande alinea's wordt de raai-analyse per gebied samengevat.

Anna Jacobapolder

Wat opvalt bij de Anna Jacobapolder is de sterke achteruitgang van de schorrand. Gemiddeld genomen vindt er een afkalving van 2 tot 3 meter per jaar plaats. Het slik verdiept boven NAP en verhoogt beneden NAP, waardoor de gemiddelde slikhelling afneemt.

Dortsman

De slikken van de Dortsman zijn gemiddeld genomen stabiel, maar vertonen zeer lokaal verticale erosie tot gemiddeld 3 centimeter per jaar. De schorrand bij de Dorstman gaat achteruit met gemiddeld 1 meter per jaar.

Kats

De nog aanwezige slikken en schorren bij Kats eroderen zeer snel. De schorrand verplaatst zich met gemiddeld 2 meter per jaar naar achteren. Het slik boven NAP neemt in hoogte sterker af dan beneden NAP, en zal binnen een relatief korte termijn geheel beneden NAP liggen. Dit zal resulteren in een toename van de belasting op de hogere slik- en schordelen. De afname van de gemiddelde schorhoogte wordt veroorzaakt door het vrijwel geheel “verdwijnen” van het hoge slik en schor.

Krabbendijke

De slikken bij Krabbendijke lijken redelijk stabiel. De schorrand verplaatst zich met gemiddeld 80 centimeter per jaar richting de dijk.

Rattekaai

Veldwaarnemingen wijzen uit dat de schorren bij Rattekaai (vooral de oostelijke delen) zeer stabiel zijn. De profielmetingen laten een gemiddelde achteruitgang van de schorrand zien van 40 centimeter per jaar. Alhoewel het schor redelijk stabiel lijkt, is het slik aan het afnemen in hoogte met gemiddeld 0,5 centimeter tot lokaal 2 centimeter per jaar. Deze verdieping kan een versnelling van de schorerosie veroorzaken door een toenemende belasting.

Slaak

De schorrand bij Slaak erodeert met gemiddeld 80 centimeter per jaar. Ook de slikhoogte boven NAP is aan het afnemen waardoor ook hier de golfbelasting op termijn kan toenemen.

Sint Annaland

De slikken bij Sint Annaland lijken gemiddeld genomen stabiel, maar vertonen bij enkele plaatsen wel hoogte afnamen van 1 tot 2 centimeter per jaar. De schorrand verschuift hier met gemiddeld 80 centimeter per jaar richting de dijk.

Viane

De slikken bij Viane vertonen een diffuus beeld. Het slik lijkt gemiddeld genomen iets hoger te worden. Echter de maximale afnamen bedragen 1 tot bijna 4 centimeter per jaar. De schorpositie is redelijk stabiel. Gemiddeld verplaatst de schorrand zich met 30 centimeter per jaar richting de dijk.

Zandkreek

De schorren bij de Zandkreekdam zijn snel aan het afnemen. Per jaar kalft de schorrand met ca. 90 centimeter af. Ook de slikhoogte is integraal aan het afnemen.

4.5 Ruimtelijke analyse hoogtemetingen

4.5.1 *Beschikbaarheid en betrouwbaarheid ruimtelijke data*

Naast de profielmetingen zijn er ook ruimtelijke metingen beschikbaar in de vorm van grid-bestanden. Deze zijn afkomstig uit het lodingenprogramma van Rijkswaterstaat. De hoogtemetingen zijn uitgevoerd m.b.v. waterpassingen of laseraltimetrie, de dieptemetingen zijn scheepslodingen. In bijlage 1 is een overzicht opgenomen van de beschikbare lodingen per slik- of schorgebied. Voor de meeste gebieden zijn twee of drie ruimtelijke opnamen beschikbaar. Voor enkele gebieden zijn er meer opnamen beschikbaar. Een dergelijke geringe hoeveelheid data leent zich niet voor een statistische analyse, zoals beschreven in paragraaf 4-1 tot 4-4, omdat de hoeveelheid metingen over de beschouwde periode te beperkt is voor een betrouwbare trendanalyse. Daarom is gekozen om de gemiddelde ontwikkelingsnelheid per jaar te bepalen per slik of schor. Afhankelijk van de data-analyse kan een gebied opgedeeld worden in meerdere deelgebieden die een vergelijkbare ontwikkeling vertonen.

De betrouwbaarheid van de ruimtelijke opnamen is afhankelijk van het type meting. Scheepslodingen hebben een gemiddelde nauwkeurigheid van +/- 10 centimeter. Bij wat oudere metingen kan deze nauwkeurigheid afnemen tot +/- 20 centimeter. Hoogtemetingen met fotogrammetrie zijn minder nauwkeurig en hebben een bandbreedte van +/- 25 centimeter. Waterpassingen en laseraltimetrieopnamen zijn veel nauwkeuriger en hebben een bandbreedte van minder dan 5 centimeter. (bron: Wim Visser, RIKZ Haren; servicedesk Geo-informatie).

In deze studie worden dus diverse metingen met elkaar vergeleken die elk een eigen betrouwbaarheid hebben. Bij het bepalen van ontwikkelingsnelheden wordt er daarom gekeken naar gemiddelde ontwikkelingen, en worden fluctuaties op kleine schaal buiten beschouwing gelaten.

4.5.2 *Aanpak ruimtelijke analyse*

Voor de ruimtelijke analyses zijn in GIS bodems gemaakt voor het beschikbare gebied boven gemiddeld laag water per beschikbaar jaar. Op basis van deze kaartjes zijn sedimentatie en erosiesnelheden berekend tussen de verschillende opnamen, door het verschil in hoogteligging te delen door het aantal tussenliggende jaren.

Doordat veel morfologische bodempatronen migreren, ontstaan er in verschilbodems altijd verschillen die niet duiden op structurele afnamen of toenames, maar op lokale verplaatsing van sediment (opvulling van poelen en kreken). Voor deze studie zijn we geïnteresseerd in de globale ontwikkeling van de slikhoogte boven en benden NAP. Daarom zijn de verschilbodems achteraf geïnterpoleerd naar een grid met een ruimtelijke resolutie van 50 meter.

Voor schorranden bieden de ruimtelijke vaklodingen geen aanvullende informatie vanwege de beperkte resolutie van de ruimtelijke opnamen (20 meter). Wel zijn hiervoor geomorfologische kaarten beschikbaar waarin de schorpositie aangegeven wordt voor 1983, 1989 en 2000. Deze lijninformatie wordt gebruikt, in aanvulling op de profielanalyses, om de ruimtelijke positie van de schorranden te voorspellen.

4.5.3 Gemiddelde ontwikkelingsnelheden per slik- of schorgebied

In bijlage 4 zijn per slik- of schorgebied kaartjes weergegeven met de ontwikkeling van het betreffende gebied in de tijd. Hierbij zijn in één figuur twee beschikbare bodemopnamen en de jaarlijkse erosie of sedimentatie per jaar weergegeven. De jaarlijkse erosie of sedimentatie is hierbij bepaald volgens formule 4-2.

$$\text{Ontwikkelingssnelheid} = (\text{opname; jaarB} - \text{opname; jaarA}) / (\text{B-A})$$

Formule 4-1: bepaling gemiddelde ontwikkelingsnelheid

Tabel 4-5: Ontwikkelingsnelheden op basis van 2D

gebied	deel	Beschikbare bodemopnamen											Hslik- [cm/jaar]	Hslik+ [cm/jaar]	Bijzonderheden				
		1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999				2000	2001	2002	2003
Anna Jacobapolder	zuidelijk van schorrand verdediging																5 tot 10	-8 tot -5	
	bij schorrandverdediging																-1 tot 1	-5 tot 3	sedimentatie aan oostpunt verdediging
Dortsman	noordelijk van Middelplaat																-5 tot -3	-3 tot -1	sedimentatie bij dijk westpunt stavenissepolder
	Middelplaat																-1 tot 1	-1 tot 1	sedimentatie van uitwateringsgeul
	zuidelijk van Middelplaat																-5 tot -3	-3 tot -1	
Kats																	- tot -	- tot -	(te weinig bodem data)
Krabbenkreek	monding tot aan Mosselkreek - haven st. Annaland																-6 tot -3	-9 tot -5	sedimentatie van Mosselkreek en andere geultjes
	oostelijk van Mosselkreek																-1 tot 1	-4 tot 0	oostwaarts van Johanna Mariapolder is het slik vrijwel stabiel
Slaak	westelijk van Rumoirtschorren																-5 tot -3	- tot -	
	Rumoirtschorren																- tot -	- tot -	(te weinig bodem data)
	westelijk van schorrandverdediging																-7 tot -4	- tot -	
	Rumoirtschorren																- tot -	- tot -	(te weinig bodem data)
	Westelijk van schorrandverdediging																3 tot 6	- tot -	
Speelmansplaten	Rumoirtschorren																-10 tot 5	- tot -	
	Speelmansplaten																-5 tot 3	-5 tot -3	sedimentatie lage delen, erosie hoge delen
	Hooge Kraaijer																-6 tot -2	- tot -	
	Speelmansplaten																-10 tot -2	- tot -	hogere delen -10 tot -5, lagere -5 tot -1
Stavenisse	Hooge Kraaijer																-6 tot -2	- tot -	
																	-8 tot -2	- tot -	
	lager dan NAP-1																-3 tot 0	- tot -	
	hoger dan NAP-1																-16 tot -8	- tot -	
	lager dan NAP-1																-16 tot -8	- tot -	
Verdronken land ZB	hoger dan NAP-1																5 tot 10	- tot -	
	tussen Yerseke en Krabbendijke																-5 tot -1	- tot -	
	oostelijk van Krabbendijke																-3 tot -1	-4 tot -2	
	tussen Yerseke en Krabbendijke																-5 tot -3	- tot -	
Viane	oostelijk van Krabbendijke																-5 tot -3	-4 tot -2	
	westelijk van stroomlijdam																-6 tot -1	- tot -	erosie vooral aan zuidpunt
	oostelijk van stroomlijdam																-3 tot 3	-1 tot 1	erosie aan plaatrand, sedimentatie in stroomgeulen
	westelijk van stroomlijdam																-1 tot 1	- tot -	
	oostelijk van stroomlijdam																-10 tot -5	-4 tot 3	
	westelijk van stroomlijdam																-20 tot -12	- tot -	
Zandkreekdijk	oostelijk van stroomlijdam																-18 tot -10	-13 tot -6	
	noordoever																-3 tot -1	-2 tot 2	geul en plaat verschuiven
	zuidoever																-3 tot -1	-2 tot 2	geul en plaat verschuiven

(negatieve waarden = erosie, positieve waarden = sedimentatie)

In tabel 4-5 zijn de resultaten van de GIS-analyse weergegeven. Opvallend zijn de resultaten van de slikken van Viane. Hierbij laten de ruimtelijke metingen een niet-lineair gedrag zien. De erosiesnelheden lijken na 1993 af te nemen. De opname van 2003 laat in vergelijking met 2001 juist een sterke afname zien van de hoogteligging van het slik. Hier lijkt een versnelling op te treden omdat de plaat gevoeliger wordt voor verticale erosie.

4.5.4 Gemiddelde erosiesnelheden per morfologische eenheid

De ruimtelijke analyse van de beschikbare meetgegevens laat een grote spreiding zien in de jaargemiddelde ontwikkelingen. Deze spreiding wordt aan de ene kant veroorzaakt door systeemprocessen als het migreren van platen en geulen waardoor er grote relatieve verschillen ontstaan. Aan de andere kant geeft de spreiding ook aan dat de analysemethode erg gevoelig is voor veranderingen op korte tijdschalen. Opvallend is bijvoorbeeld dat er tussen 2001 en 2003 blijkbaar grotere veranderingen opgetreden zijn dan in de 10 jaar voor 2001. Hierbij is het maar de vraag of de korte periode tussen 2001 en 2003 representatief genoeg is voor het procesgedrag van de zandhonger. Bij analyse van bodemveranderingen op te korte tijdschalen bestaat de kans dat de resultaten sterk beïnvloed worden door vrij willekeurige *events* als een sluiting van de Oosterscheldekering en/of een zware storm zonder sluiting.

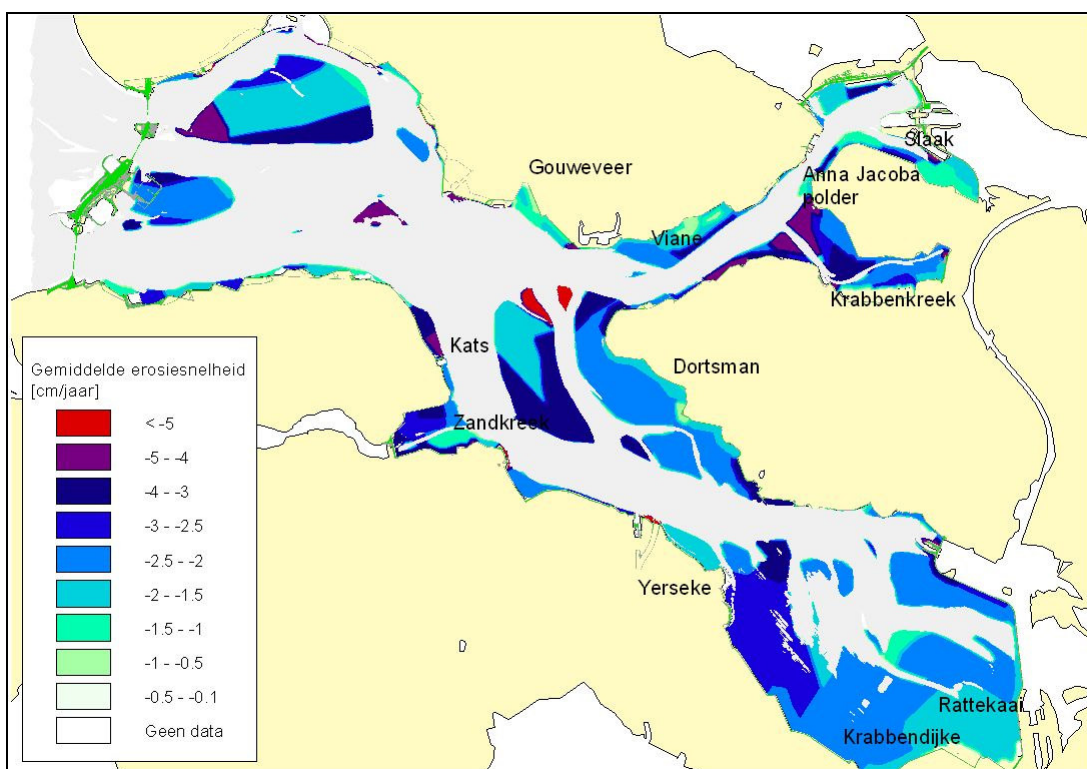
Uit tabel 4-5 blijkt dat het voor de Oosterschelde lastig is om een consistent beeld samen te stellen op basis van verschilkaartjes van de beschikbare bodemmetingen. Het ruimtelijke gedrag, de relatief korte tijdschalen waarop de veranderingen gemeten zijn en de beperkte meetnauwkeurigheid, maken het lastig om een gemiddelde ontwikkelingssnelheid per gebied te bepalen.

In een parallel uitgevoerde studie naar de relatie van zandhonger op veiligheid [Royal Haskoning, 2006] zijn ook bodemprognoses gemaakt voor de te verwachten ontwikkelingen. Hierbij is eerst de gemiddelde erosiesnelheid berekend over een tijdschaal van 10 tot 12 jaar. Aangenomen mag worden dat een dergelijke tijdschaal ook representatief is voor de te verwachten ontwikkelingen in de komende 50 jaar.

Om te komen tot een robuuste schatting van de gemiddelde erosiesnelheid per gebied is in de eerdere studie de volgende aanpak gevolgd:

- de slikken, schorren en platen zijn ingedeeld in morfologische eenheden. Dit zijn gebieden die qua erosiegedrag en fysische kenmerken bij elkaar horen en naar verwachting een vergelijkbare ontwikkeling door zullen maken;
- voor deze gebieden is een gemiddelde ontwikkelingssnelheid bepaald (in centimeters per jaar) voor alle datapunten waarbij op een tijdschaal van 10-12 jaar erosie opgetreden is. De weinige datapunten waarbij sedimentatie opgetreden is, zijn hierbij buiten beschouwing gelaten. Als argument wordt hier aangevoerd dat sedimentatie een tijdelijk fenomeen is wat alleen waargenomen wordt bij geultjes en poelen die opgevuld worden met sediment. Zodra deze opgevuld zijn, en het slik afgevlakt is, zal er ook erosie optreden bij deze slikdelen.

In figuur 4-4 zijn de berekende gemiddelde erosiesnelheden per morfologische eenheid weergegeven in centimeter afname per jaar. Om een vloeiende overgang te garanderen is op het grensgebied tussen twee morfologische eenheden een lineaire interpolatie toegepast. In tabel 4-6 is de gemiddelde erosiesnelheid weergegeven voor de in deze zandhongerstudie beschouwde slikken.



Figuur 4-4 : Gemiddelde erosiesnelheid per morfologische eenheid

Tabel 4-6: Gemiddelde erosiesnelheid in de geanalyseerde gebieden

Gebied	Deel	Gem. ontwikkelingssnelheid per morf. eenheid in cm	
		Hslik- [cm/jr]	Hslik+ [cm/jr]
Anna Jacobapolder	zuidelijk van schorrand verdediging	-3.1	-3.1
	bij schorrandverdediging	-1.3	-1.3
Dortsman	noordelijk van Middelplaat	-2.4	-1.9
	Middelplaat	-2.1	-1.7
	zuidelijk van Middelplaat	-2.2	-3.2
Krabbenkreek	monding tot aan Mosselkreek - haven st. Annaland	-4.5	-2.4
	oostelijk van Mosselkreek	-3.5	-2.3
Slaak	westelijk van Rumoirtschorren	-2.5	
	westelijk van schorrandverdediging	-3.0	-2.1
	Rumoirtschorren	-1.5	-1.0
Speelmansplaten	Speelmansplaten	-2.3	-2.8
	Hooge Kraaijer	-1.8	
Stavenisse	lager dan NAP-1	-3.5	
	hoger dan NAP-1	-4.1	
Verdronken land ZB	tussen Yerseke en Krabbendijke	-2.2	
	oostelijk van Krabbendijke	-1.8	
Viane	westelijk van stroomlijdam	-2.2	
	oostelijk van stroomlijdam	-3.0	-1.7
Zandkreekdam	noordoever	-2.8	-3.5
	zuidoever	-1.1	-3.2

Wanneer er een vergelijking gemaakt wordt tussen tabel 4-5 en 4-6 valt direct op dat de spreiding in waarden voor de gemiddelde erosiesnelheid per gebied drastisch is afgenomen. Dit komt omdat we nu een gemiddelde per gebied bepalen over een langere tijdschaal. Geulverplaatsingen en kortdurende veranderingen beïnvloeden de berekende gemiddelde snelheid per morfologische eenheid vrijwel niet. Verder mag aangenomen worden dat de berekende gemiddelde erosiesnelheid een meer representatieve waarde is dan de visueel geschatte waarden uit tabel 4-5.

Daarom is in overleg met de opdrachtgever ook besloten om eventuele prognoses te baseren op deze gemiddelde ontwikkelingssnelheden.

4.6 Vergelijking profielmetingen en ruimtelijke analyse erosiesnelheden

Op basis van de twee typen databronnen (profielmetingen en ruimtelijke opnamen) zijn ontwikkelingssnelheden bepaald voor alle slik- en schorgebieden die aanliggend zijn t.o.v. de zeeweringen. De profielmetingen geven vooral inzicht in het verloop van erosiesnelheden in de tijd, en de vormverandering van het profiel, maar leveren geen informatie over het ruimtelijke, kustlangse gedrag van de platen en slikken. De ruimtelijke opnamen bieden wel informatie over de grootschalige morfologische ontwikkelingen op een tijdschaal van ca. 5 jaar, maar zijn te beperkt beschikbaar (in de tijd) om uitspraken te kunnen doen over de verandering in ontwikkelingsnelheden. In de profielanalyse is geconstateerd dat het op basis van de profielmetingen aannemelijk is dat de hoogteontwikkeling van het slik lineair zal verlopen. De maximale geconstateerde afnamen bedragen ca. 3 centimeter per jaar (zie ook tabel 4-4).

De ruimtelijke analyse laat een ander beeld zien dan de profielanalyse. De ontwikkelingsnelheden in tabel 4-6 zijn een orde groter dan die van de profielanalyse. In de profielanalyse wordt het slik beschreven door slechts 2 parameters; een slikhoogte boven en onder NAP. Door het verloop van deze parameters in de tijd te volgen ontstaat een beeld over de gemiddelde ontwikkelingssnelheden van deze parameters. Het is echter de vraag in hoeverre deze parameters en de beschikbare korte profielmetingen representatief zijn voor de ontwikkelingen van het gehele slik. De raaien zijn gekozen om de schorranden en geulranden te monitoren, en zijn niet gekozen als representatieve doorsnede van een slik. De ruimtelijke analyse indiceert dat de raai-analyse slechts een ondergrens vormt van de totale ontwikkelingen van de bodem in de Oosterschelde.

Aan de andere kant laat de raai-analyse ook uitschieters zien in erosiesnelheden, maar wordt in de trendanalyse de gemiddelde ontwikkelingssnelheid bepaald op basis van de totale puntenwolk. Incidentele uitschieters beïnvloeden de gemiddelde ontwikkelingssnelheid weinig hoewel de spreiding aanzienlijk kan zijn. Doordat de ruimtelijke analyse slechts gebaseerd is op twee of drie ruimtelijke opnamen is de kans op toevallige uitschieters groter. Bij een meetreeks van 2 of 3 datapunten (opnamen) is de spreiding niet betrouwbaar te bepalen. Als we een gemiddelde waarde van de ontwikkelingssnelheid per jaar bepalen per morfologische eenheid ligt deze wel meer in lijn met de raai-analyse, en bedragen de erosiesnelheden maximaal 4 centimeter per jaar.

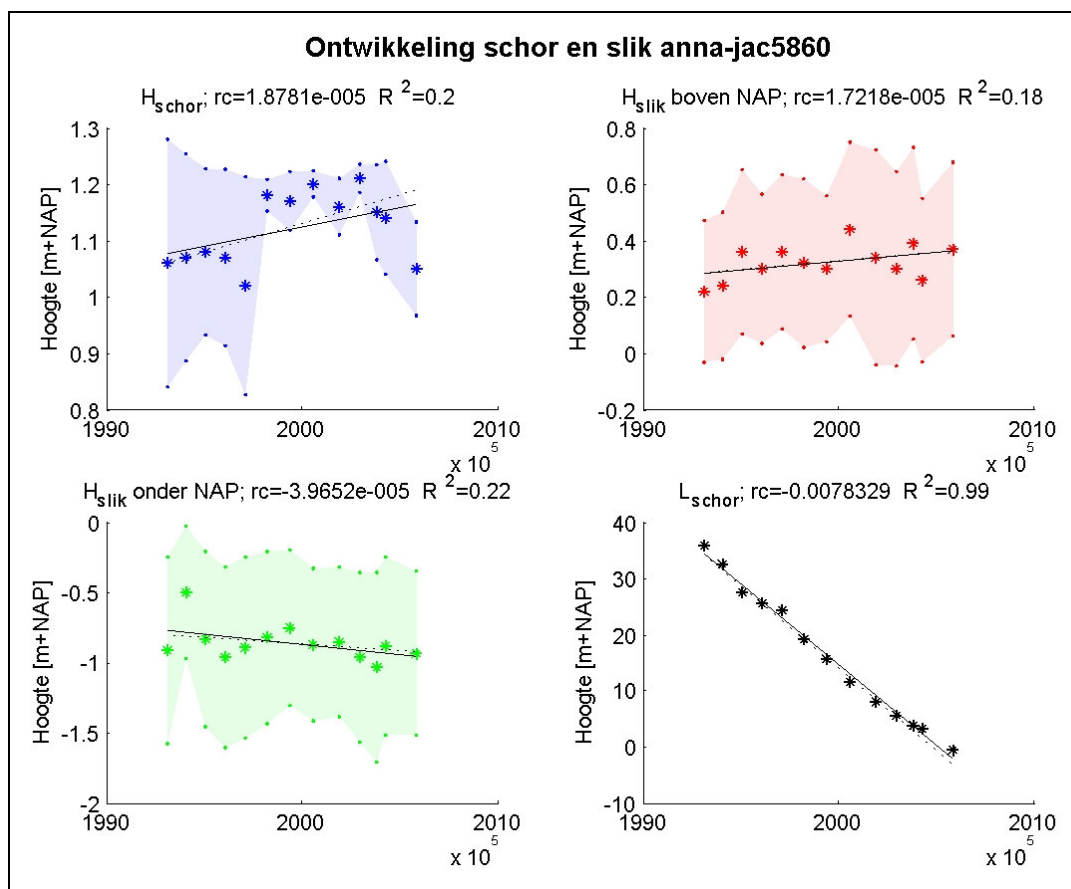
Wel bevestigt de ruimtelijke analyse het beeld dat alle slikken afnemen in hoogte, en dat de hoogteafname in grote lijnen lineair verloopt. De ruimtelijke analyse biedt geen extra informatie over de ontwikkeling van de schorranden. De ruimtelijke resolutie van de beschikbare opnamen is hiervoor te laag (20*20 meter). Ook de aanvullend beschikbaar gestelde bodemmetingen uit 1990 tot 1992 met een resolutie van 5*5 meter bieden onvoldoende zekerheid om de ligging van de schorrand op basis van een ruimtelijke opname vast te kunnen stellen.

5 PROGNOSE ONTWIKKELINGEN SLIKKEN EN SCHORREN

5.1 Van ontwikkelingsnelheid naar prognoses

De data-analyse leert dat vrijwel alle raaien een min of meer lineaire ontwikkeling van de hoogteligging en schorrandpositie laten zien. In het voorgaande hoofdstuk is berekend welke trend deze lineaire ontwikkeling vertoont, en zijn de numerieke eigenschappen van de lineaire trendlijn $y=ax+b$ berekend. Met behulp van deze gegevens kan de ontwikkeling van de parameters lineair geëxtrapoleerd worden naar de komende 55 jaar.

De parameters ($H_{\text{slik+}}$, $H_{\text{slik-}}$, H_{schor} en P_{schor}), waarop de lineaire trendlijn gebaseerd is, zijn gemiddelde waarden van een meting die een natuurlijke spreiding vertonen. Deze spreiding is een maat voor de variatie van de parameter binnen de opname. Zo zal een schor dat doorsneden wordt door een geul een grote spreiding van de waarde H_{schor} vertonen. Dit komt o.a. voor bij de Anna Jacobapolder, waarbij het schor in een gedeelte van de meetreeks doorsneden wordt door een vrij diepe schorgeul. Zodra deze geul verdwijnt, neemt de gemiddelde waarde van de parameter H_{schor} toe, en neemt de spreiding af (zie figuur 5-1). Daarom dient bij prognoses ook de spreiding in ogenschouw genomen te worden. Deze zegt iets over de nauwkeurigheid van de voorspelling.



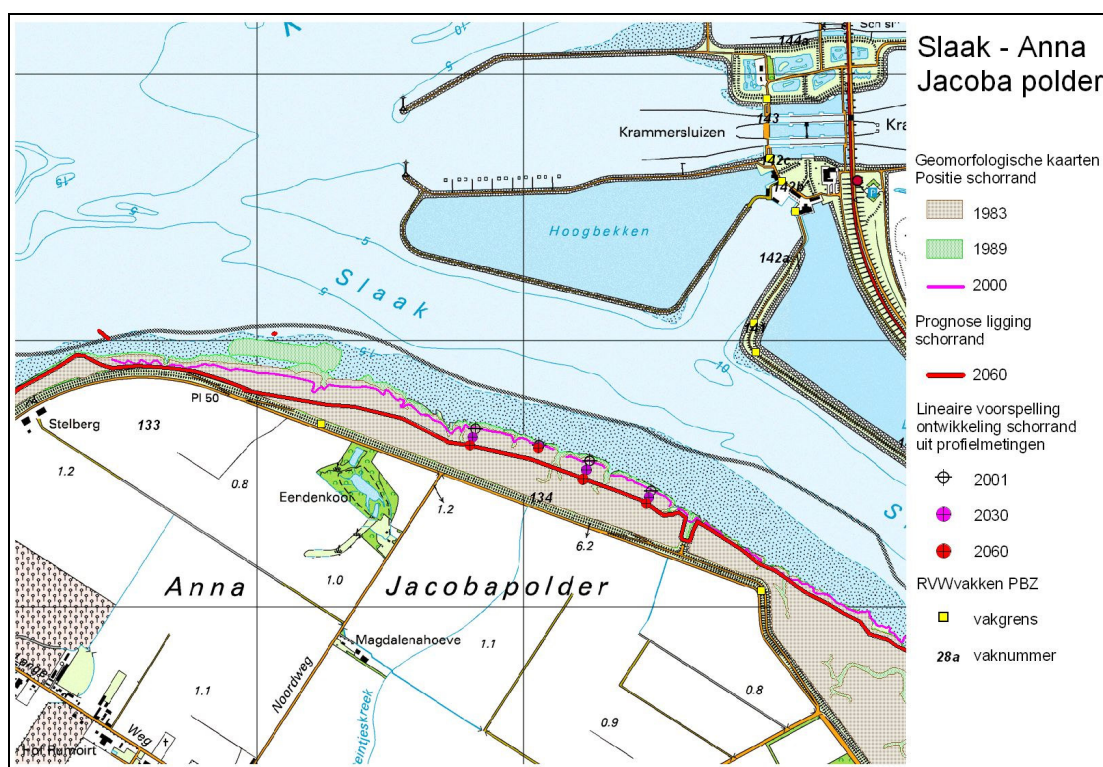
Figuur 5-1: spreiding in karakteristieke parameters (let op $L_{\text{schor}}=P_{\text{schor}}$)

Gegeven de berekende ontwikkelingsnelheid op basis van lineaire regressie kan een prognose gemaakt worden voor toekomstige ontwikkelingen. In bijlage 5 zijn voor 9 profielen prognoses gemaakt voor de ontwikkeling van de karakteristieke slik- en schorparameters tot 2060. Hierbij is ook de betrouwbaarheid weergegeven in de vorm van een 95% betrouwbaarheidsinterval. De overige figuren zijn weergegeven op de bijgevoegde CD.

5.2 Lineaire prognose

5.2.1 Positie schorrand

Schorranden ontstaan onder invloed van golfwerking op het hoge schor, en zijn per definitie aan erosie onderhevig. De data-analyse op basis van de profielmetingen bevestigt dit beeld dan ook. De sterkste achteruitgang van de schorranden treedt op bij de Anna Jacobapolder. In 2060 zal de schorrand ca. 170 meter teruggetrokken zijn. In bijlage 7 zijn per schor figuren weergegeven van de ontwikkeling van de schorrand in 1983, 1989 en 2000 op basis van geomorfologische metingen. In deze figuren is daarnaast aangegeven hoe de schorrand zich zal ontwikkelen op basis van de profielanalyse (voorbeeld; figuur 5-2). Op basis van deze gegevens is een prognose gemaakt van de ligging van de schorrand in 2060. Hierbij is aangenomen dat de afbraak min of meer constant in de tijd verloopt.



Figuur 5-2: Prognose schorrand in 2060 (voorbeeld: Anna Jacobapolder)

In 2060 zal een aanzienlijk gedeelte van de schorren verdwenen zijn. Naar verwachting kunnen de schorren zich alleen op enkele zeer beschutte plaatsen handhaven. Daarnaast blijkt uit de profielanalyse dat de verdedigingen bij Sint Annaland, het Rumoirtschor en Gouweveer effectief zijn. Hier zullen de schorresten zich handhaven.

In tabel 5-1 wordt een overzicht gegeven van de verwachte ontwikkeling van de schorren. Voor exacte afnamesnelheden per profiel wordt verwezen naar bijlage 6.1.

Tabel 5-1: Verwachting schorren 2060

Schor	Status in 2060 (resterende deel)	Gemiddelde breedte 2060
Kats	verdwenen	
Zandkreek	verdwenen	
Krabbendijke	ca. 60% van huidige areaal in hoek bij Stroodorpenpolder. Alleen oostelijke helft dijkvak 70, dijkvak 71a	maximaal 330 meter bij bocht in de dijk
Rattekaai	klein restant aan de westelijke helft van dijkvak 72b breed schor bij dijkvak 73 en 74 restant in hoek tussen dijkvak 76 en 77	ca. 50 tot 75 meter ca. 300 tot 350 meter ca. 200 meter
Dortsman	ca. 50% van huidige areaal in hoek bij hoek dijkvak 105b, 106a schor bij dijkvak 107, 108a verdwijnt geheel	ca. 50 tot 75 meter
Krabbenkreek	schor blijft vrij stabiel. geul in de krabbenkeek kan meanderen.	ca. 400 tot 500 meter
Slaak	het schor aan de slaakweg neemt ca 50% in oppervlak af.	
Anna Jacobapolder	schor bij dijkvak 132b verdwijnt nagenoeg schor bij schorrandverdediging blijft stabiel schor bij dijkvak 134 neemt 50% in oppervlak af	ca. 20 tot 70 meter ca. 70 tot 120 meter
Rumoirtschorren	geringe afname (10-20% oppervlak)	ca. 200 tot 400 meter
Grevelingendam	De nu nog aanwezige schorrand neemt snel af. In 2060 zal dit vrijwel geheel verdwenen zijn	
Viane	oppervlak neemt met ca 60% af	ca. 70 tot 110 meter
Gouweveer	oppervlak neemt met ca 40% af aan de oostkant	ca. 60 tot 100 meter

5.2.2 Hoogteligging schor

Algemeen wordt aangenomen dat schorren in staat zijn om mee te groeien met een eventuele stijging van de gemiddelde waterstand mits er voldoende sediment getransporteerd kan worden naar hogere schordelen (Van Maldegem en de Jong). Bij onvoldoende aanbod aan sediment zal de schorhoogte min of meer stabiel blijven. Uit de profielanalyse blijkt echter dat de gemiddelde hoogteligging van de schorren nu centimeters hoger is dan in 1988. De schorren lijken dus enigszins in hoogte te groeien. Waarschijnlijk vindt er sedimentatie plaats met materiaal afkomstig van de eroderende schorrand. De schorren bij de Dortsman laten een sterke stijging van de schorhoogte zien tot 2060. Lineaire extrapolatie voorspelt dat deze ca. 60 centimeter tot 1 meter in hoogte toe zullen nemen. Dit lijkt echter niet realistisch omdat de sedimentatiesnelheden hoogstwaarschijnlijk afnemen met een toenemende hoogte. In bijlage 6-2 is een overzicht gegeven van de ontwikkeling van de parameters H_{schor} tot 2060. Op basis van deze lineaire analyse kan gesteld worden dat voor de ontwerpen van Projectbureau Zeeweringen geen rekening hoeft te worden gehouden met een eventueel afnemende hoogte van de schorren.

5.2.3 Hoogteligging slik op basis van profielmetingen

De meeste slikken laten een afname zien van het areaal boven NAP. De profielanalyse wijst uit dat alleen bij de Dortsman en Viane slikken voorkomen waarbij sedimentatie plaatsvindt boven NAP. In bijlage 6.3 is een overzicht gegeven van de ontwikkelingssnelheden per raai voor de gemiddelde slikhoogte boven NAP, op basis van de profielanalyse. In 2060 zullen de meeste hoge slikken 30 tot 60 centimeter in hoogte afgenomen zijn.

De diepere slikdelen laten eveneens een afnemende trend zien. De afname tot 2060 varieert hier van 10 tot 30 centimeter bij brede slikken tot meer dan 1 meter bij smalle, sterk aangevallen slikken. In bijlage 6.4 is een overzicht gegeven van de ontwikkelingssnelheden per raai voor de gemiddelde slikhoogte boven NAP, op basis van de profielanalyse.

5.2.4 Hoogteligging slik op basis van ruimtelijke analyses

Zoals eerder aangegeven in paragraaf 4-6 laat de ruimtelijke analyse een sterkere afname zien van de hoogteligging van de slikken in de Oosterschelde. Qua trend is de ontwikkeling op basis van ruimtelijke analyse vergelijkbaar met de raai-analyse; vrijwel overal nemen de slikken sterk af in hoogte. Op basis van de ruimtelijke analyse is ook een kwalitatieve voorspelling gemaakt voor de afname tot 2060. Hierbij zijn de gemiddelde waarden uit tabel 4-6 geëxtrapoleerd naar 2060. In tabel 5-2 worden de resultaten van deze analyse samengevat.

Tabel 5-2: Prognose slikontwikkeling tot 2060 op basis van ruimtelijke analyses (+=toename, -=afname)

Gebied	Deel	Gem. ontwikkelingssnelheid per morf. eenheid		Progose afname slikhoogte in 2060	
		Hslik- [cm/jr]	Hslik+ [cm/jr]	Hslik- [m]	Hslik+ [m]
Anna Jacobapolder	zuidelijk van schorrand verdediging	-3.1	-3.1	-1.83	-2
	bij schorrandverdediging	-1.3	-1.3	-0.77	-0.77
Dortsman	noordelijk van Middelplaat	-2.4	-1.9	-1.42	-1.12
	Middelplaat	-2.1	-1.7	-1.24	-1.00
	zuidelijk van Middelplaat	-2.2	-3.2	-1.30	-1.89
Krabbenkreek	monding tot aan Mosselkreek - haven st. Annaland	-4.5	-2.4	-2.66	-1.42
	oostelijk van Mosselkreek	-3.5	-2.3	-2.07	-1.33
Slaak	westelijk van Rumoirtschorren	-2.5		-1.48	0.00
	westelijk van schorrandverdediging	-3.0	-2.1	-1.77	-1.24
	Rumoirtschorren	-1.5	-1.0	-0.89	-0.59
Speelmansplaten	Speelmansplaten	-2.3	-2.8	-1.36	-1.65
	Hooge Kraaijer	-1.8		-1.06	
Stavenisse	lager dan NAP-1	-3.5		-2.07	
	hoger dan NAP-1	-4.1		-2.42	
Verdronken land ZB	tussen Yerseke en Krabbendijke	-2.2		-1.30	
	oostelijk van Krabbendijke	-1.8		-1.06	
Viane	westelijk van stroomlijdam	-2.2		-1.30	
	oostelijk van stroomlijdam	-3.0	-1.7	-1.77	-1.00
Zandkreekdam	noordoever	-2.8	-3.5	-1.65	-2.07
	zuidoever	-1.1	-3.2	-0.65	-1.89

In 2060 zullen grote delen van de slikken 'verdrongen' zijn en permanent onder water liggen. De geschatte afname in hoogteligging varieert hier van 0,5 meter bij zeer beschutte slikken tot ruim 2 meter bij sterk aangevallen slikken.

De berekende afnamen op basis van lineaire prognoses vormen een bovengrens. Verwacht mag worden dat zodra de slikken en schorren afnemen in hoogte tot onder de golfbasis (ca. gemiddeld laag water – 0,5 meter) de plaathoogte redelijk stabiel blijft. Gemiddeld genomen lijkt een verdieping tot beneden de NAP-3 meter niet aannemelijk omdat de platen bij deze hoogte nauwelijks meer beïnvloed worden door de golven.

5.3 Bovengrens prognose

5.3.1 *Lineaire of meer dan lineaire belastingtoename?*

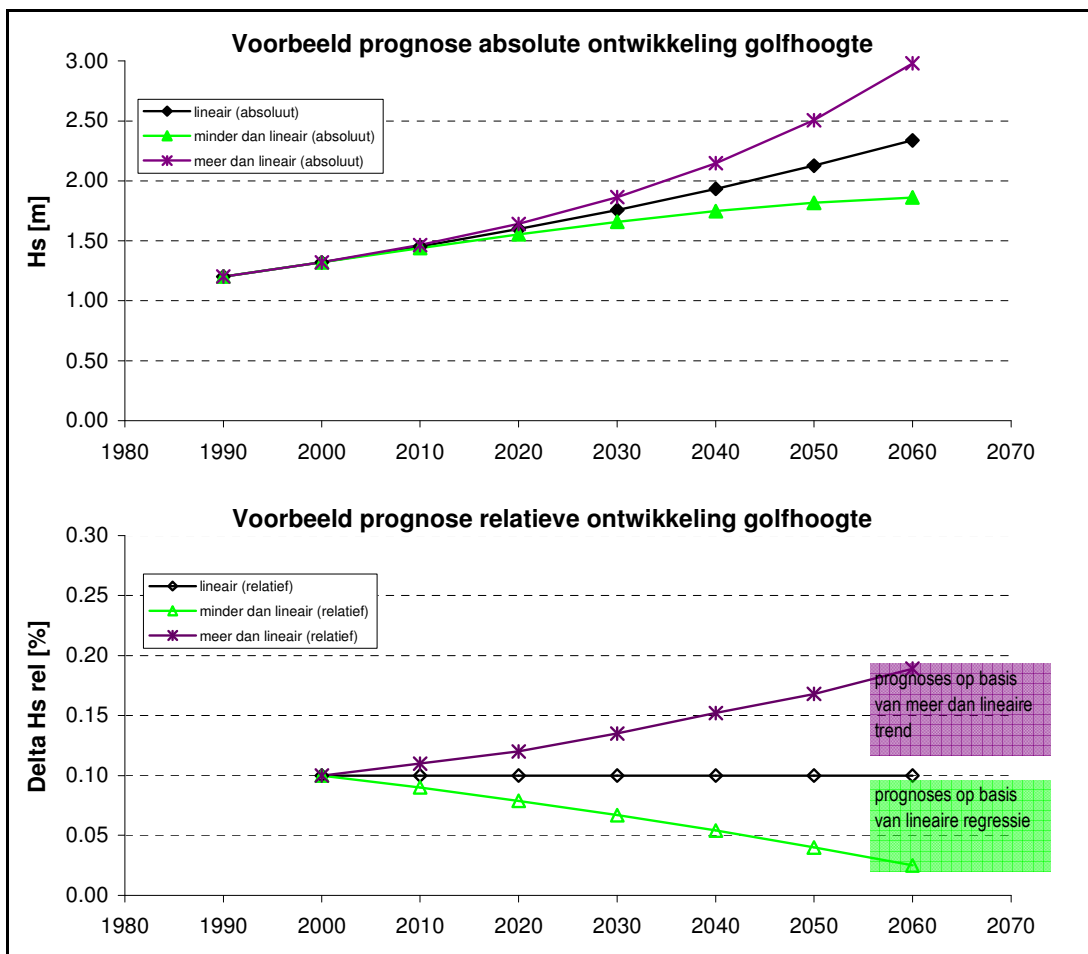
In paragraaf 3.5 is beschreven welke interactie er op zal treden tussen de zandhonger en de versnelling van erosie van schorren en slikken. Een toename van de belasting resulteert automatisch in een toename van de erosiesnelheid. Wanneer we de huidige meetreeksen analyseren is er in vrijwel alle meetraaien sprake van een min of meer lineair gedrag (zie paragraaf 4.4.2). Dit nagenoeg lineaire gedrag wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de lineair toenemende golfbelasting en de steeds voortgaande netto verplaatsing van sediment van ondiep naar dieper water. De lineaire afname van de slikhoogte, en achteruitgang van de schorrand zal zich doorzetten totdat de slikhoogte onder de golfbasis ligt en de erosiesnelheid afneemt.

Slikken en schorren die nu sterk afgeschermd worden door hoge platen kunnen een uitzondering hierop vormen en een niet-lineair ontwikkelingsgedrag gaan vertonen. Hierbij is als hypothese gesteld dat naar verloop van tijd de afschermdende werking van de voorliggende platen sterk afneemt, waardoor de golfhoogte achter de platen meer dan lineair toeneemt. Deze meer dan lineaire toename zou enerzijds toe te wijzen zijn aan de afname van de energiedissipatie op de ondiepere delen van de platen en anderzijds op een toename van de effectieve strijklengte.

Op basis van een expertmeting met morfologen en hydrologen van Rijkswaterstaat zijn een aantal gebieden aangewezen waar mogelijk een meer dan lineair verlopende belastingtoename op zal kunnen treden. Het gaat hierbij om de volgende gebieden:

- slikken van de Dortsman (middengebied), ten gevolge van de verlaging van de Galgeplaat;
- westelijke slikken en schorren in de Krabbenkreek, ten gevolge van het verdwijnen van de hoge slikken in de monding van de Krabbenkreek;
- slikken bij Krabbendijke en Rattekaai, ten gevolge van het afnemen van de hoogte van de bankjes ten Oosten van Yerseke.

In een ander project voor Rijkswaterstaat [Royal Haskoning, 2006 (concept)] zijn golfberekeningen uitgevoerd bij verschillende prognosebodems. Op basis hiervan is af te leiden of er gebieden zijn waar de belasting na verloop van tijd meer dan lineair toeneemt. Is dit niet het geval, dan blijft een lineaire prognose van de slik- en schorontwikkelingen de meest aannemelijke variant. Het principe van de verwachte ontwikkelingstrend van de golfhoogte wordt gedemonstreerd in figuur 5-3. Hierin wordt voor een fictieve locatie een lineair toenemende golfhoogte vergeleken met een minder sterk- en een sterker toenemende golfhoogte.



Figuur 5-3: Voorbeeld ontwikkelingsscenario's golfhoogte

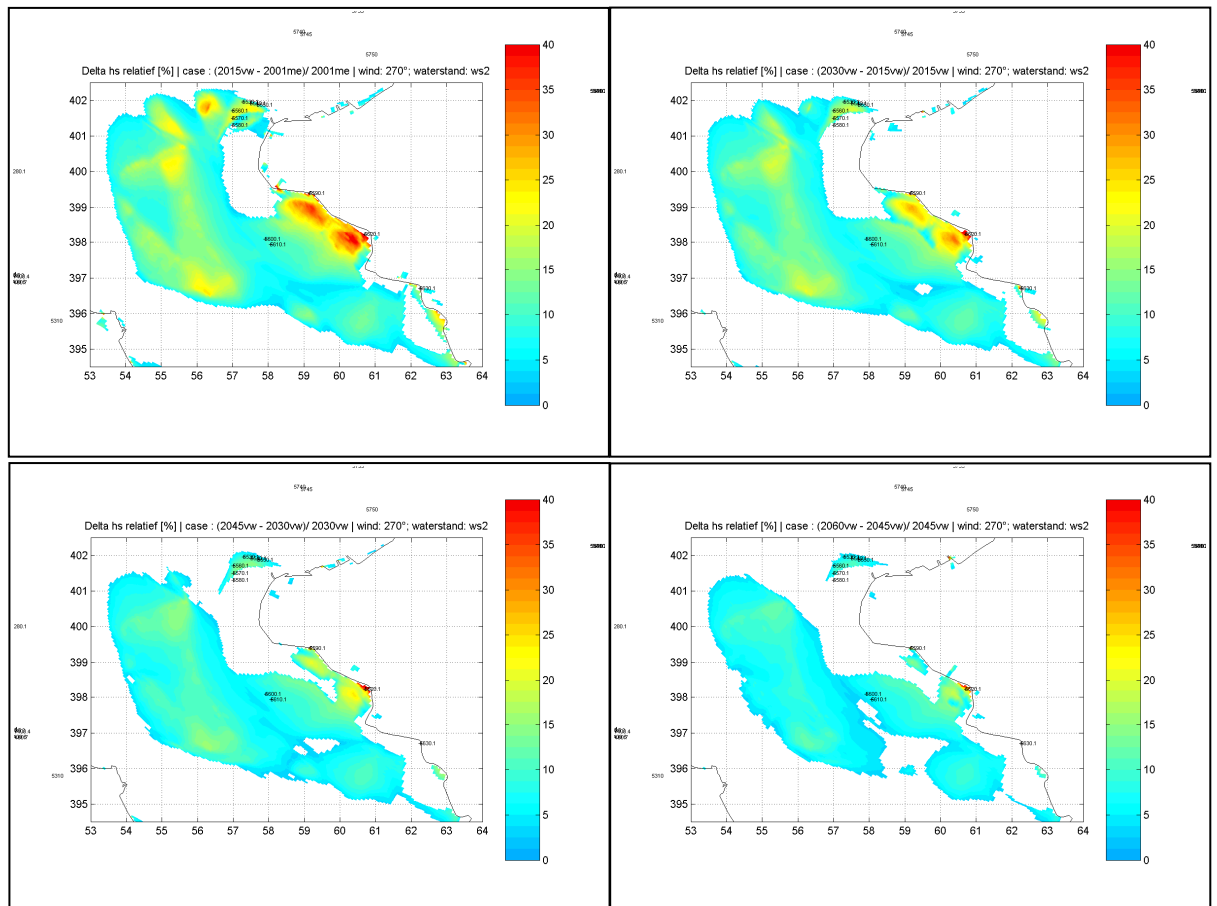
In de volgende paragrafen wordt nagegaan of er gebieden aan te wijzen zijn waarbij de belasting meer dan lineair toeneemt. Voor deze gebieden wordt eventueel ook een bovengrensprognose van de positie van de schorrand en de slikhoogte gegeven.

5.3.2 Kwantitatieve analyse belasting toename

Uit de eerder genoemde studie, waarin de invloed van de afnemende bodemligging op de belasting onderzocht is, zijn golfberekeningen beschikbaar bij hoge windsnelheden voor zuidwestelijke tot noordwestelijke windrichtingen (240°, 270°, 300° en 315°) voor de waterstanden NAP+2 en NAP+4 meter. Deze superstormcondities (een windsnelheid met een 1/4000^{ste} kans van voorkomen met snelheden van ca. 30 tot 35 m/s) zijn niet representatief voor normale stormomstandigheden waarbij sediment in suspensie komt, maar zijn wel goed bruikbaar voor deze studie. De extreme windsnelheden bij een lage waterstand veroorzaken hoge golven. Het effect van een afnemende hoogteligging van een voorliggende plaat op de golfbelasting op het slik zou dan ook bij deze windcondities maximaal merkbaar moeten zijn. De beschikbare berekeningen vormen een bovengrens van de te verwachten effecten onder jaarlijks voorkomende stormomstandigheden.

Dortsman

In figuur 5-4 is de relatieve ontwikkeling van de golfhoogte weergegeven met tijdsintervallen van 15 jaar. Bij een meer dan lineaire trend in de belastingtoename zou er een duidelijke toename moeten zijn van de relatieve toename van de H_s richting 2060.



Figuur 5-4: Dortsman; ontwikkeling golfhoogte (Delta Hs) per interval van 15 jaar

linksboven: toename tot 2015 | rechtsboven: toename tussen 2015 en 2030 | linksonder: toename tussen 2030 en 2045 | rechtsonder: toename na 2045

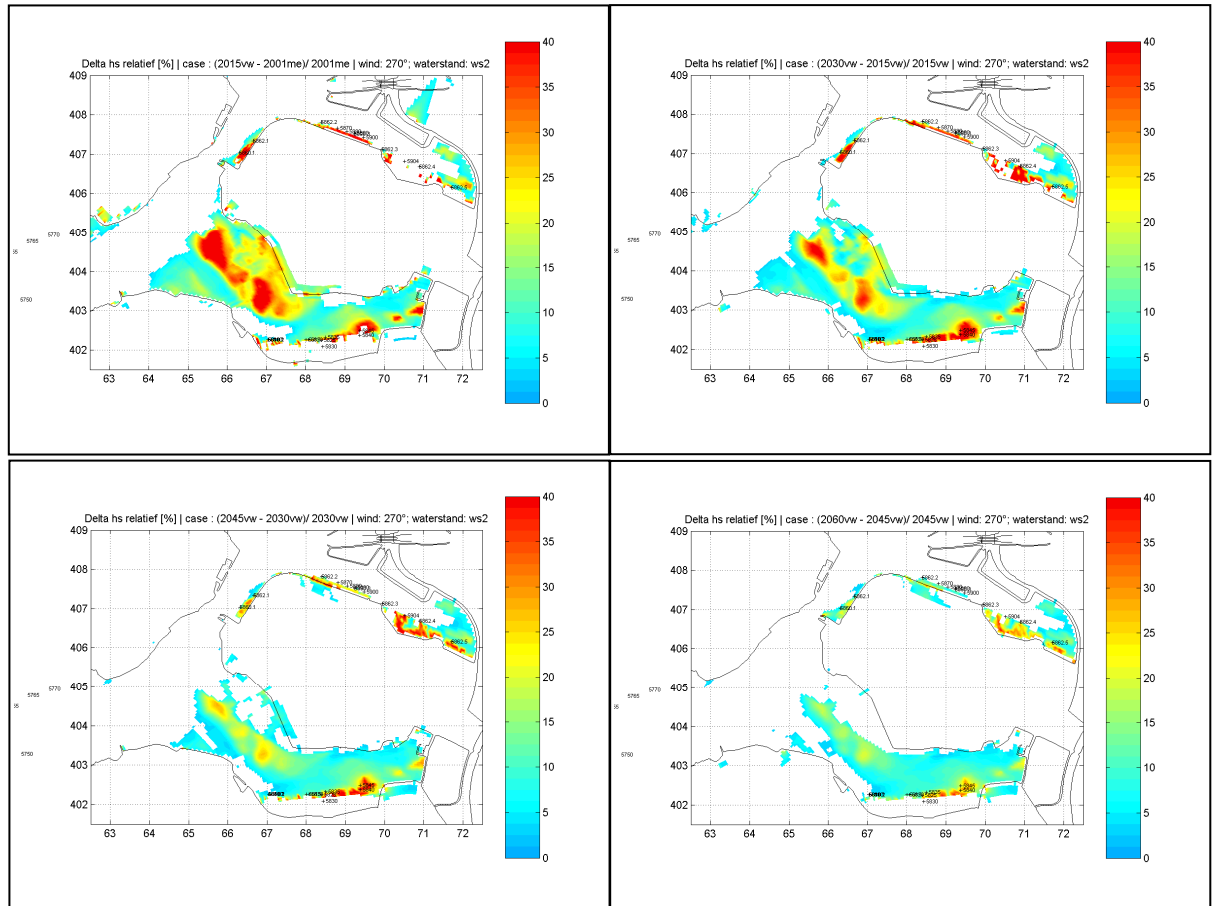
Analyse van de berekende ontwikkeling van de golfbelasting bij de Dortsman leert dat de golfhoogte toeneemt richting 2060. Hierbij vallen de volgende zaken op:

1. In de geul tussen de Galgeplaat en de slikken van de Dortsman neemt de golfhoogte relatief weinig toe;
2. De grootste relatieve toenames worden waargenomen bij de grootste ondieptes van de Galgeplaat en de slikken van de Dortsman;
3. De grootste relatieve verandering treedt op tussen 2001 en 2015. Daarna lijkt de relatieve toename langzaam minder te worden;
4. De golfbelasting op het schor wordt in grote mate bepaald door de lokale hoogteligging van het slik, en veel minder door veranderingen in de wijde omgeving.

Naast de analyse van de relatieve verandering van de golfhoogte, per interval van 15 jaar, zijn in bijlage 8 ook de absolute veranderingen van de golfhoogte in beeld gebracht voor deze intervallen. Daarnaast worden in deze bijlage de relatieve toenames van de golfhoogte weergegeven t.o.v. de uitgangssituatie (2001).

Krabbenkreek en Slaak

In figuur 5-5 wordt de toename van de golfhoogte voor de Krabbenkreek weergegeven.



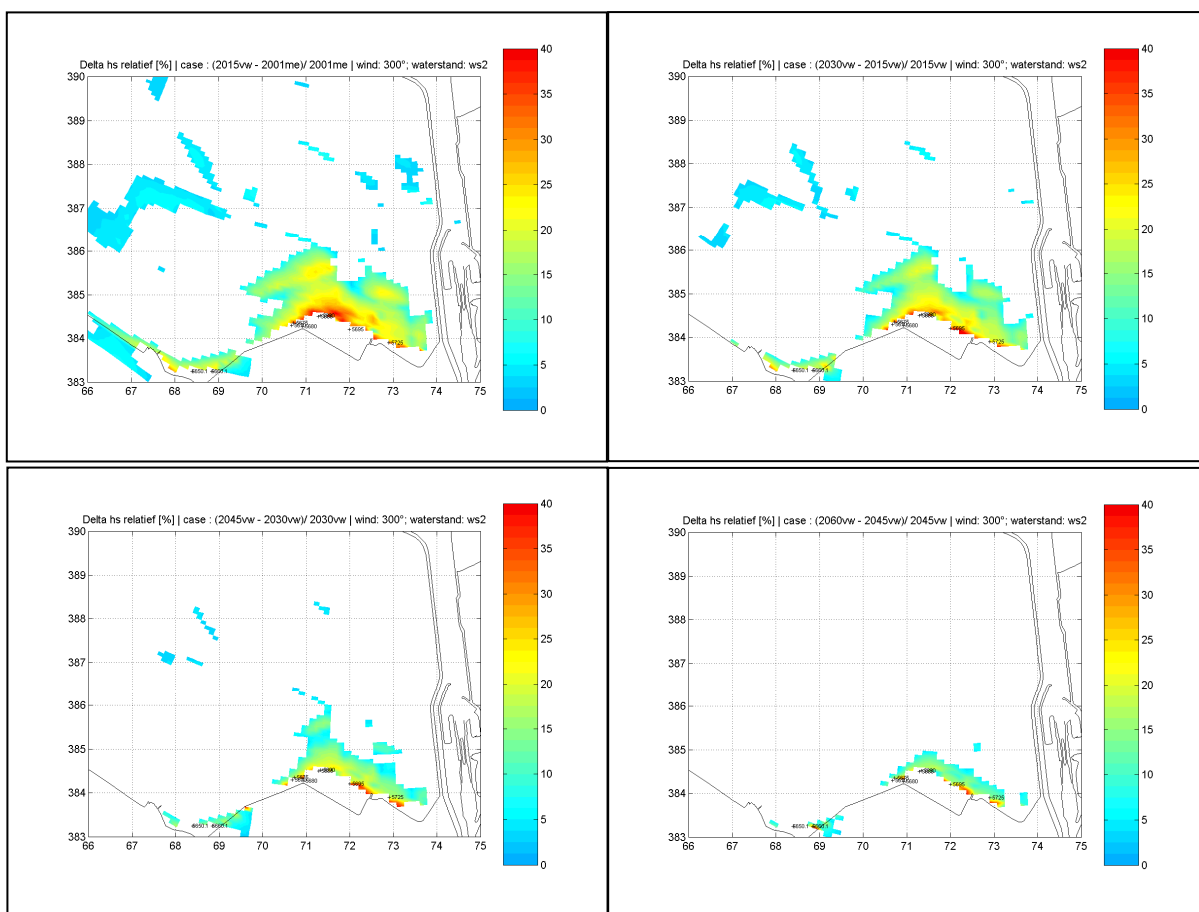
Figuur 5-5: Krabbenkreek en Slaak; ontwikkeling golfhoogte (Delta Hs) per interval van 15 jaar

linksboven: toename tot 2015 | rechtsboven: toename tussen 2015 en 2030 | linksonder: toename tussen 2030 en 2045 | rechtsonder: toename na 2045

Ook de berekening van de relatieve verandering van de golfbelasting bij de Krabbenkreek en Slaak tonen aan dat de golfbelasting weliswaar toeneemt richting 2060, maar zeker niet sterker dan met een lineaire trend. De berekening laat duidelijk zien dat de toename van de golfbelasting in 2060 aan het stabiliseren is. Wel valt duidelijk op dat de relatieve toename van de golfbelasting bij het schor van de krabbenkreek tot 260 nog vrij sterk is.

Rattekaai

In figuur 5-5 wordt eveneens de relatieve ontwikkeling van de golfhoogte weergegeven voor Rattekaai. In tegenstelling tot de eerdere figuren van de Dortsman en Krabbenkreek geeft figuur 5-6 de golfhoogte-ontwikkeling weer voor een noordwestelijke windrichting (300°).



Figuur 5-6: Krabbendijke en Rattekaai; ontwikkeling golfhoogte (Delta Hs) per interval van 15 jaar

linksboven: toename tot 2015 | rechtsboven: toename tussen 2015 en 2030 | linksonder: toename tussen 2030 en 2045 | rechtsonder: toename na 2045

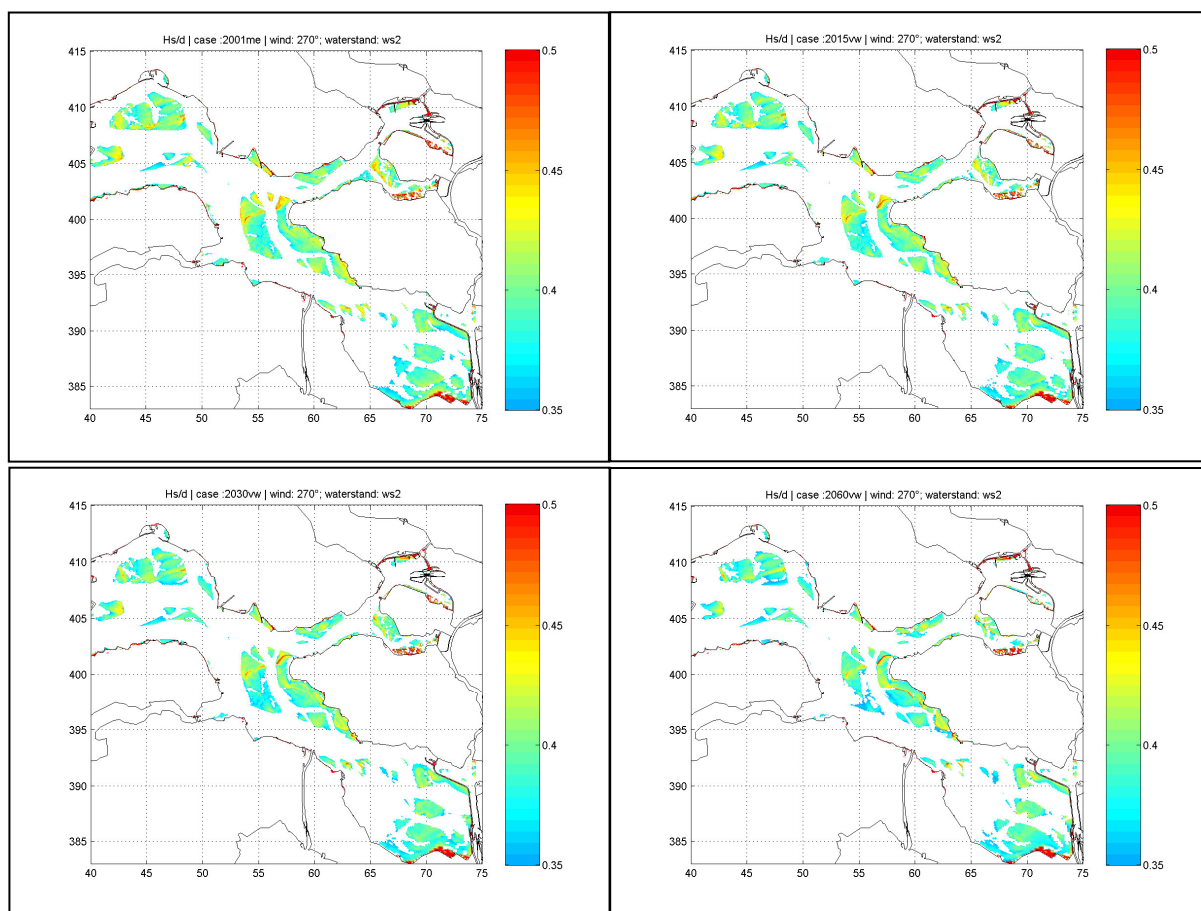
Ook bij Rattekaai valt op dat de grootste relatieve veranderingen optreden in het eerste tijdsinterval van 15 jaar. Ook daarna blijft de belasting toenemen, maar het areaal waarbij de belasting toeneemt, wordt kleiner naarmate het interval verschuift naar 2060. Vooral bij de schorrand blijft de belasting ook in 2060 toenemen. Er is echter nergens sprake van een meer dan lineaire trend in de toename van de golfhoogte.

5.3.3 Verklaring belastingtoename

We begonnen deze studie met de hypothese dat de belasting op sommige locaties meer dan lineair zou kunnen toenemen. Hoewel dit vanuit de theorie vrij sluitend aangetoond is in paragraaf 3.5.2. laten golfberekeningen voor de Oosterschelde een ander beeld zien. De golfhoogte neemt wel toe als functie van de afnemende bodemhoogte, maar ten hoogte met een lineaire trend. De afname van de bodem tot 2001 en tot 2015 zal relatief veel invloed hebben op de golfhoogte. De slikken liggen in deze periode nog grotendeels droog bij laag water en de golfhoogte op de slikken is sterk dieptebeperkt. Door de afnemende bodemligging neemt in het begin de golfhoogte evenredig toe met de toename van de waterkolom. Zodra echter de waterkolom te hoog wordt (omdat het slik sterk afgenomen is in hoogte), zijn de golven niet meer (geheel) dieptebeperkt en heeft een verdere afname van de bodemligging minder effect op de ontwikkeling van de golfhoogte.

De golfhoogte wordt vanaf dit punt ook bepaald door de strijklengte en de windsnelheid. Zolang de effectieve strijklengte niet significant toeneemt, zal de golfhoogte toename stabiliseren.

In figuur 5-7 is als voorbeeld de ontwikkeling van de relatieve golfhoogte (golfhoogte / diepte) weergegeven voor de hele Oosterschelde. Hierbij is de relatieve golfhoogte weergegeven vanaf het moment van breken op diepte. Als ondergrens voor breken op diepte is $Hs/d=0.35$ aangehouden. Duidelijk zichtbaar is dat de golven bij de prognose voor 2060 minder beperkt zijn door de diepte als bij de gemeten bodem van 2001. Met andere woorden: de golven hebben de afname van de hoogte van platen en slikken niet maximaal gevolgd. In bijlage 9 zijn deze figuren ook vergroot weergegeven.



Figuur 5-7: Oosterscheldebekken; ontwikkeling relatieve golfhoogte (Hs/d) per interval van 15 jaar

Linksboven: Hs/d bij gemeten bodem 2001 | rechtsboven: : Hs/d in 2015 | linksonder: : Hs/d in 2030 | rechtsonder: : Hs/d in 2060

De relatieve golfhoogte (Hs/d) op de hoge platen en slikken neemt af richting 2060. Dit betekent dat de toename van de golfhoogte in de geulen achter de platen en boven de slikken niet lineair toeneemt met de erosie van hoge platen en slikken. Op de lager liggende delen van bijvoorbeeld de Galgeplaat breken de golven bij de prognosebodem van 2060 nauwelijks meer. Bij de slikken van de Dortsman is voor de lagere slikken (rondom de Middelplaat) ook een afnemende Hs/d verhouding te zien. Bij de hoger gelegen slikken van de Dortsman en van Rattekaai lijkt de Hs/d gelijk te blijven of zelfs licht toe te nemen.

Dit wordt veroorzaakt door het feit dat op deze locaties de bodem ook niet verdiept. Na 2015 heeft de zandhonger de hier aanwezige veen- en kleibanken bereikt die nagenoeg erosiebestendig zijn. De erosie zal bij deze locaties dan ook tot stilstand komen. Bij de klifrand die ontstaat bij deze erosiebestendige banken zal de mate van brekingsintensiteit toenemen.

Daarnaast tonen de figuren ook aan dat de invloed van de hoge platen op de golfhoogte van achterliggende slikken en schorren (o.a. de Dortsman) relatief gering is. De golfhoogte wordt hier meer bepaald door de lokale bodemligging van de lager gelegen slikken dan door de afscherpende werking van de hoge platen.

In de uitgevoerde berekeningen is aangenomen dat de erosie stopt bij een niveau van NAP-3 meter omdat de platen dan nagenoeg onder de golfbasis verdwenen zijn. Dit is duidelijk zichtbaar in de figuren van de relatieve golfhoogte. De Vuilbaard zal in 2015 onder de golven verdwenen zijn en een hoogte hebben van maximaal NAP-2,5 meter. In de berekeningen met een 1/4.000^{ste} windsnelheid en een waterstand van NAP+2 meter zal de relatieve golfhoogte bij deze plaat maximaal 0,43 bedragen. Onder normalere stormomstandigheden zal deze echter lager zijn en richting de 0,3 gaan. Dit betekent dat er nauwelijks golfgedreven verticale erosie op zal treden en de plaathoogte zal stabiliseren.

5.3.4 *Conclusies ten aanzien van bovengrensprognose schor- en slikontwikkelingen*

De uitgevoerde berekeningen tonen aan dat de golfbelasting op de slikken en schorren geleidelijk toeneemt naarmate de bodemligging afneemt. Zodra de bodemhoogte beneden laag water komt, begint de toename van de golfhoogte te stagneren. Daarnaast tonen de berekening aan dat de afscherpende werking van de hoge platen op de hoger gelegen slikken en schorren gering is. De kans lijkt groter dat de belastingtoename afvlakt richting 2060 dan dat deze ook constant blijft of toeneemt.

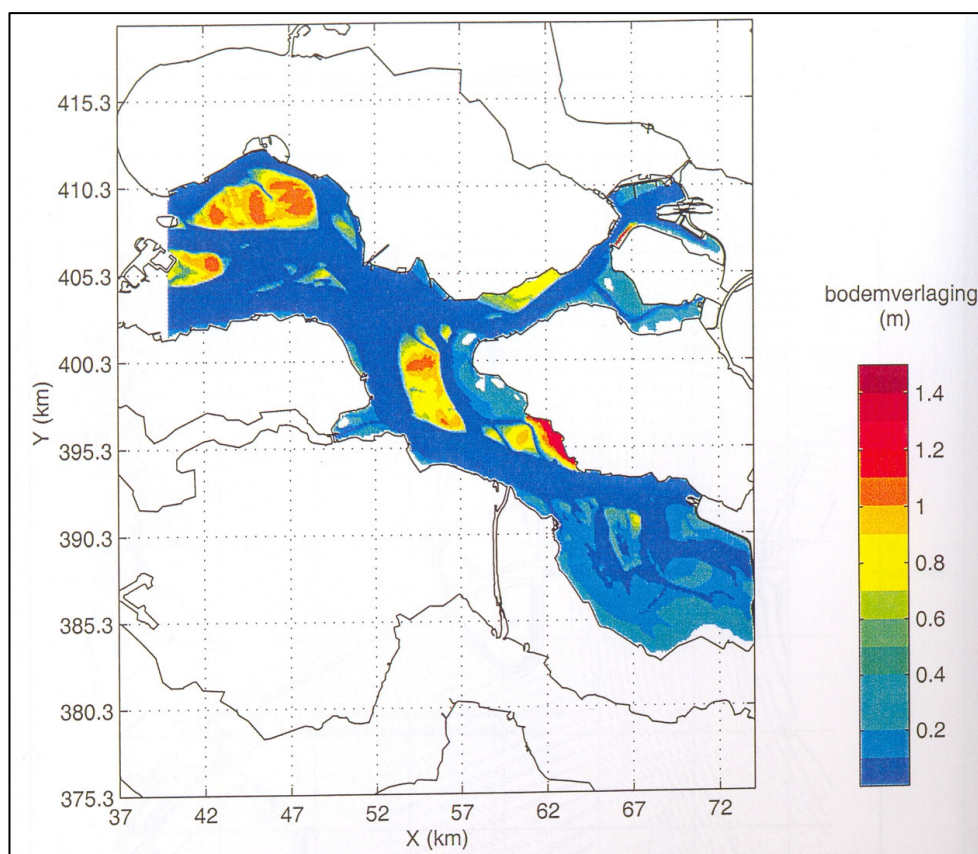
In de beschrijving van het prognosemodel is beargumenteerd dat een lineair toenemende golfbelasting als gevolg zal hebben dat de slikhoogte en de positie van de schorrand meer dan lineair zullen toenemen. De metingen tonen echter aan dat de huidige ontwikkelingssnelheid vrij lineair verloopt. Als we deze redenering volgen, indiceert de lineaire trend in de slikhoogte en positie van de schorrand een afvlakkende belastingtoename. Met andere woorden: het geconstateerde lineaire gedrag van de slikken en schorren wordt veroorzaakt door een geleidelijk toenemende belasting die maximaal lineair toeneemt.

Voor de Oosterschelde kan dus gesteld worden dat de uitgevoerde lineaire regressie een redelijke bovengrens vormt voor de te verwachten schor- en slikontwikkelingen. Op grond hiervan verwachten wij dan ook dat de eerder gepresenteerde lineaire prognoses een robuust uitgangspunt vormen voor ontwerpdoeleinden.

6 SCHOR- EN SLIK PROGNOSES VERSUS ONTWERPUITGANGSPUNTEN

6.1 Ontwerpuitgangspunt afname hoogteligging

In 1996 heeft het Projectbureau Zeeweringen opdracht gegeven aan het RIKZ om ontwerpwaarden voor steenbekledingen te berekenen voor alle dijken aan de Westerschelde en Oosterschelde. Bij de voorbereiding van deze intensieve rekenexercitie was duidelijk dat vooral de ontwerpbodem van de Oosterschelde niet eenvoudig te bepalen zou zijn uit de meest recente metingen. Op basis van de beschikbare meetgegevens is in 1997 een prognose gemaakt van de verwachte afname van platen en slikken in de Oosterschelde tot 2060 [Roelse en Bollebakker, 1998]. Uit deze analyse bleek dat het verstandig was om voor de hoge platen uit te gaan van een erosie van 1 tot 1,5 meter, en voor de slikken rekening te houden met een afname van 0,5 tot 1,0 meter. In overleg met Projectbureau Zeeweringen en het Waterschap is gekozen om een verlaging van 1,0 meter voor de hoge platen en 0,25 tot 0,5 meter voor de slikken toe te passen. Daarnaast zijn de schorren van de Dortsman en Viane verlaagd met 0,5 meter. Figuur 6-1 is afkomstig uit het rapport met ontwerpwaarden voor de Oosterschelde [Kamsteeg e.a., 2001] en geeft de uiteindelijk toegepaste bodemverlaging weer.



Figuur 6-1: Toegepaste bodemverlaging ontwerpbodem Oosterschelde

6.2 Vergelijking ontwerpuitgangspunten met prognoses

De bodemopnamen van 2001 en 2003 indiceren dat t.o.v. de gehanteerde bodems uit 1990 tot 1995 een relatief groot deel van de toegepaste bodemverlaging al opgetreden is. De toegepaste bodemverlaging in de kom van de Oosterschelde (oostelijk van Yerseke) was in 2001 al grotendeels opgetreden. De bodem is hier tussen 1993 en 2001 verlaagd met 20 tot 30 centimeter.

Ook andere delen laten een sterkere erosie zien dan destijds aangenomen bij de berekeningen. Voor de slikken van de Dortsman is weliswaar een correctie toegepast van -1 meter op de hoogteligging van het slik. In de periode tussen 1991 en 2001 is hier al een bodemverlaging opgetreden van 25 tot 30 centimeter. In tabel 6-1 is een vergelijking gemaakt tussen de prognoses op basis van de ruimtelijke analyse (tabel 5-2) en de toegepaste bodemverlaging in de modelberekeningen.

Tabel 6-1: vergelijking toegepast correctie bodemhoogte en prognose 2060

Gebied	Deel	Gem. ontwikkelingsnelheid per morf. eenheid		Prognose afname slikhoogte tot 2060		Toegepaste bodemverlaging zeeweringen
		Hslik- [cm/jr]	Hslik+ [cm/jr]	Hslik- [m]	Hslik+ [m]	
Anna Jacobapolder	zuidelijk van schorrand verdediging	-3.1	-3.1	-1.83	-2	-25 tot -50
	bij schorrandverdediging	-1.3	-1.3	-0.77	-0.77	-25 tot -50
Dortsman	noordelijk van Middelplaat	-2.4	-1.9	-1.42	-1.12	-25 tot -50
	Middelplaat	-2.1	-1.7	-1.24	-1.00	-25 tot -50
	zuidelijk van Middelplaat	-2.2	-3.2	-1.30	-1.89	-0.75 tot -1.0
Krabbenkreek	monding tot aan Mosselkreek - haven st. Annaland	-4.5	-2.4	-2.66	-1.42	-25 tot -50
	oostelijk van Mosselkreek	-3.5	-2.3	-2.07	-1.33	-25 tot -50
Slaak	westelijk van Rumoirtschorren	-2.5		-1.48	0.00	-25 tot -50
	westelijk van schorrandverdediging	-3.0	-2.1	-1.77	-1.24	-25 tot -50
	Rumoirtschorren	-1.5	-1.0	-0.89	-0.59	-25 tot -50
Speelmansplaten	Speelmansplaten	-2.3	-2.8	-1.36	-1.65	-25 tot -50
	Hooge Kraaijer	-1.8		-1.06		-25 tot -50
Stavenisse	lager dan NAP-1	-3.5		-2.07		-25 tot -50
	hoger dan NAP-1	-4.1		-2.42		-25 tot -50
Verdronken land ZB	tussen Yerseke en Krabbendijke	-2.2		-1.30		-25 tot -50
	oostelijk van Krabbendijke	-1.8		-1.06		-25 tot -50
Viane	westelijk van stroomlijdam	-2.2		-1.30		-25 tot -50
	oostelijk van stroomlijdam	-3.0	-1.7	-1.77	-1.00	-0.75 tot -1.0
Zandkreekdam	noordoever	-2.8	-3.5	-1.65	-2.07	-25 tot -50
	zuidoever	-1.1	-3.2	-0.65	-1.89	-25 tot -50

6.3 Evaluatie uitgangspunten

De gebiedsdekkende bodemopnamen uit 2001 tonen aan dat de afname van de bodemhoogte t.g.v. de zandhonger sneller gaat dan aangenomen is voor de berekeningen van de ontwerpwaarden voor het Projectbureau Zeeweringen. Voor een aantal gebieden is de aangenomen afname van de bodemhoogte al in 2001 bereikt.

Ook de analyse, die weliswaar berust op een zeer beperkte dataset, indiceert dat de afname van plaat- en slikhoogte sneller gaat dan verwacht. Gesteld kan worden dat als in 1995-1998 de huidige kennis van het gedrag van de Oosterschelde als gevolg van de afsluiting voorhanden geweest was, er wellicht een conservatievere aanname gedaan was ten aanzien van de bodemafname.

Voor de meeste gebieden mag wel verwacht worden dat de afname van de slikken stabiliseert bij NAP-2.5 tot NAP -3 meter. Een relatief groot deel van de slikken zal dit eindstadium al bereikt hebben voor 2060.

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Wat zijn de uitkomsten van deze studie?

Als gevolg van het afsluiten van de Oosterscheldekering en het verkleinen van de komberging door de bouw van compartimenteringdammen zijn de getijdensnelheden in de Oosterschelde sterk afgenomen. Hierdoor vindt er geen netto opbouw van slikken meer plaats terwijl de golfwerking gelijk gebleven is, of zelfs is toegenomen. De slikken nemen hierdoor per saldo af in hoogte, waardoor de aanwas van jonge schorren op hoge slikdelen minder goed mogelijk wordt. Ook is de aanvoer van sediment naar hogere slikdelen sterk afgenomen omdat vrijwel al het sediment terecht komt bij de geulwanden.

Op basis van beschikbare profielmetingen uit de database van de Meetinformatie Dienst van Rijkswaterstaat Zeeland is geanalyseerd hoe de schorren en slikken ontwikkelen in de Oosterschelde. De schorren laten overal een sterke teruggang van de schorrand zien. De slikken nemen ook in hoogte af.

De geconstateerde ontwikkeling zet zich komende tijd onverminderd voort. Analyse van de beschikbare profielmetingen laat geen vertraging van de ontwikkelingsnelheden zien. Anderzijds geeft de raai-analyse ook geen reden om een versnelling van de ontwikkelingen te verwachten. Berekeningen van de toekomstige golfbelasting (rekening houdend met de gevolgen van zandhonger) tonen aan dat de golfbelasting op de slikken en schorren toe zal nemen. De toename van de belasting verloopt echter niet lineair met de bodemafname. Hierdoor ligt het in de lijn van de verwachting om aan te nemen dat een lineaire prognose een bovengrens vormt voor de toekomstige situatie. De huidige erosiesnelheden zullen afnemen zodra de slikken en platen lager worden dan gemiddeld laag water. De afname in hoogteligging van de slikken zal stabiliseren zodra deze rond gemiddeld laag water komen te liggen. De belastingduur neemt dan significant af. Verwacht wordt dat een groot deel van de slikken in 2060 dit eindstadium bereikt zal hebben en een diepte zal hebben van NAP-2,5 meter tot NAP-3,0 meter.

Desondanks mag, op basis van de profielanalyse, verwacht worden dat de schorren bij Kats, de Zandkreek, de Dortsman en de Grevelingendam vrijwel geheel verdwenen zijn in 2060. De overige kleine schorren zijn dan gemiddeld 40 tot 60% in oppervlak afgenomen. Alleen de grote schorren bij de Rattekaai, het Rumoitschor en de Krabbenkreek zullen zich grotendeels handhaven tot in 2060. Deze grote schorren nemen ca. 10 tot 20% in oppervlak af. Prognose van de ontwikkeling van de slikhoogte, op basis van lineaire trendanalyse van de profielmetingen, indiceert dat de meeste slikken afnemen in hoogte met 0,5 tot 1,5 meter tot 2060. De ruimtelijke analyse blijkt dit beeld te bevestigen, en duidt op nog sterkere afnamen van de slikhoogte.

Voor de (ontwerp)randvoorwaarden die het Projectbureau Zeeweringen hanteert, is een correctie toegepast voor de bodemhoogte. De ruimtelijke analyse geeft aan dat de te verwachten bodemverlaging groter is dan tot dusverre is aangenomen.

7.2 Aanbevelingen voor het gebruik van de resultaten van deze studie

Deze studie laat zien dat er op basis van de huidige kennis verwacht mag worden dat de slik en schorerosie sneller gaat dan eerder aangenomen is. Aanbevolen wordt om nader te onderzoeken in hoeverre de geconstateerde ontwikkeling van platen, slikken en schorren daadwerkelijk kan leiden tot een toename in de golfbelasting voor 2060 nabij de waterkeringen. Voor gebieden waarbij de golven sterk bepaald worden door de bodemligging kan deze studie leiden tot een andere keuze van ontwerpwaarden.

De geconstateerde ontwikkelingen moeten gezien worden als nieuwe inzichten die ontstaan tijdens de uitvoering van een lang lopend project. Wellicht zou er, op basis van deze inzichten, gekozen zijn voor een andere benadering van de ontwerpwaarden voor de zeeweringen. Dit wil echter nog niet zeggen dat de in uitvoering zijnde versterking nutteloos is, of dat de aangelegde zeeweringen niet voldoen aan de toetsingseisen. Op diverse punten zijn er in het ontwerpproces robuuste aannamen gedaan t.a.v. de golfcondities, en verwacht mag worden dat de huidige toetswaarden in de Hydraulische Randvoorwaarden minimaal 5 tot 10% lager zullen zijn dan de ontwerpwaarden van zeeweringen. Bovendien worden ook aan de sterktekant marges toegepast in het ontwerp. Zo wordt o.a. de benodigde steendikte naar boven afgerond op 5 centimeter.

De voorliggende studie heeft in dit opzicht een signaalfunctie. Het is niet ondenkbeeldig dat er op termijn meer onderhoud aan de Zeeuwse dijken nodig is dan tot nu toe voorzien is. Voordat echter grootschalige maatregelen getroffen worden, dienen eerst de te verwachten ontwikkelingen beter onderbouwd te worden. Deze studie toont ook aan dat de lage meetfrequentie van de bodemopnamen in de Oosterschelde zorgt voor een grote onzekerheid in de prognoses. Normaal gesproken mag verwacht worden dat de meetfrequentie afgestemd wordt op de verwachte mate van verandering. Omdat de komende decennia grote veranderingen in de Oosterschelde te verwachten zijn, doen wij de aanbeveling om het intergetijdengebied in de Oosterschelde frequenter in te meten. Gedacht kan worden aan een meetfrequentie van eens per 2 jaar.

Uit de voorliggende studie blijkt verder dat de profielmetingen maar deels geschikt zijn voor voorspellingen van de hoogteligging van slikken en schorren. Aanbevolen wordt om een betrouwbare methode te ontwikkelen voor prognoses op basis van ruimtelijke opnamen. Ook hiervoor is meer meetinformatie van essentieel belang. De in dit rapport opgenomen prognoses op basis van ruimtelijke analyse van meetgegevens berusten op slechts twee gebiedsdekkende opnamen. Hierdoor kan alleen een lineair gedrag verondersteld worden. Aanbevolen wordt dan ook om op korte termijn een nieuwe gebiedsdekkende meting van het intergetijdengebied uit te voeren met vergelijkbare kwaliteit als de opname van 2001 (laseraltimetrie). Deze nieuwe ruimtelijke opname van de hoge delen in de Oosterschelde kan belangrijke aanvullende informatie opleveren om de prognoses uit dit rapport verder te onderbouwen en de bandbreedte voor onzekerheid te verkleinen.

REFERENTIES

Bij het opstellen van dit rapport is gebruik gemaakt van de volgende rapporten:

Bollebakker, G.P.; Verslag discussie Oosterschelde geul- en plaatontwikkeling; RIKZ verslag NWL-99.66; 19 april 1999.

Geurts van Kessel, A.J.M.; Verlopend tij, Oosterschelde, een veranderend natuurmonument; RIKZ; RIKZ/2004.028 | ISBN 90-369-3458-3; december 2004.

Hesselink, A.W., D.C. van Maldegem, C. v/d Male, B. Schouwenaar; Verandering van de morfologie van de Oosterschelde door de aanleg van de Deltawerken; RIKZ/OS/2003.810x; november 2003.

Jacobse, J.J.; Zandhonger Oosterschelde; rode draad uit de workshop van 28 oktober 2005; Royal Haskoning, rapport 9R6208.A0/R0003; december 2005.

Jacobse, J.J., T. van der Laan; Zandhonger Oosterschelde, een bedreiging voor de veiligheid?; schatting van de financiële consequenties van zandhonger op de veiligheid; rapport 9R9774.A0/R0001; september 2006 (concept).

Kamsteeg, A.T., J.H. Andorka Gal, J.G. de Ronde, J.J. Jacobse; Golfberekeningen Oosterschelde; golfbelastingen voor het ontwerpen van dijkbekledingen; RIKZ; rapport RIKZ/2001.006; januari 2001.

Koshiek, L.H.M; J. Mulder, T. Louters, F. Berben; De Oosterschelde naar een nieuw onderwaterlandschap; Rijkswaterstaat Dienst getijdenwateren; Nota DGW.AO.87.029

Maldegem, D.; Ontwikkeling morfologie Oosterschelde in relatie tot zandhongerproblematiek; RIKZ/AB/2004.809x; juli 2004.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat; De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland; Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde 2001-2006(VTV); rapport DWW-2004-009, ISBN 90-369-5558-0; januari 2004.

Pagee, H. van, D. van Maldegem; Rapportage workshop zandhonger Oosterschelde, blauwe delta product 2004; RIKZ/AB/2004.810x; 1 februari 2005.

Borg, W.R. ter; Kwaliteitsdocument laseraltimetrie Westerschelde en Oosterschelde; Meetkundige Dienst Rijkswaterstaat; maart 2003.

Roelse, P.; Voorstel bodemontwikkeling Oosterschelde; RIKZ, memo d.d. 2 december 1997 (bijlage bij werkdocument RIKZ/AB-98.803x).

Roelse, P.; Bodemgrid Oosterschelde, RIKZ, werkdocument RIKZ/AB-98.803x, januari 1998.

Pagee, H. van, D. van Maldegem; Rapportage workshop zandhonger Oosterschelde, blauwe delta product 2004; RIKZ/AB/2004.810x; 1 februari 2005.

Storm, C.; Slinkend Oland; over de omvang van de Zeeuwse Schorren; ontwikkelingen, oorzaken en mogelijke beheersmaatregelen; Rijkswaterstaat Directie Zeeland; nota AX-99.007; juli 1999.

Storm, C., W. Houmes; Schorverdedigingen; ervaringen met schorverdedigingen in zuidwest Nederland aangevuld met ervaringen uit noord Nederland en oost Engeland; Rijkswaterstaat Directie Zeeland, nota AXW 981003, maart 1998.

Zanten, E. van; Erosie intergetijdengebied, analyse en denkmodel; RIKZ; september 2005.

Bijlage 1

Overzicht beschikbare data slikken en schorren

Bijlage 1.1 Overzicht beschikbare profielmetingen

raai	beschikbare profielmetingen (vaak meerdere metingen per jaar)																			
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
anna_jac5860																				
anna_jac5862_1																				
anna_jac5862_2																				
anna_jac5862_3																				
anna_jac5862_4																				
anna_jac5862_5																				
dortsman_5530																				
dortsman_5540																				
dortsman_5550																				
dortsman_5560																				
dortsman_5570																				
dortsman_5580																				
dortsman_5590																				
dortsman_5600																				
dortsman_5610																				
dortsman_5620																				
dortsman_5630																				
Kats_5280																				
krabbend_5650																				
krabbend_5660																				
rattekaai_5670																				
rattekaai_5680																				
rattekaai_5685																				
rattekaai_5690																				
rattekaai_5695																				
rattekaai_5725																				
Slaak_5870																				
Slaak_5880																				
Slaak_5890																				
Slaak_5890.3																				
Slaak_5890_m																				
Slaak_5900																				
Slaak_5904																				
StAnnalnd_5810																				
StAnnalnd_5810.1																				
StAnnalnd_5810.2																				
StAnnalnd_5815																				
StAnnalnd_5820																				
StAnnalnd_5825																				
StAnnalnd_5830																				
StAnnalnd_5835																				
StAnnalnd_5840																				
StAnnalnd_5845																				
viane_5740																				
viane_5745																				
viane_5750																				
viane_5755																				
viane_5765																				
viane_5770																				
Zandkreek_5310																				

Bijlage 1.2 Overzicht beschikbare ruimtelijke opnamen

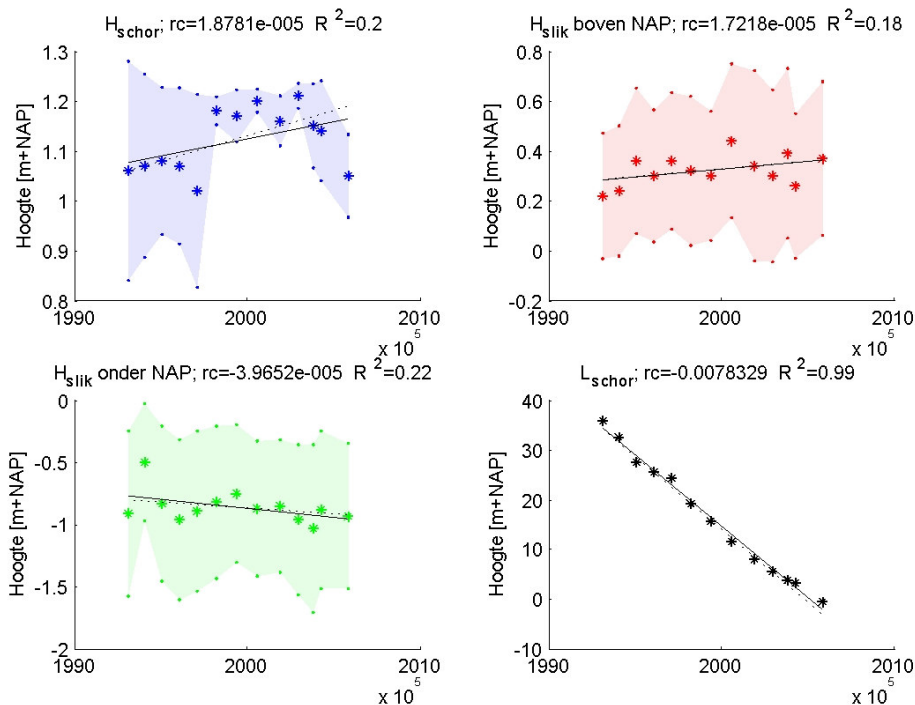
	Beschikbare bodemlodingen																
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Anna Jacobapolder					X								X				
Dortsman			X										X				
Kats													X				
Krabbenkreek		X											X				
Slaak	X				X							X			X		X
Speelmansplaten	X				X							X					
Stavenisse	X								X			X			X		X
Verdronken land ZB	X				X							X					
Viane		X							X			X			X		X
Zandkreekdam			X									X					

Bijlage 2

Lineaire trendanalyse

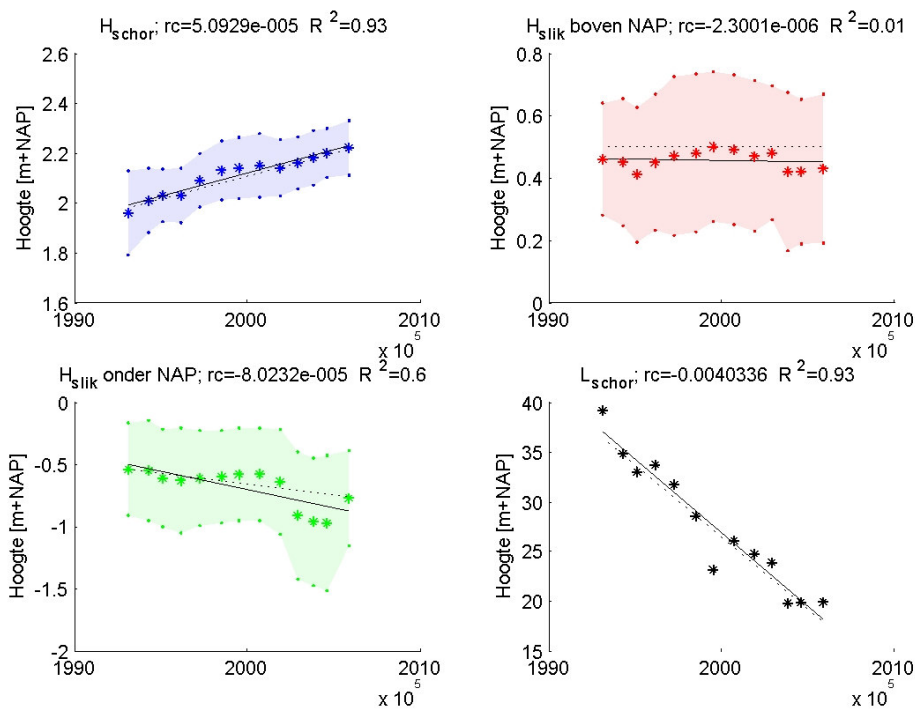
Bijlage 2-1

Ontwikkeling schor en slijk anna-jac5860



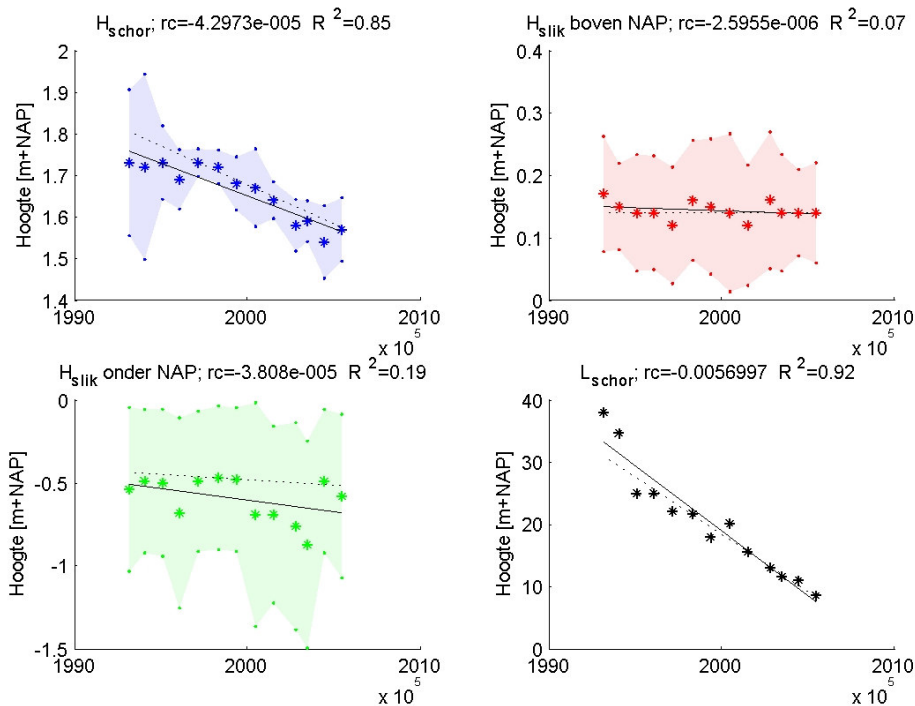
Bijlage 2-2

Ontwikkeling schor en slijk dortsman-5630



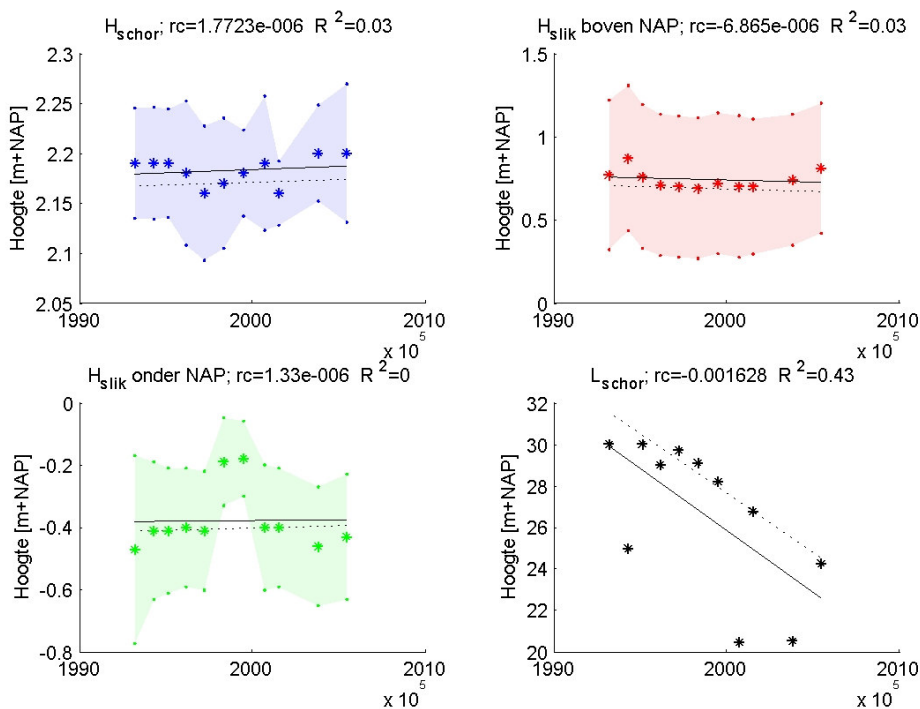
Bijlage 2-3

Ontwikkeling schor en slik Kats-5280



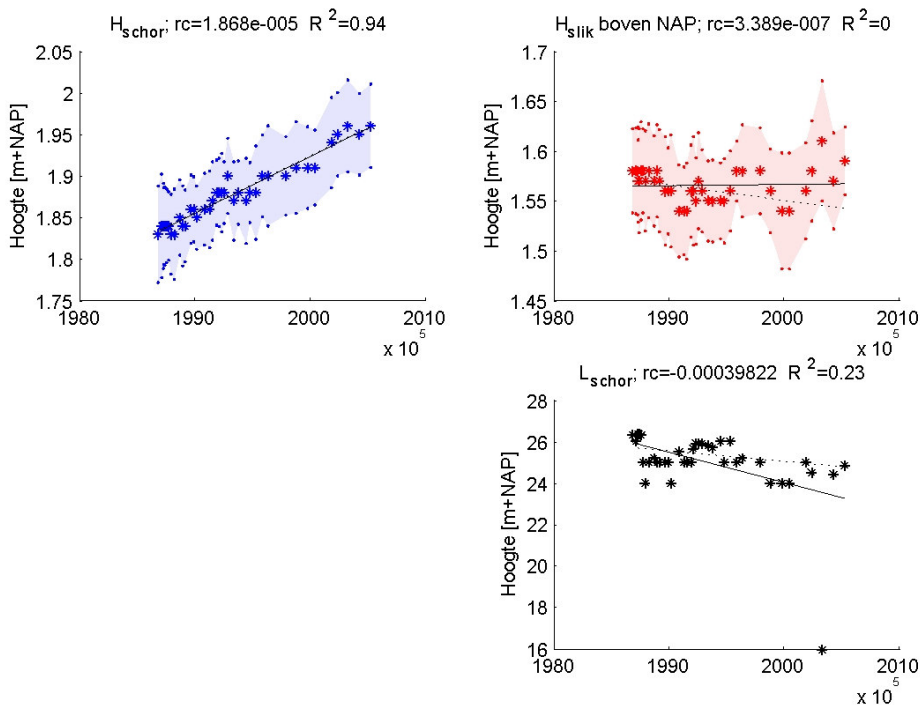
Bijlage 2-4

Ontwikkeling schor en slik krabbend-5660



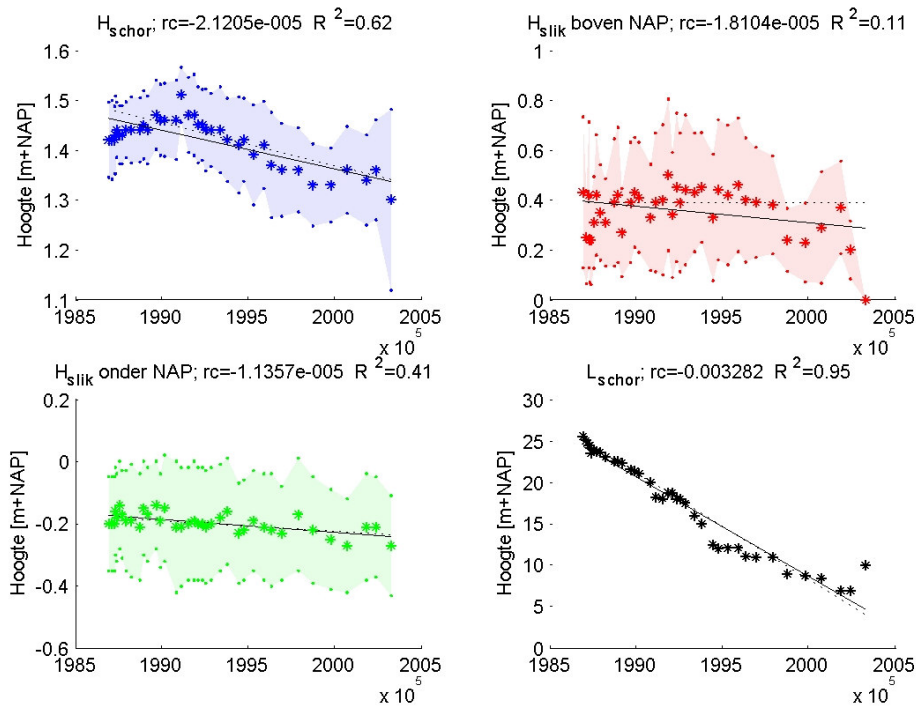
Bijlage 2-5

Ontwikkeling schor en slijk rattekaai-5690



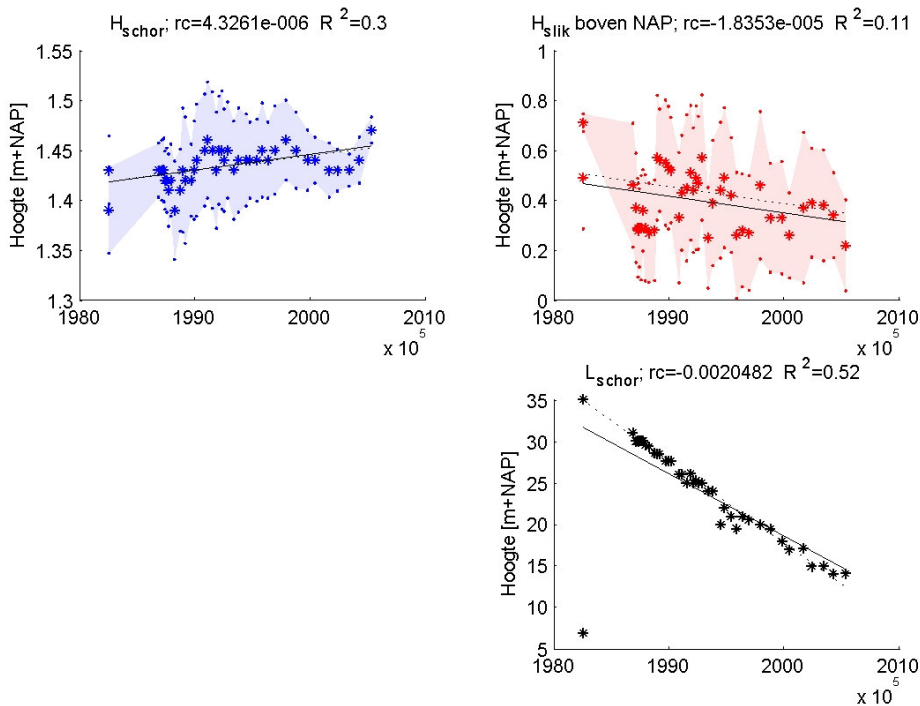
Bijlage 2-6

Ontwikkeling schor en slijk Slaak-5890-m



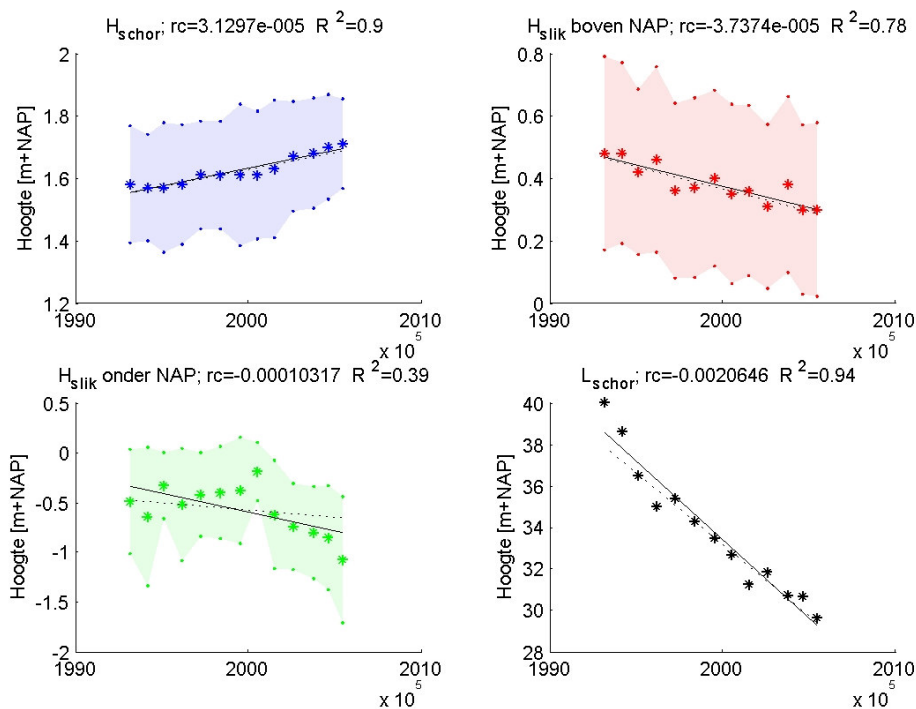
Bijlage 2-7

Ontwikkeling schor en slijk StAnnaInd-5810



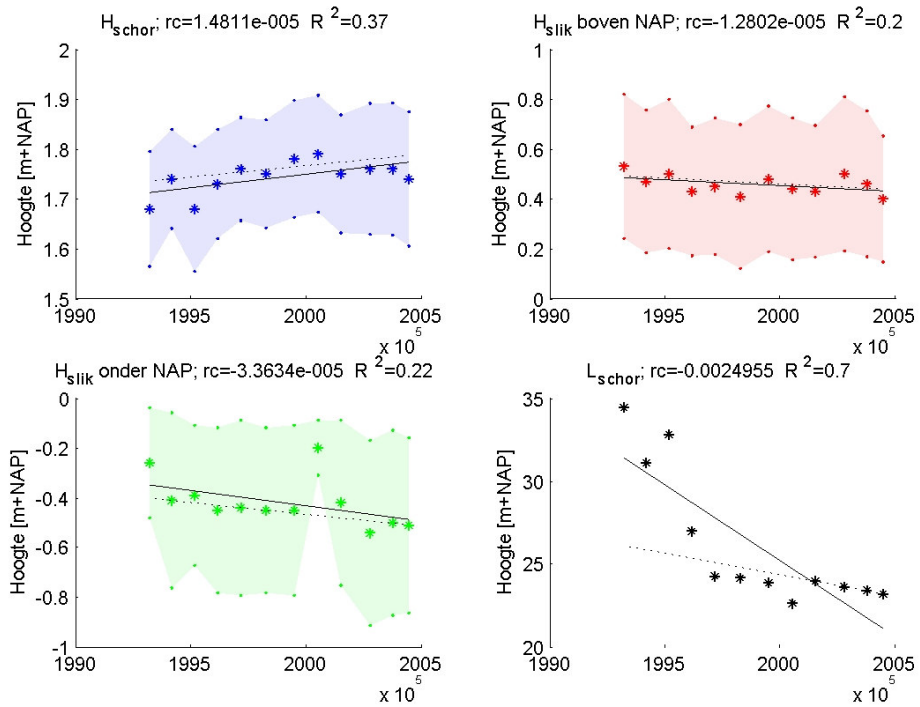
Bijlage 2-8

Ontwikkeling schor en slijk viane-5770



Bijlage 2-9

Ontwikkeling schor en slik Zandkreek-5310



Bijlage 3

Ontwikkelingssnelheden per profielmeting

Bijlage 3.1 Ontwikkelingssnelheden per profielmeting

gebied	profiel [nr]	Delta H _{slik-} [cm/jr]	Delta H _{slik+} [cm/jr]	Delta H _{schor} [cm/jr]	Delta P _{schor} [m/jr]
Anna Jacobapolder	5860	0.63	-1.45	0.69	-2.86
Dortsman	5530	-2.00	-2.42	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Dortsman	5540	-1.88	3.28	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Dortsman	5550	0.00	-0.39	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Dortsman	5560	1.78	-1.40	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Dortsman	5570	-1.59	1.20	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Dortsman	5580	0.00	-0.05	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Dortsman	5590	0.15	geen fit mogelijk	0.83	-0.14
Dortsman	5600	3.83	0.61	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Dortsman	5610	6.60	-0.29	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Dortsman	5620	-0.34	geen fit mogelijk	1.04	-1.44
Dortsman	5630	-0.08	-2.93	1.86	-1.47
Kats	5280	-0.09	-1.39	-1.57	-2.08
Krabbendijke	5650	0.82	-0.54	0.40	-0.99
Krabbendijke	5660	-0.25	0.05	0.06	-0.59
Rattekaai	5670	-1.07	0.00	-0.08	-0.73
Rattekaai	5680	-0.69	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Rattekaai	5685	-1.51	-2.06	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Rattekaai	5690	0.01	0.00	0.68	-0.15
Rattekaai	5695	-1.89	1.79	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Rattekaai	5725	-1.14	-1.03	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Slaak	5870	-1.18	-1.81	0.43	-1.12
Slaak	5880	-1.57	-0.78	0.19	-0.18
Slaak	5890	-0.44	-0.38	-0.74	-1.22
Slaak	5890.3	geen fit mogelijk	-0.22	0.08	-0.62
Slaak	5890-m	-0.66	-0.41	-0.77	-1.20
Slaak	5900	-1.49	-1.73	0.33	-0.83
Slaak	5904	-0.66	geen fit mogelijk	0.08	-0.56
Sint Annaland	5810	-0.67	geen fit mogelijk	0.16	-0.75
Sint Annaland	5810.2	-0.72	geen fit mogelijk	0.11	-1.08
Sint Annaland	5815	-1.81	geen fit mogelijk	0.29	-0.97
Sint Annaland	5820	0.20	0.00	-0.08	-0.58
Sint Annaland	5825	-0.25	0.10	0.05	-0.31
Sint Annaland	5830	-0.27	0.01	-0.18	-0.06
Sint Annaland	5835	-1.27	geen fit mogelijk	-0.86	-1.70
Sint Annaland	5840	0.46	0.00	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Sint Annaland	5845	3.73	0.00	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Viane	5740	1.70	2.45	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Viane	5745	2.43	1.96	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Viane	5750	-0.91	-0.62	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Viane	5755	0.91	1.50	geen fit mogelijk	geen fit mogelijk
Viane	5765	0.06	geen fit mogelijk	0.63	0.17
Viane	5770	-1.36	-3.77	1.14	-0.75
Zandkreek	5310	-0.47	-1.23	0.54	-0.91

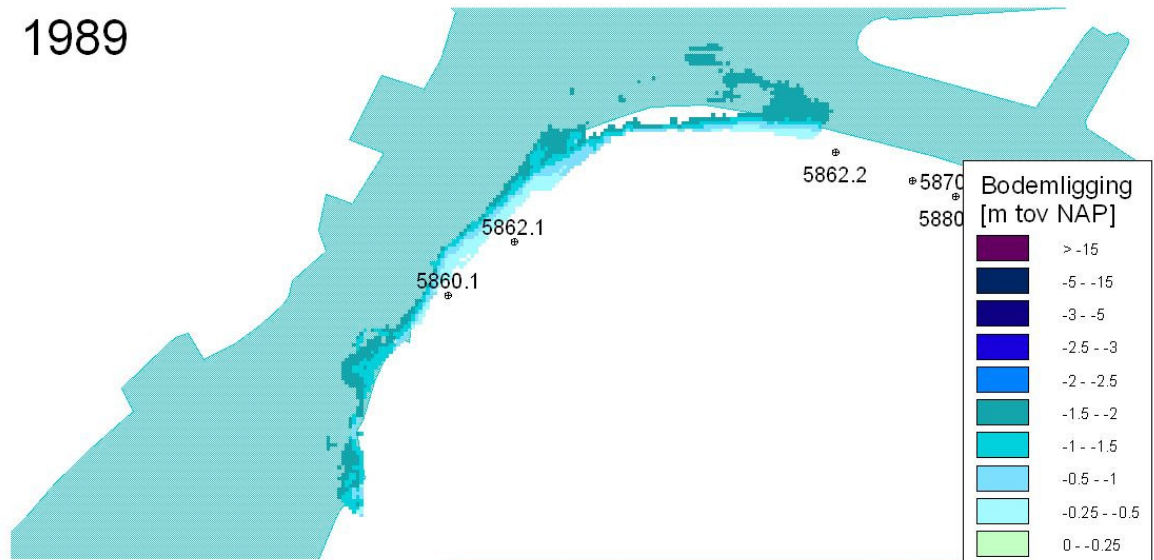
Voor profielen 5862.1, 5862.2, 5862.3, 5862.4, 5862.5, 5810.2 is maar één opname beschikbaar. Hiervoor is geen trendanalyse mogelijk.

Bijlage 4

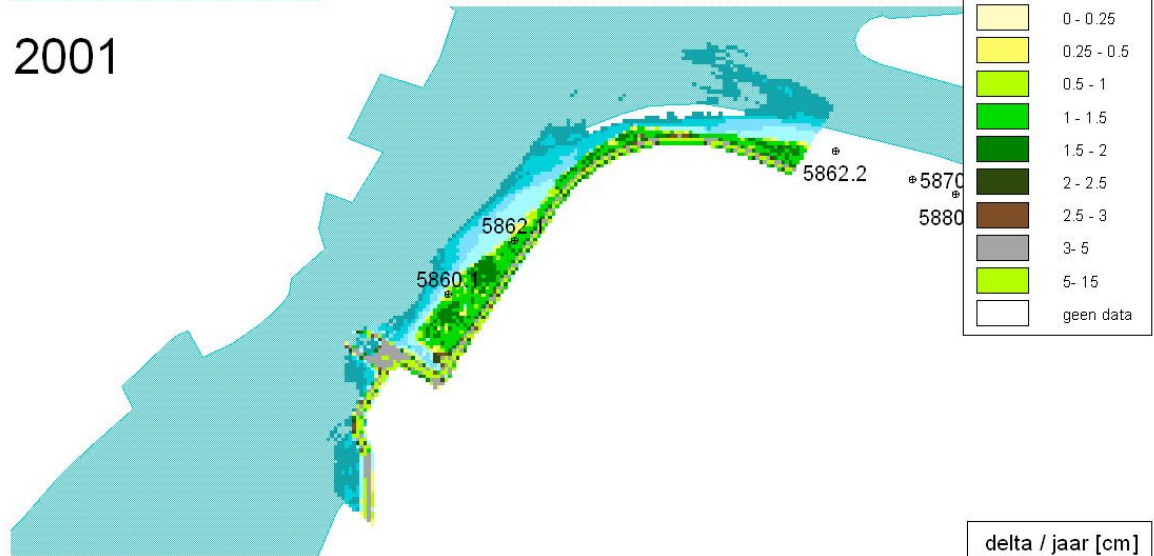
2D Analyse afname slikhoogte

Bijlage 4-1 Anna Jacobapolder

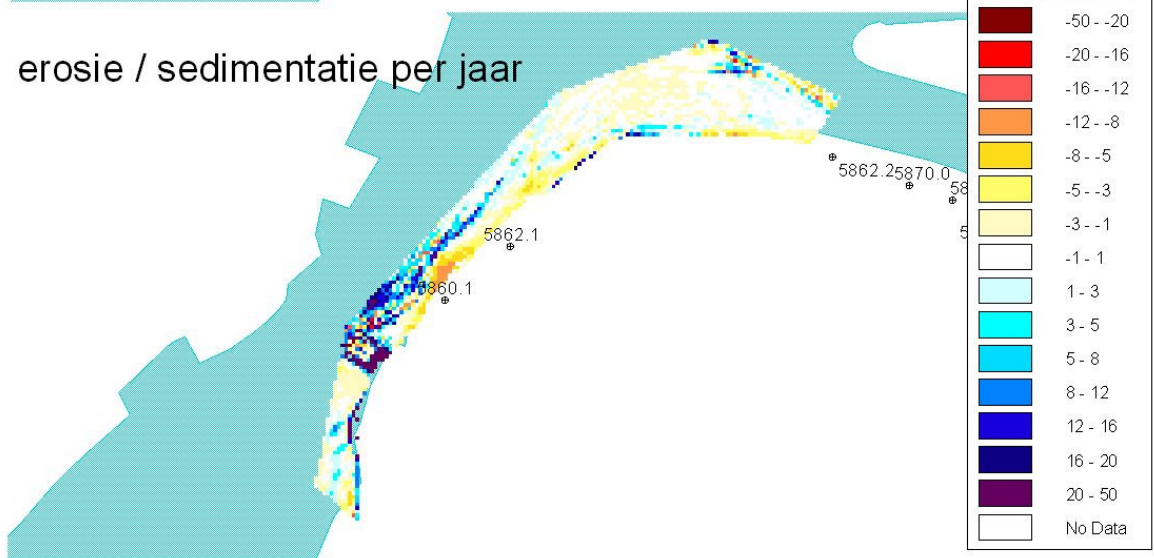
1989



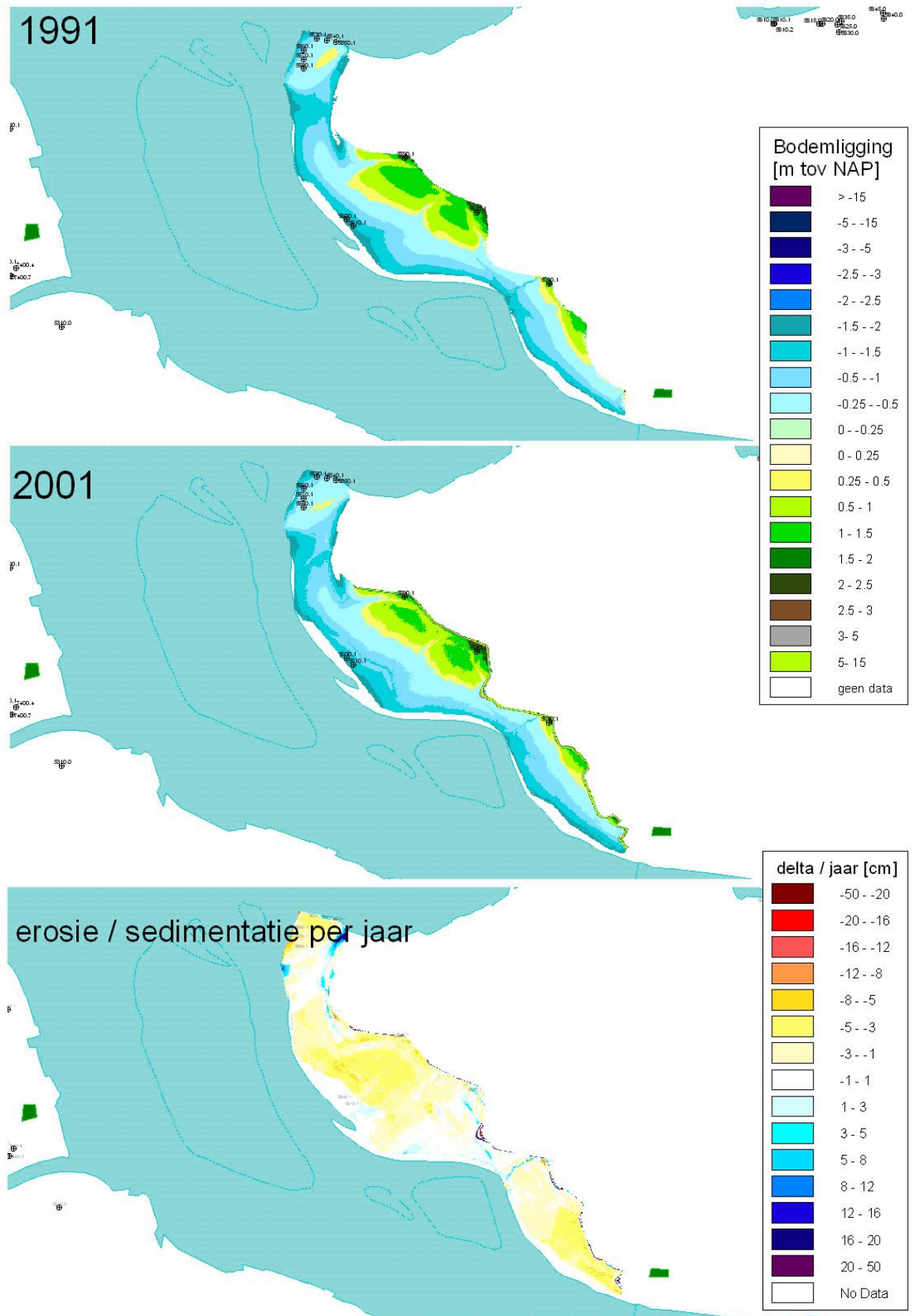
2001



erosie / sedimentatie per jaar

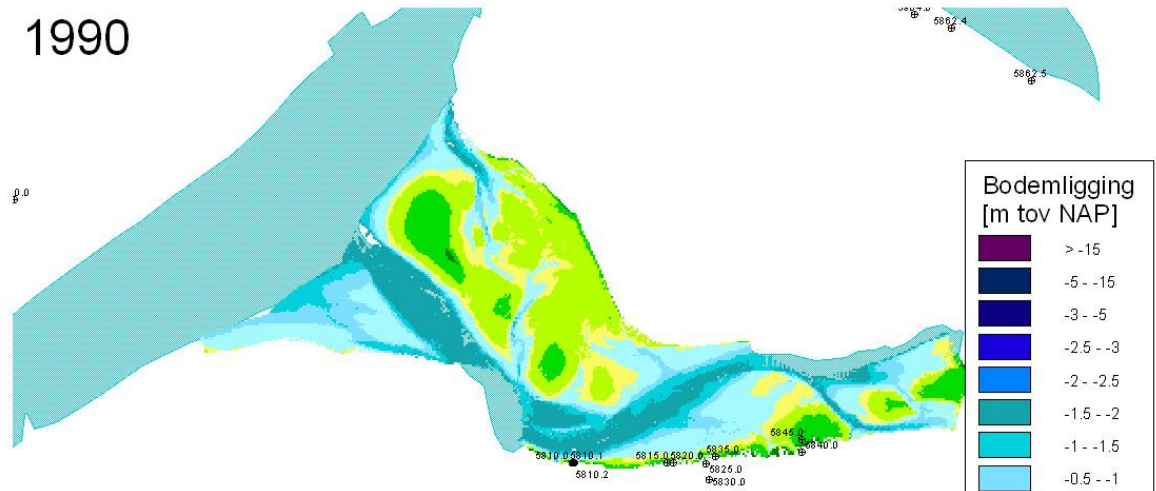


Bijlage 4-2 Dortsman

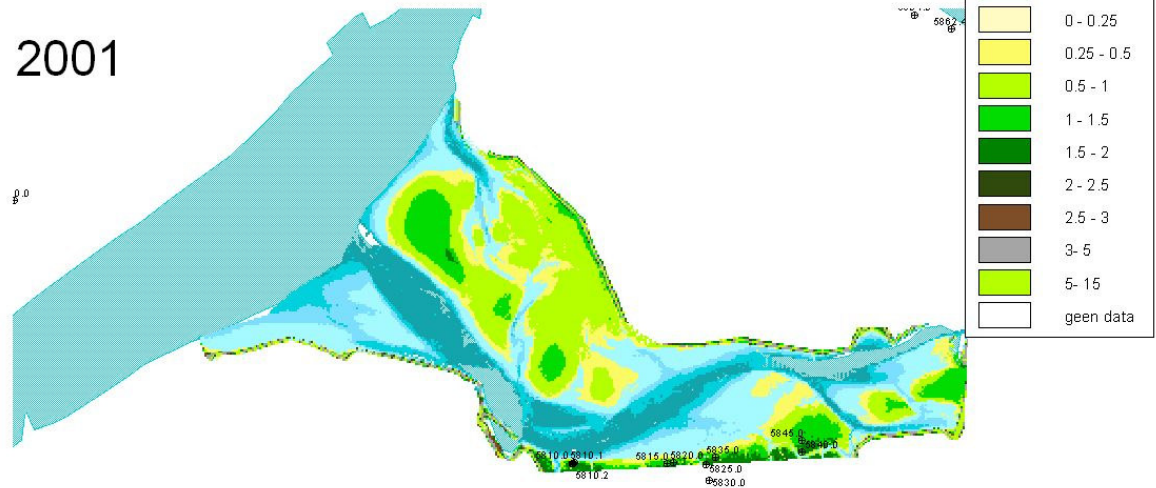


Bijlage 4-3 Krabbenkreek

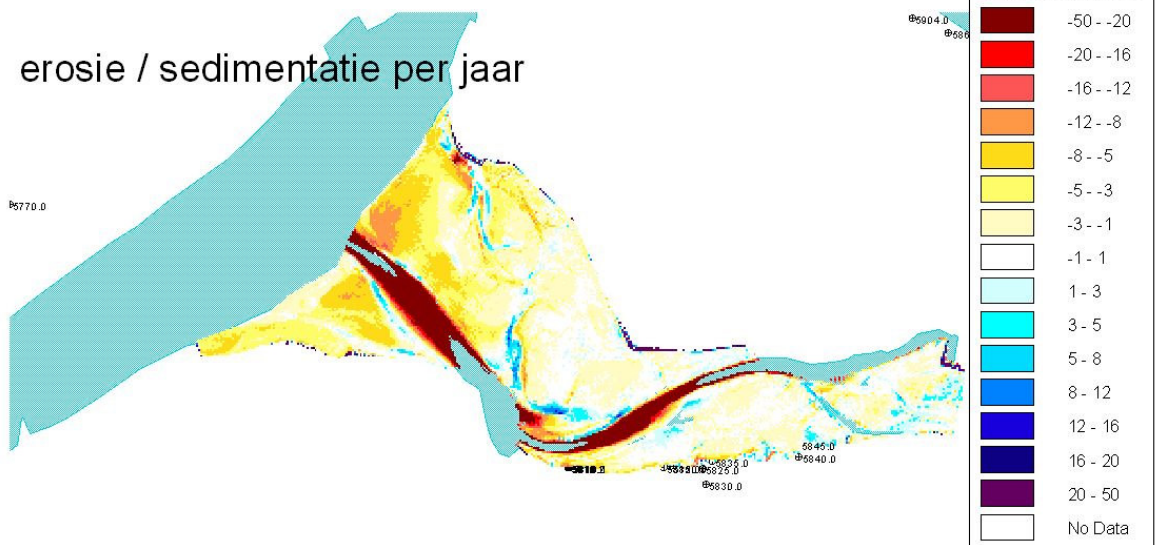
1990



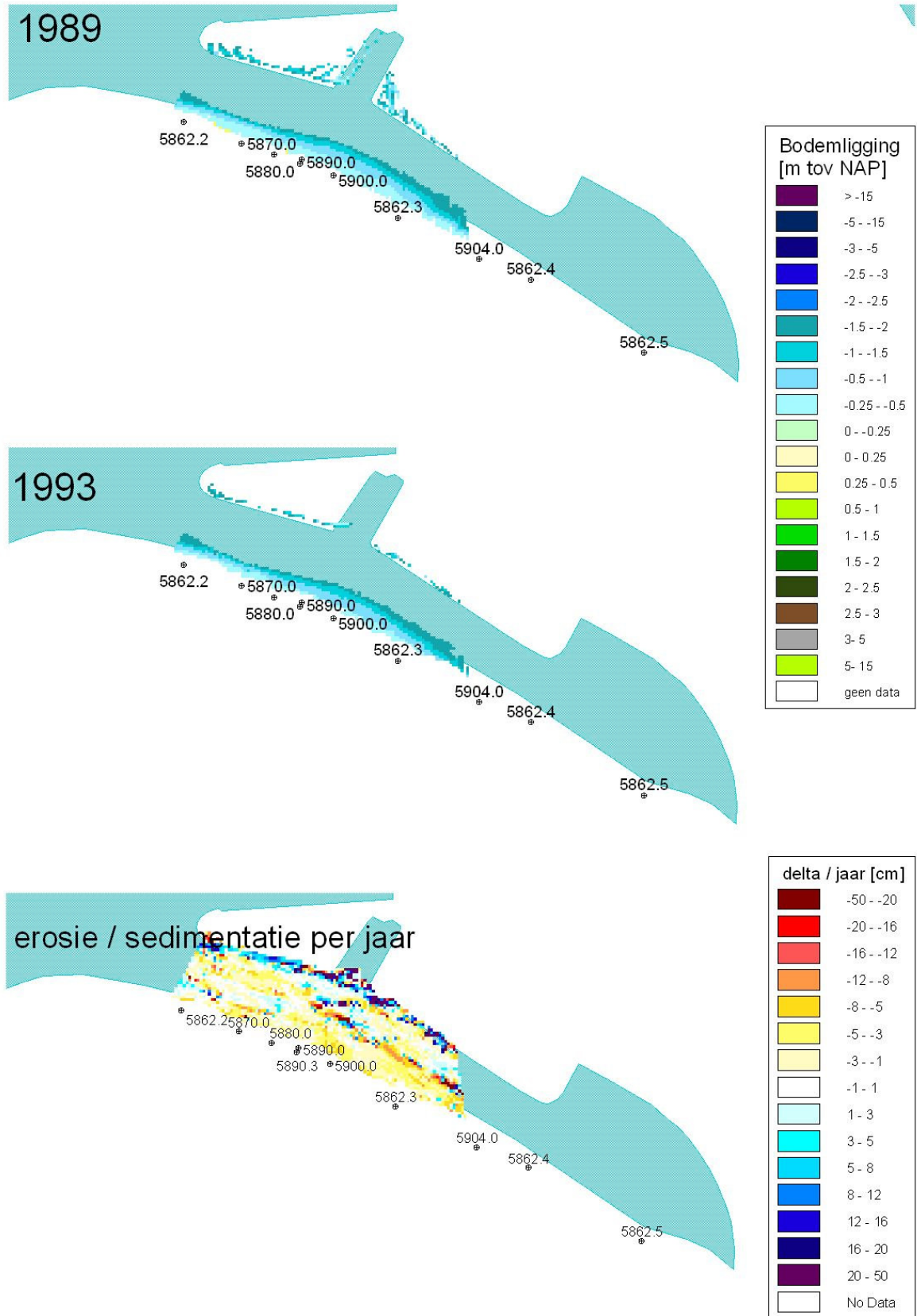
2001



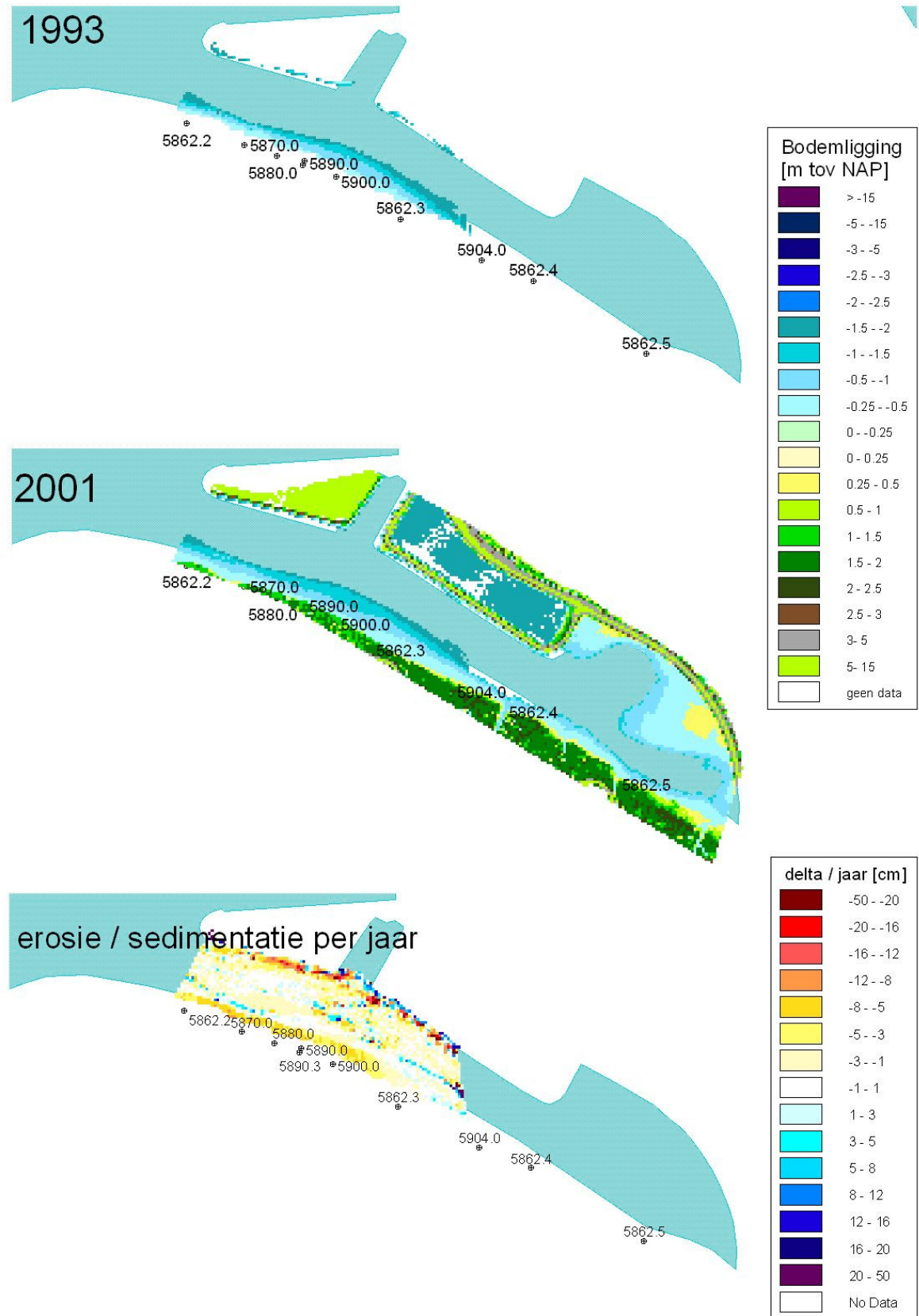
erosie / sedimentatie per jaar



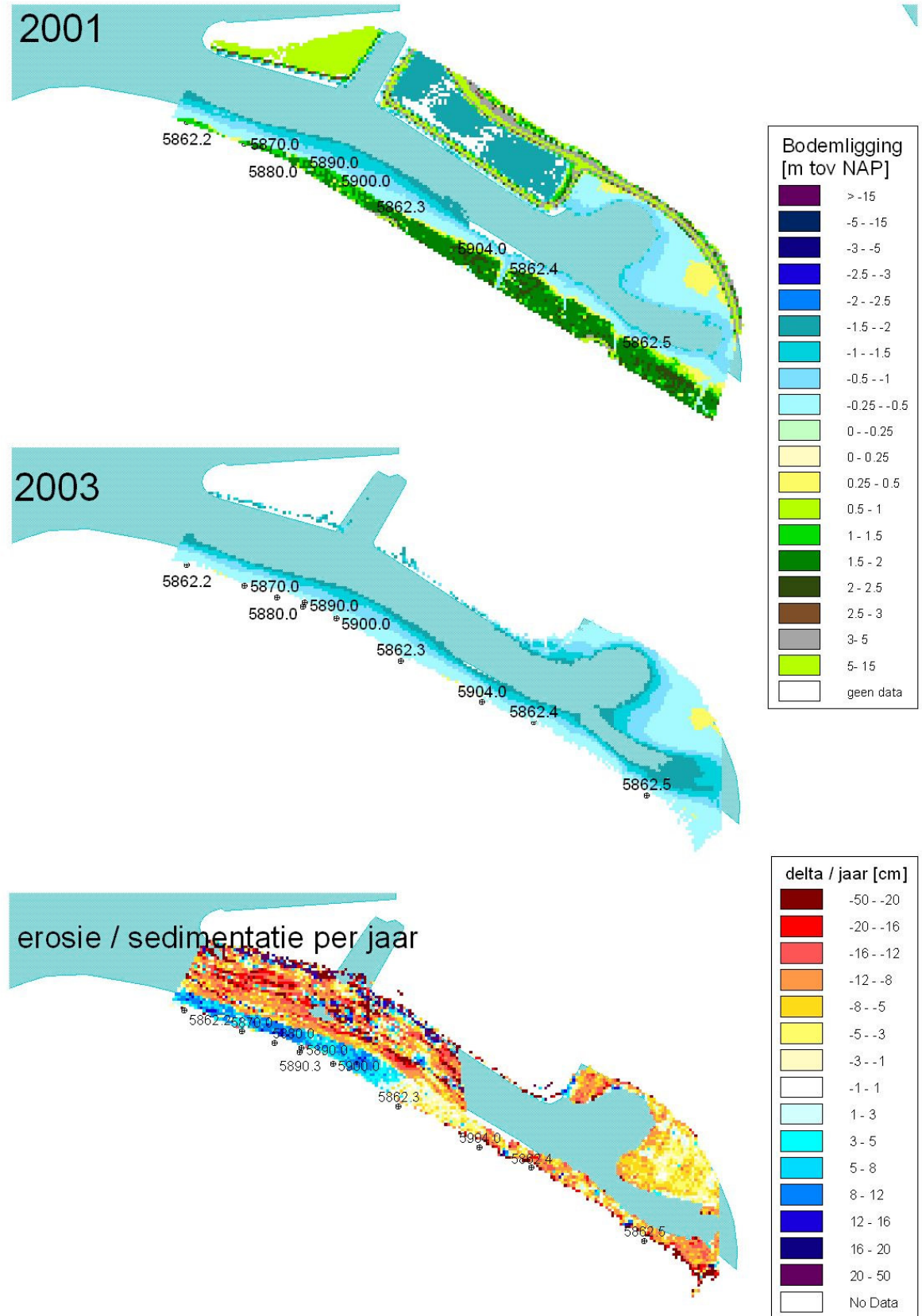
Bijlage 4-4 Slaak



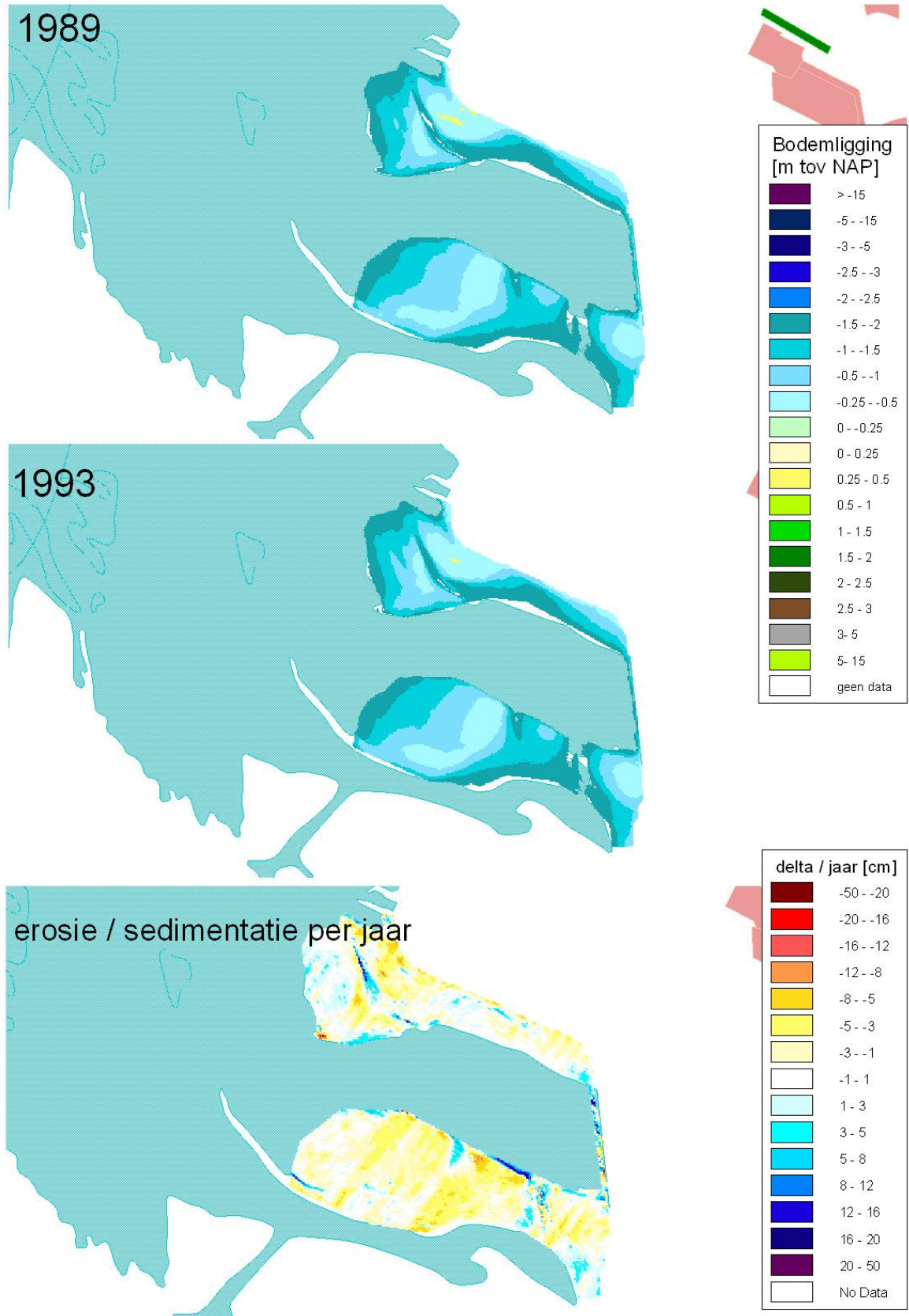
Bijlage 4-5 Slaak



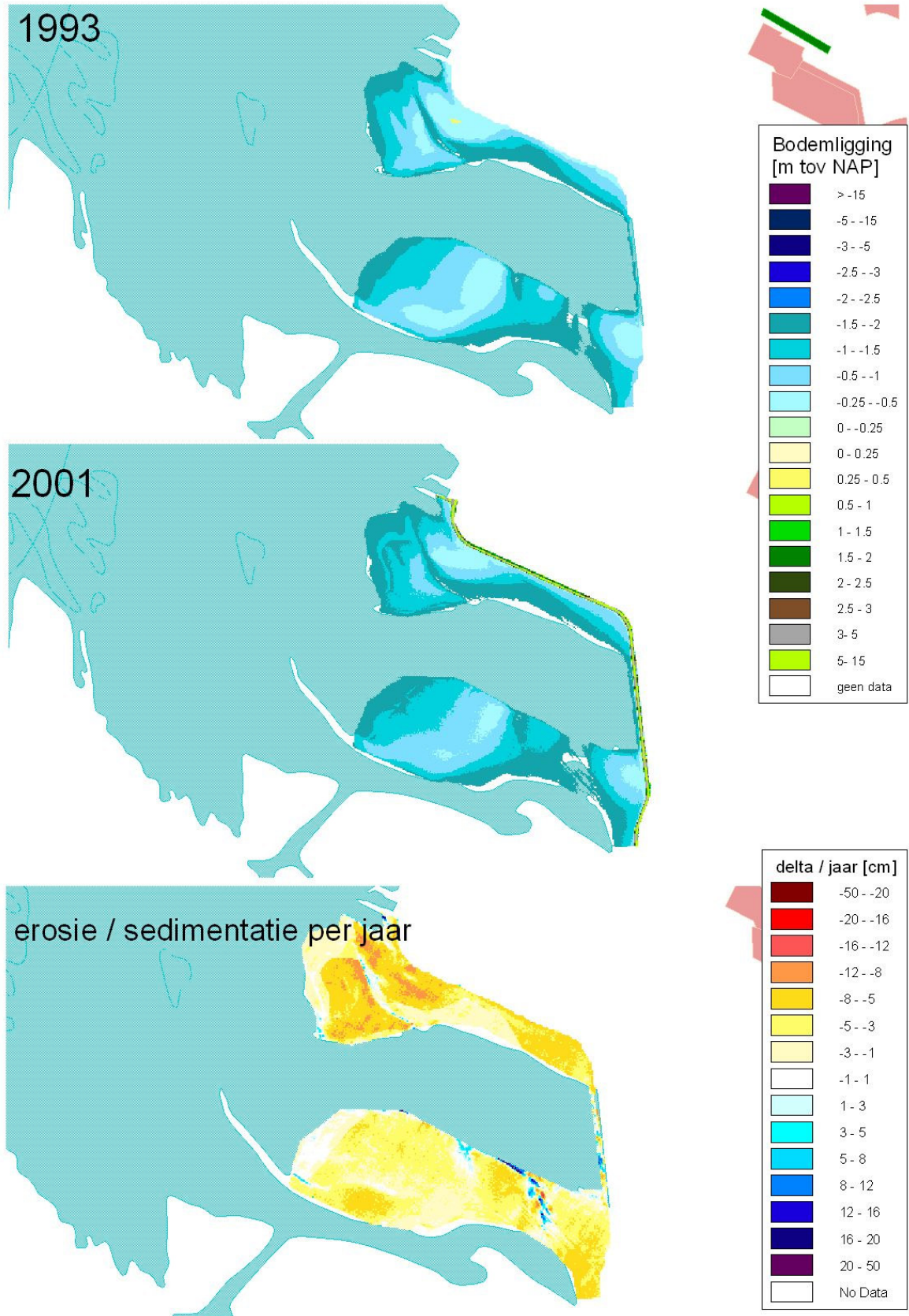
Bijlage 4-6 Slaak



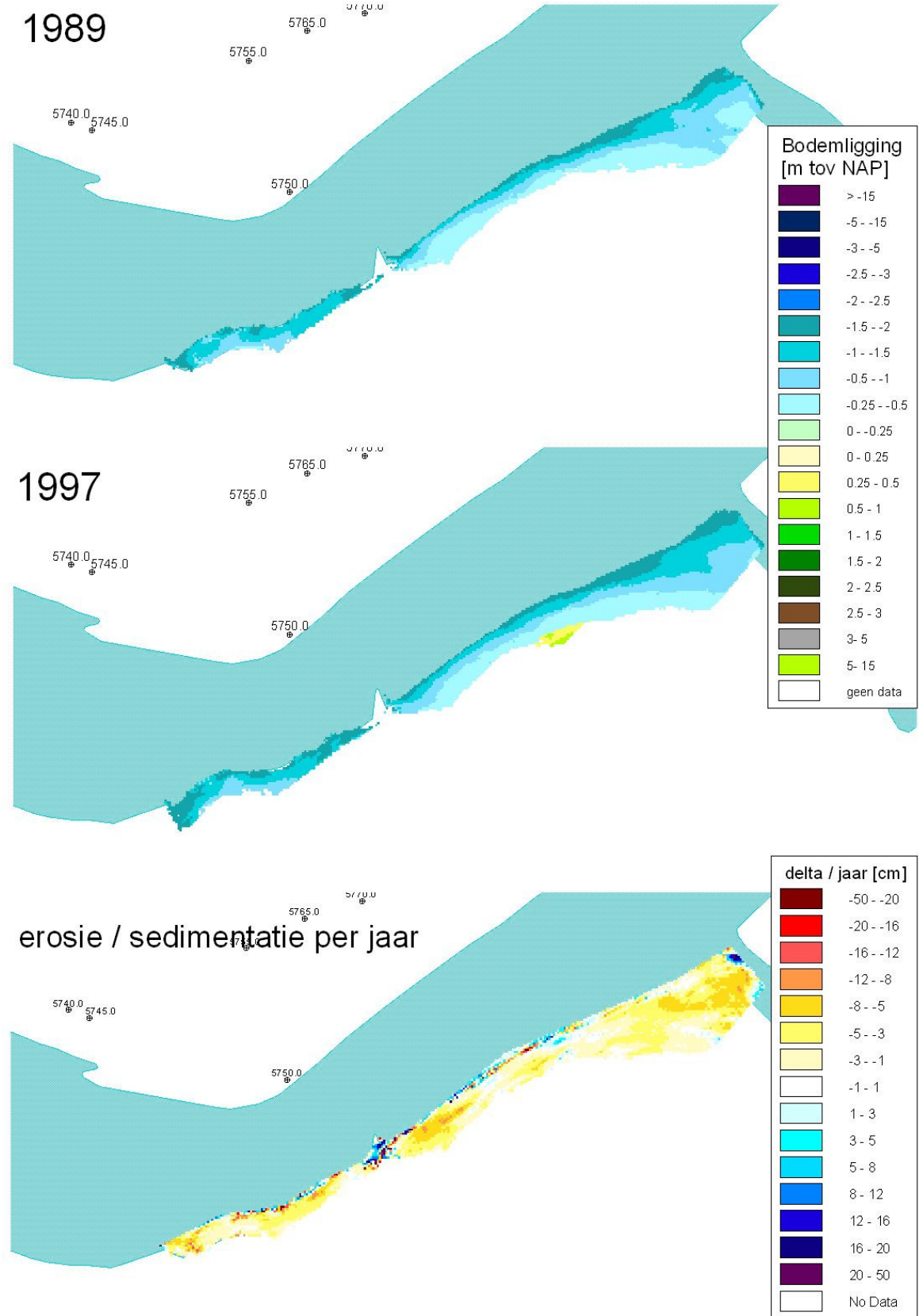
Bijlage 4-7 Speelmansplaten



Bijlage 4-8 Speelmansplaten

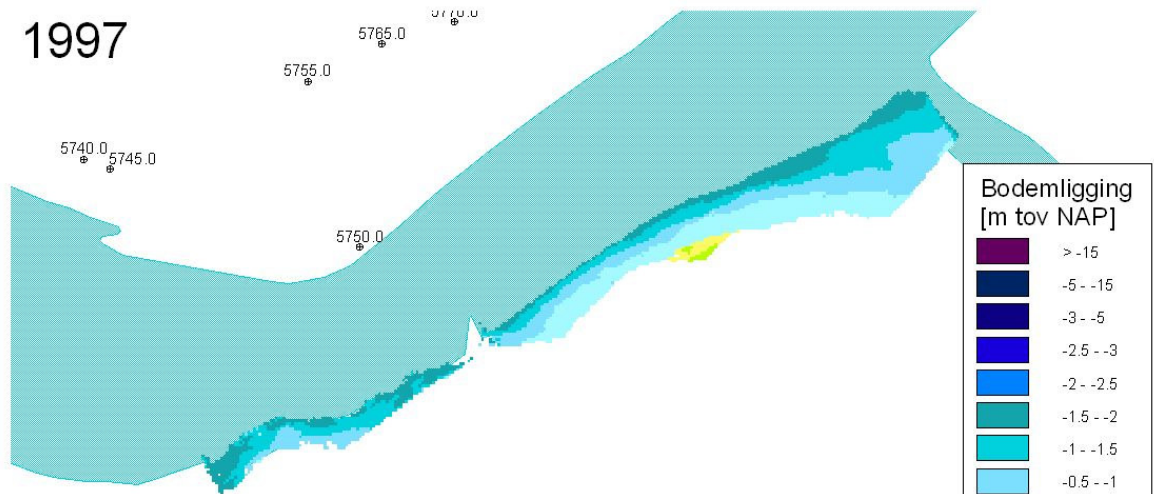


Bijlage 4-9 Stavenisse

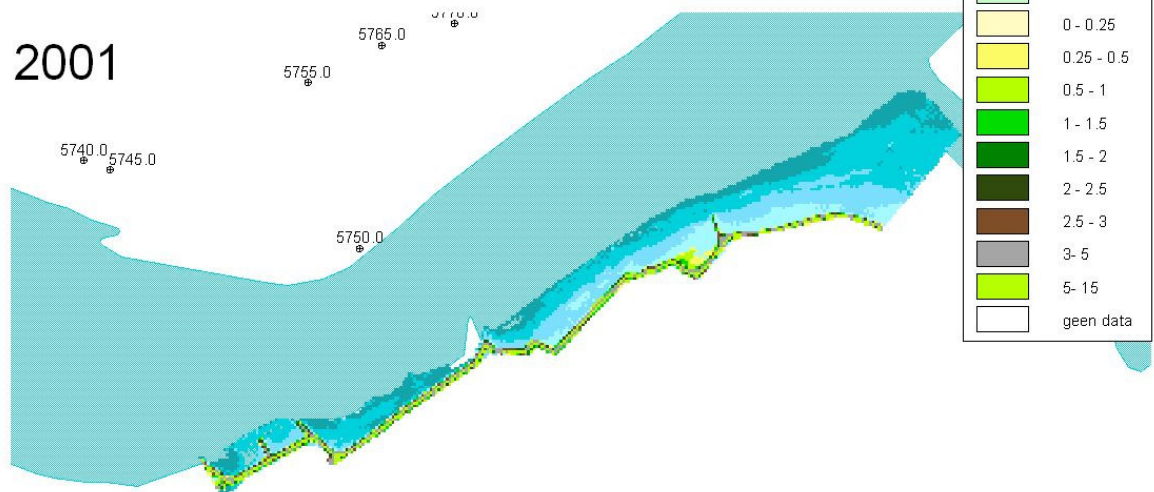


Bijlage 4-10 Stavenisse

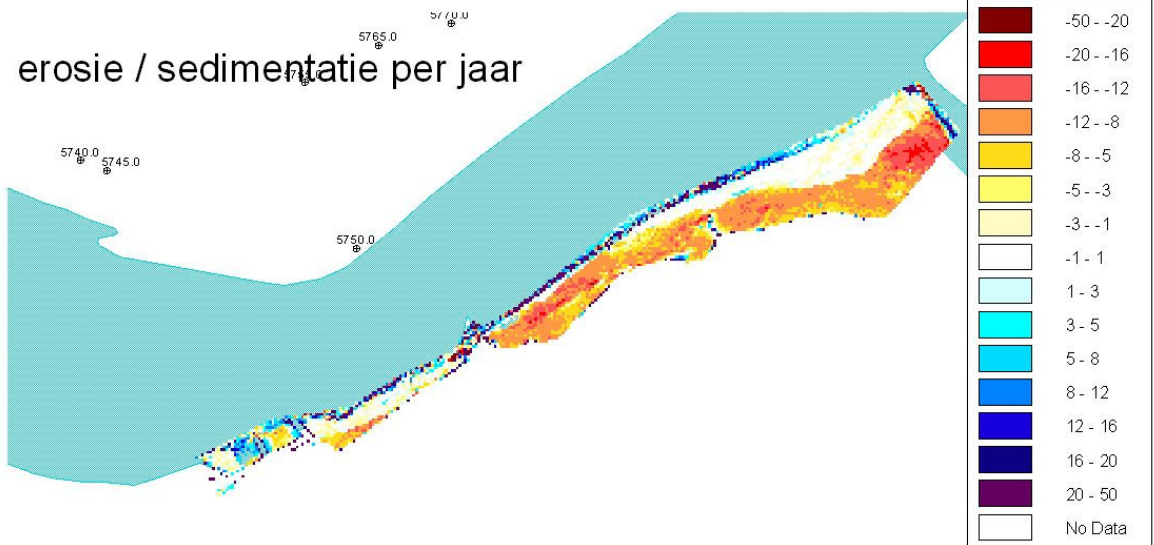
1997



2001

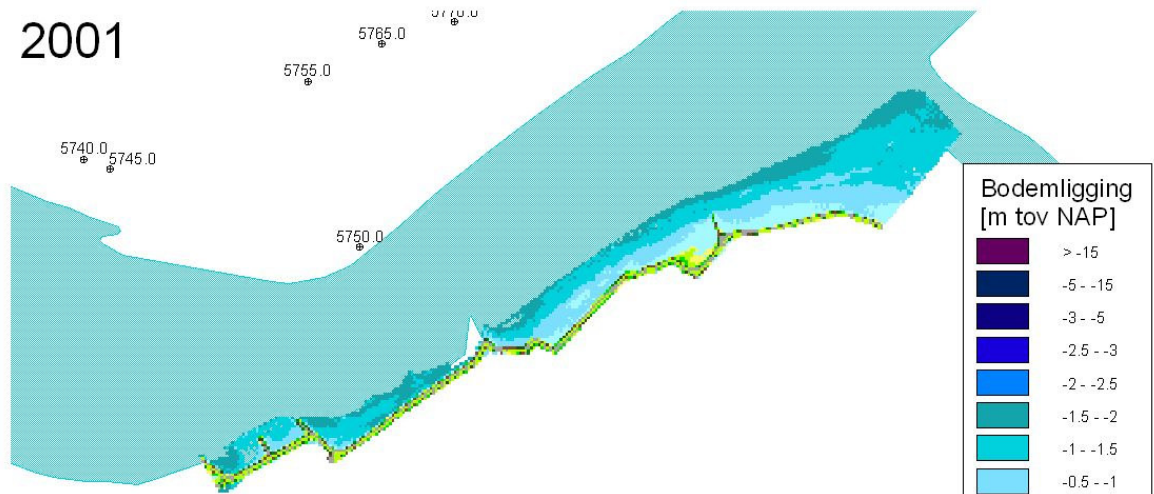


erosie / sedimentatie per jaar

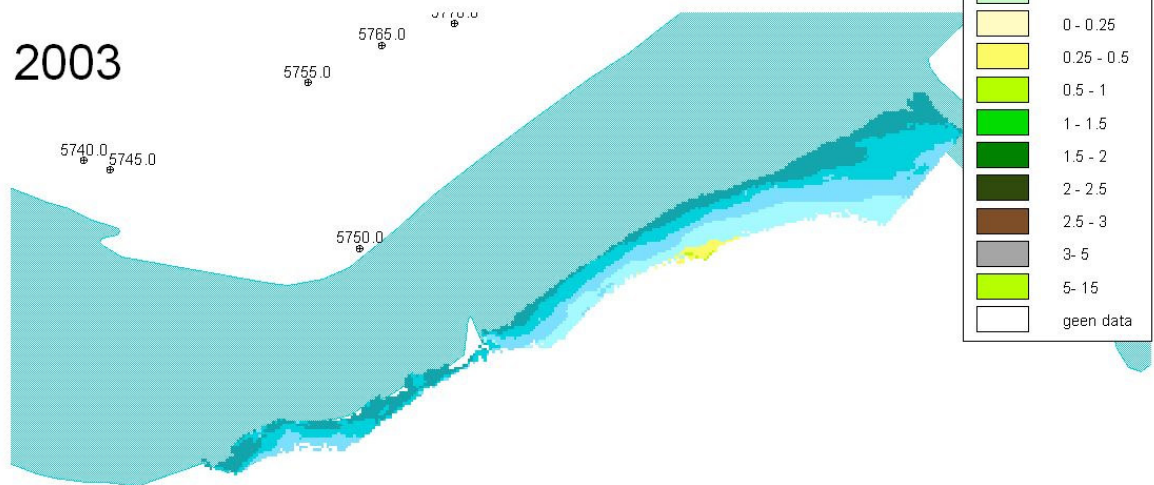


Bijlage 4-11 Stavenisse

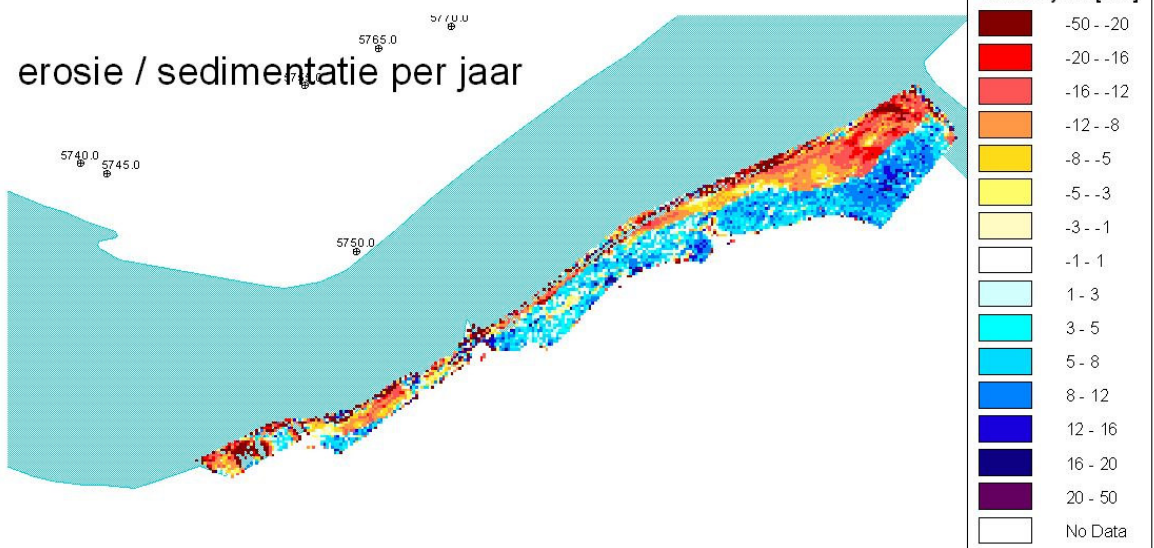
2001



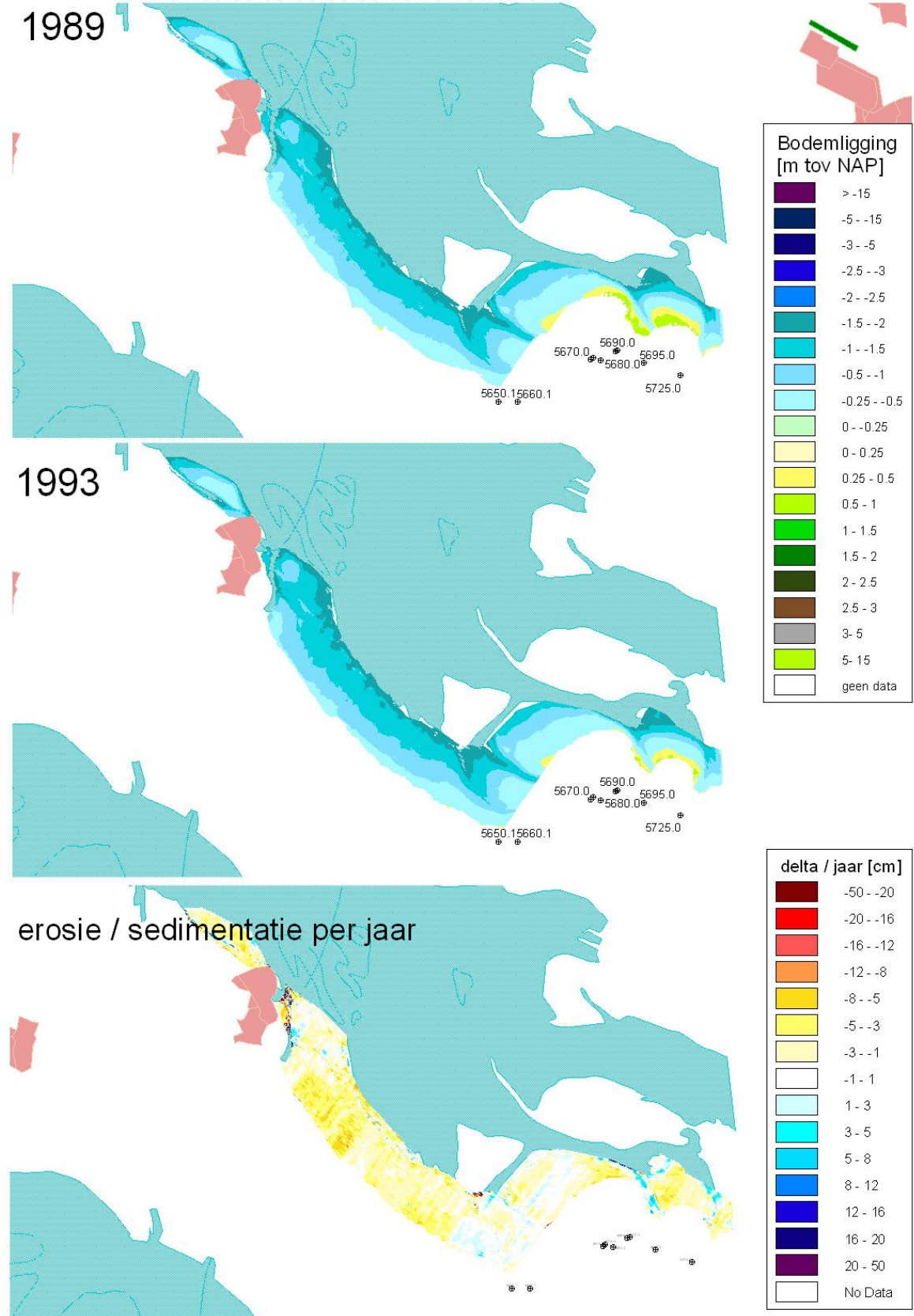
2003



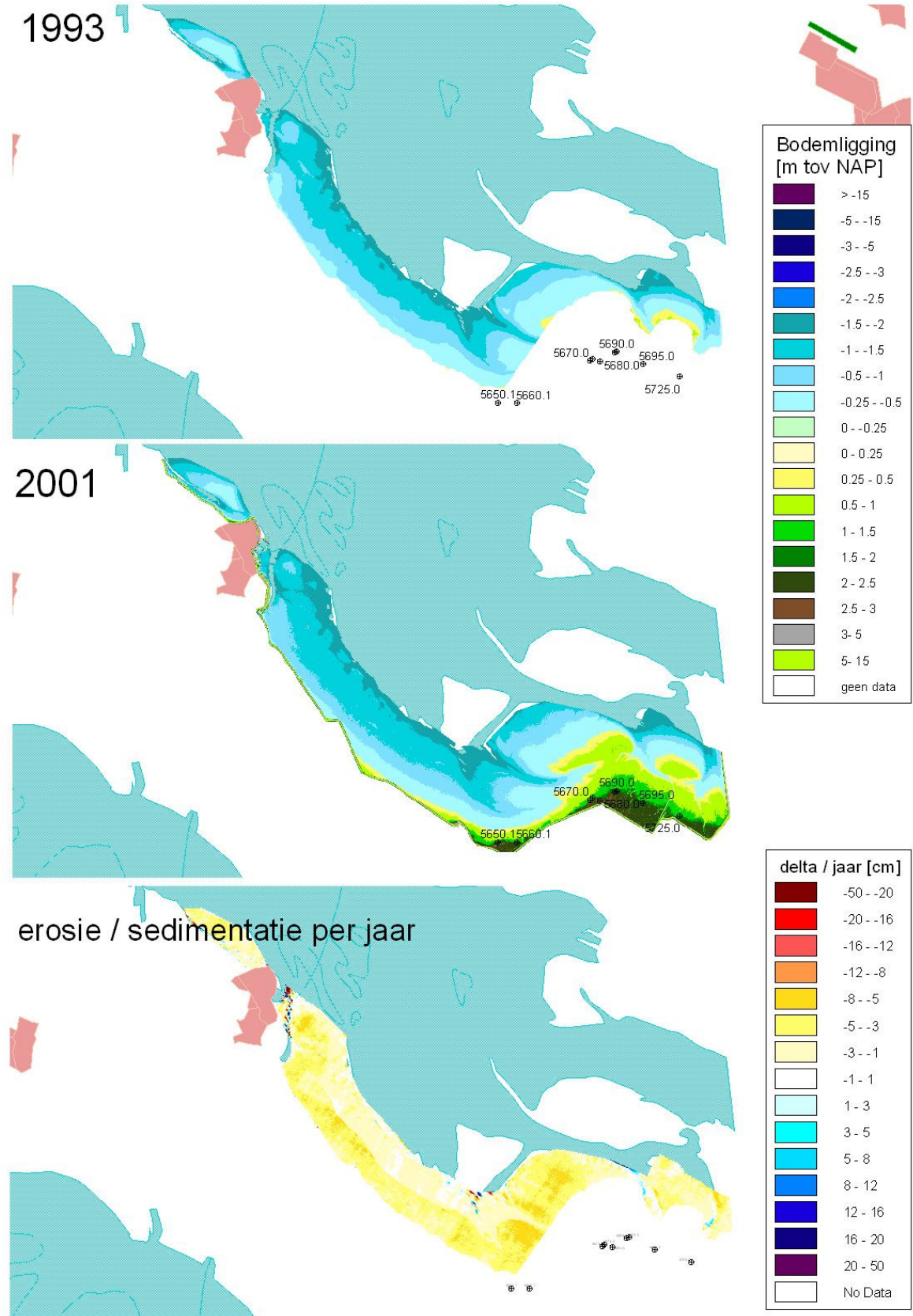
erosie / sedimentatie per jaar



Bijlage 4-12 Verdrongen land van Zuid Beveland

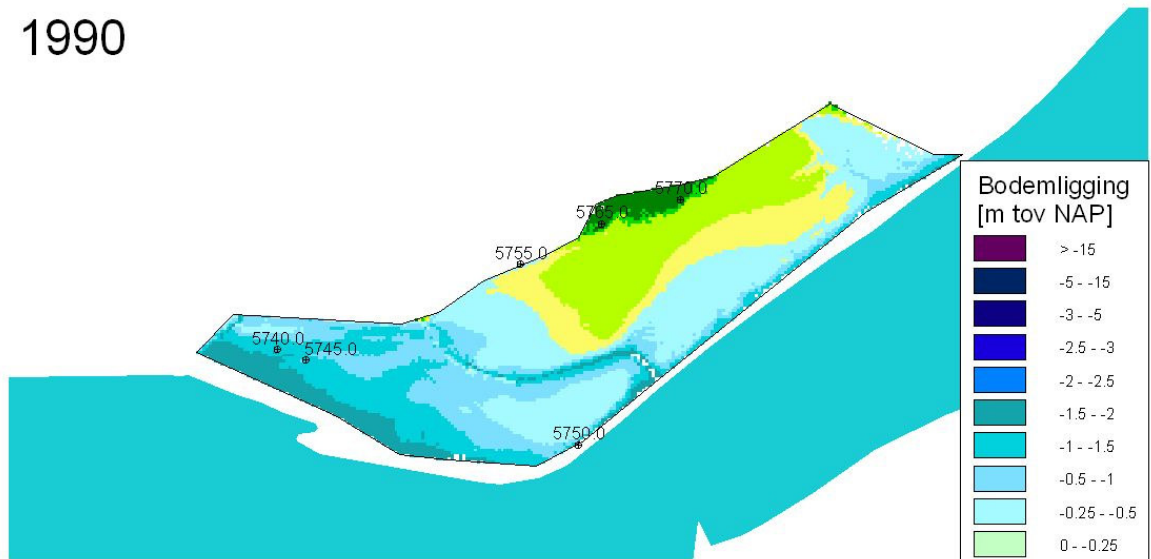


Bijlage 4-13 Verdrongen land van Zuid Beveland

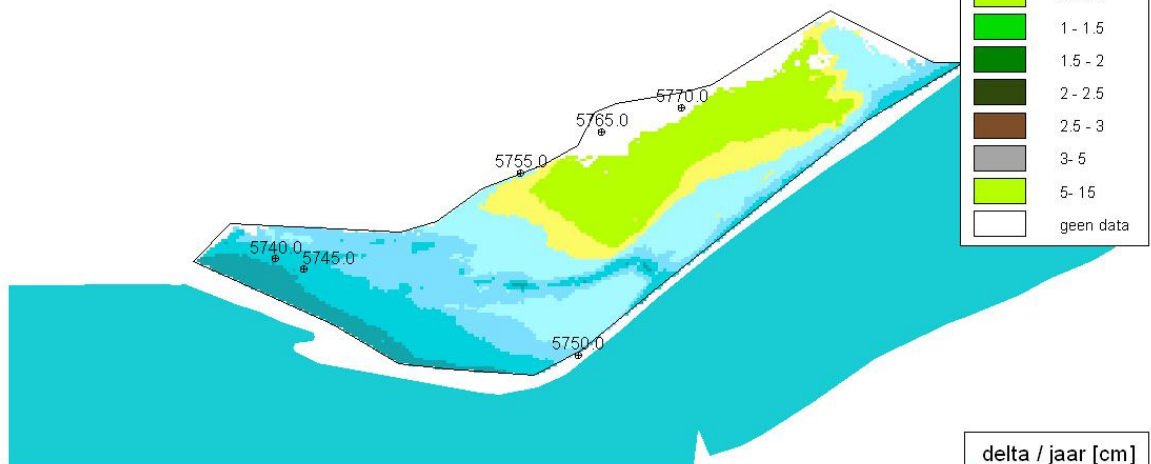


Bijlage 4-14 Viane

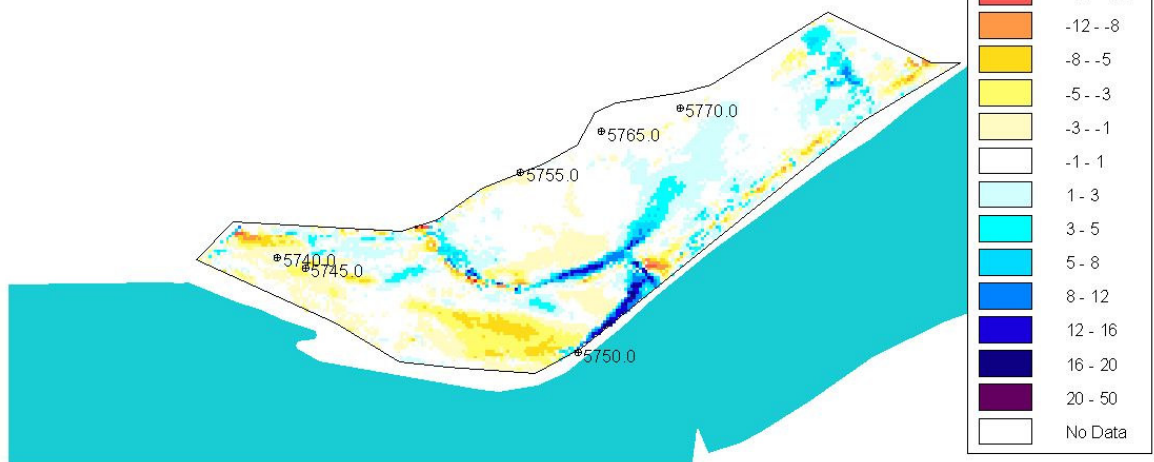
1990



1997

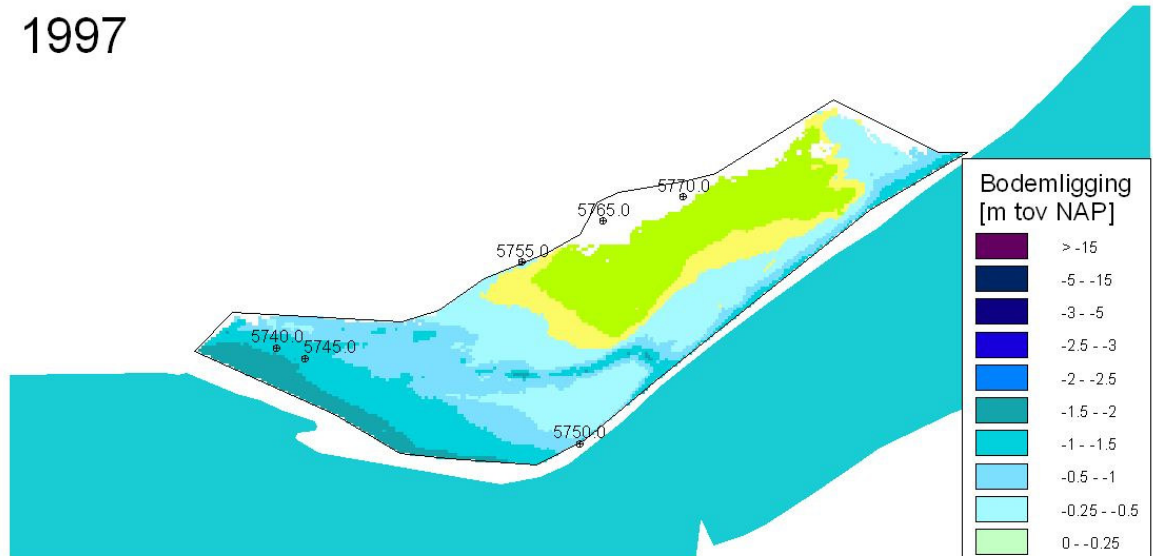


erosie / sedimentatie per jaar

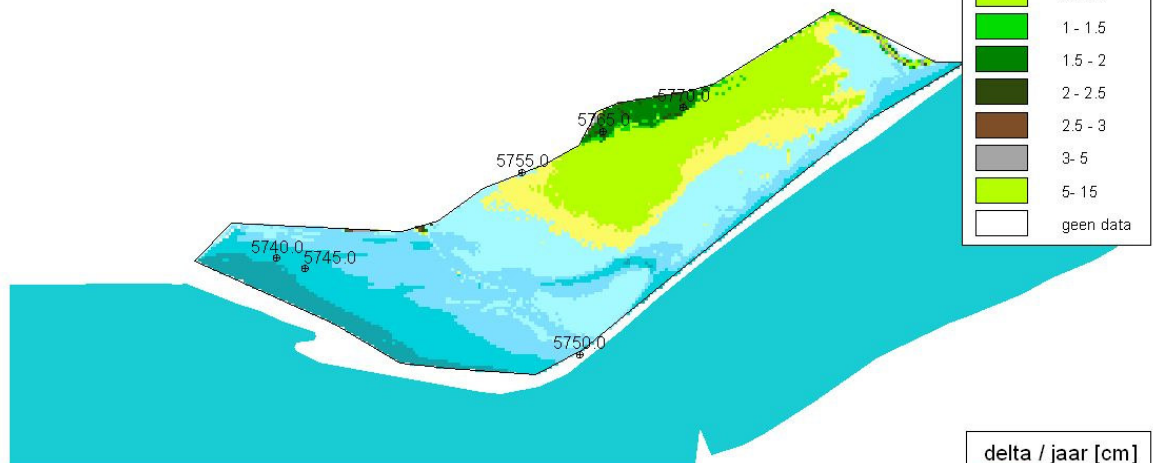


Bijlage 4-15 Viane

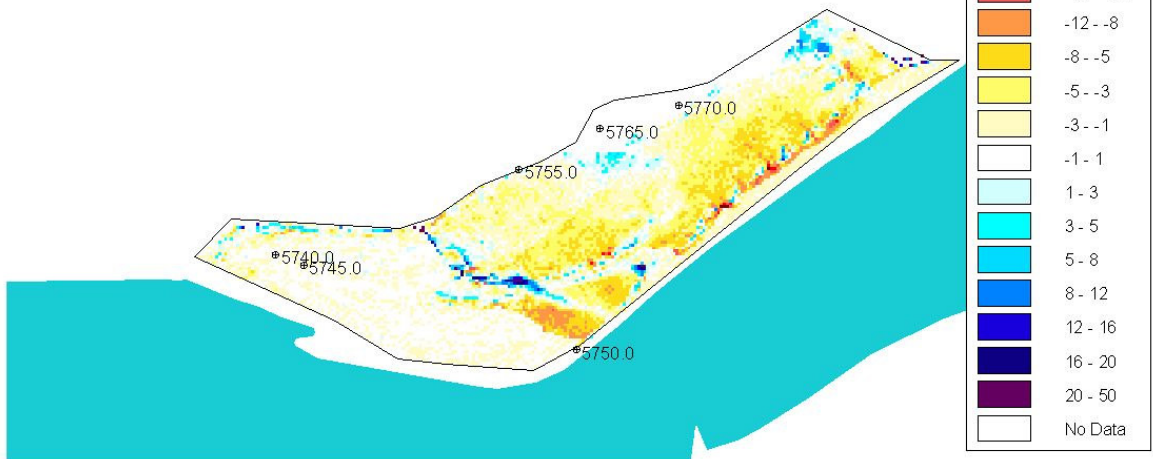
1997



2001

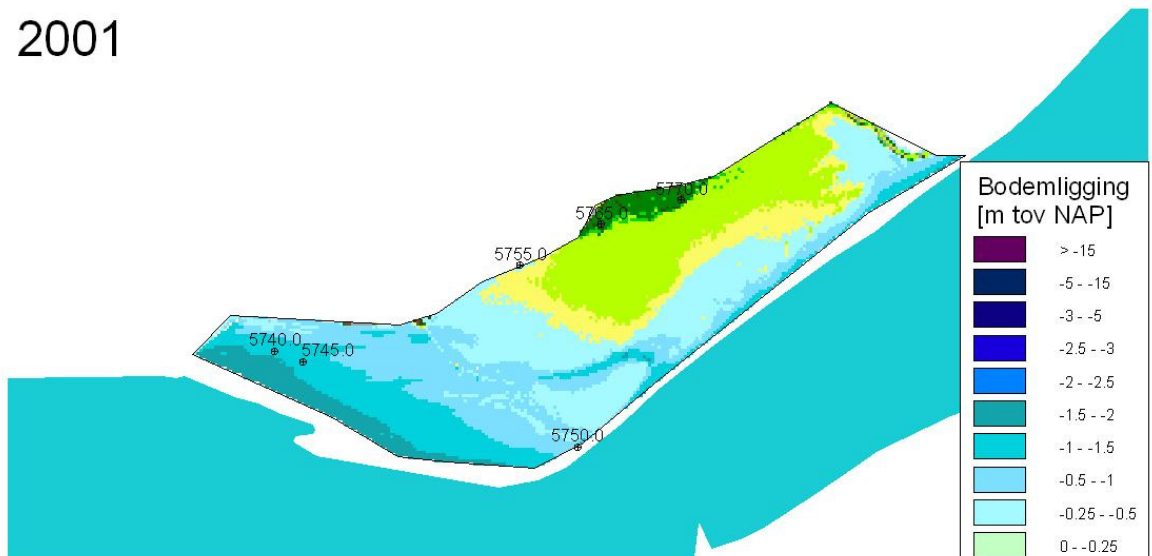


erosie / sedimentatie per jaar

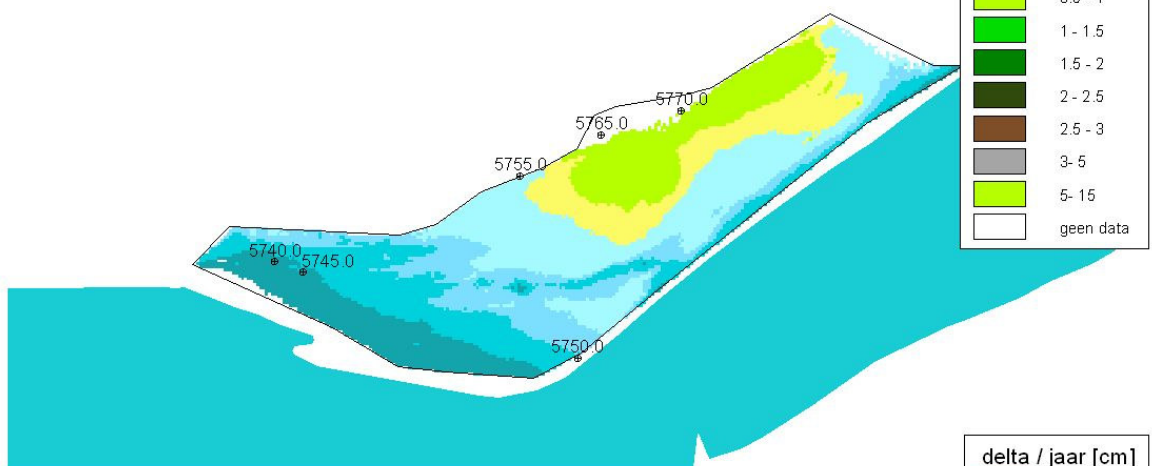


Bijlage 4-16 Viane

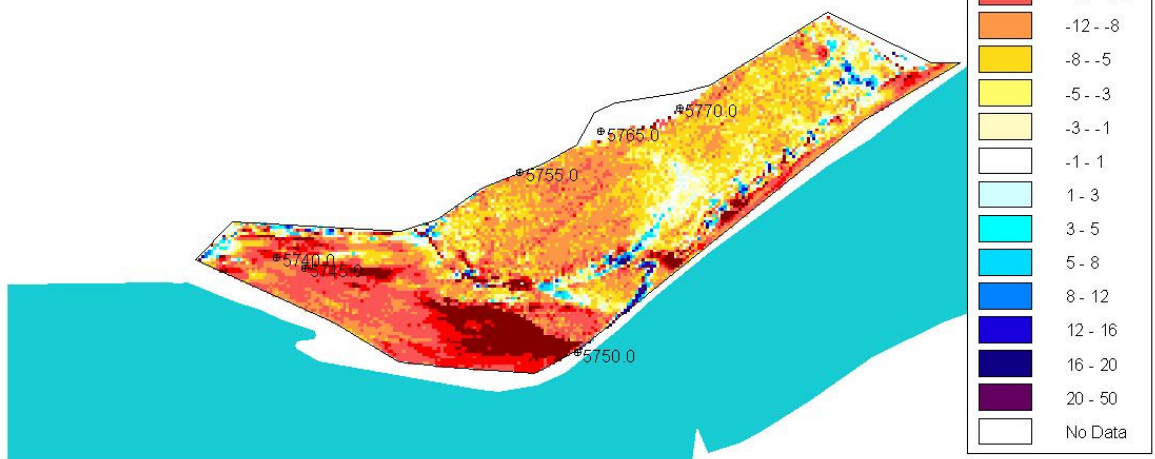
2001



2003

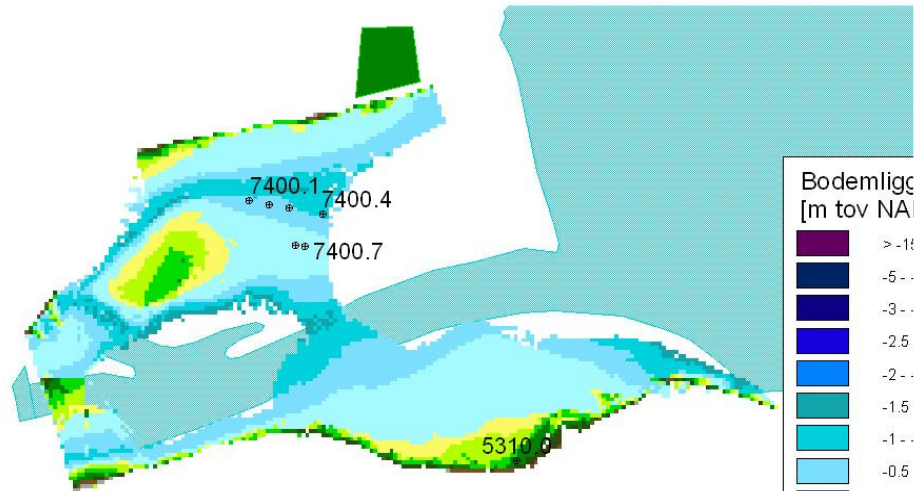


erosie / sedimentatie per jaar

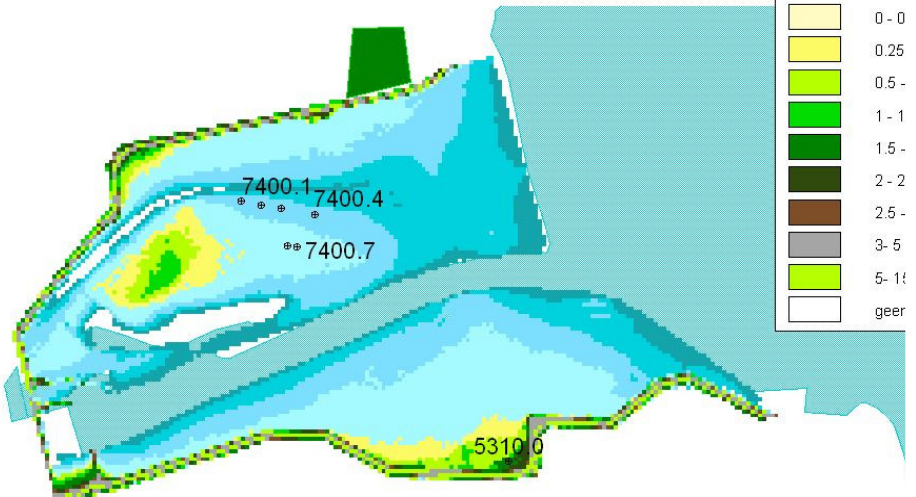


Bijlage 4-17 Zandkreekdam

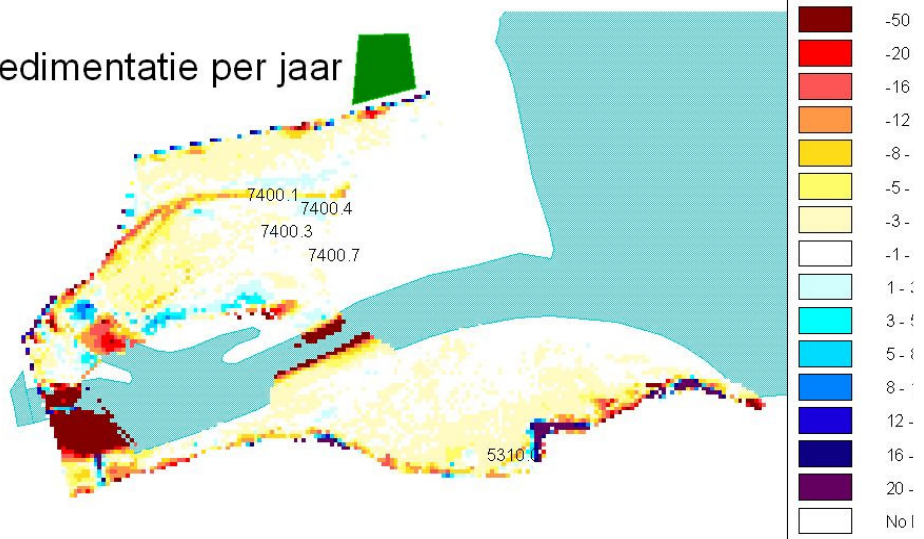
1991



2001



erosie / sedimentatie per jaar

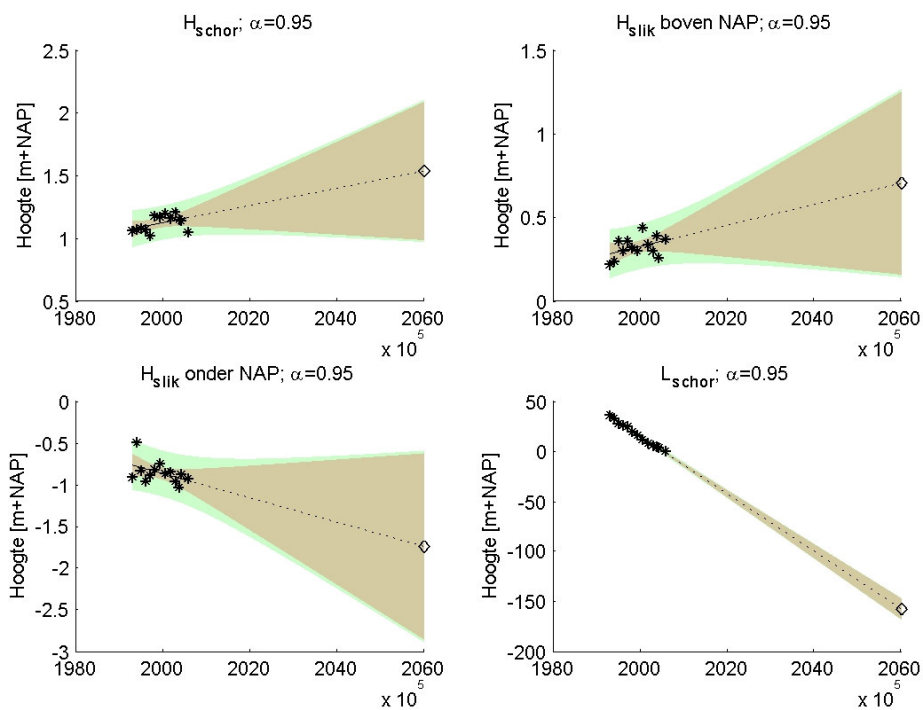


Bijlage 5

Prognose op basis van lineaire regressie

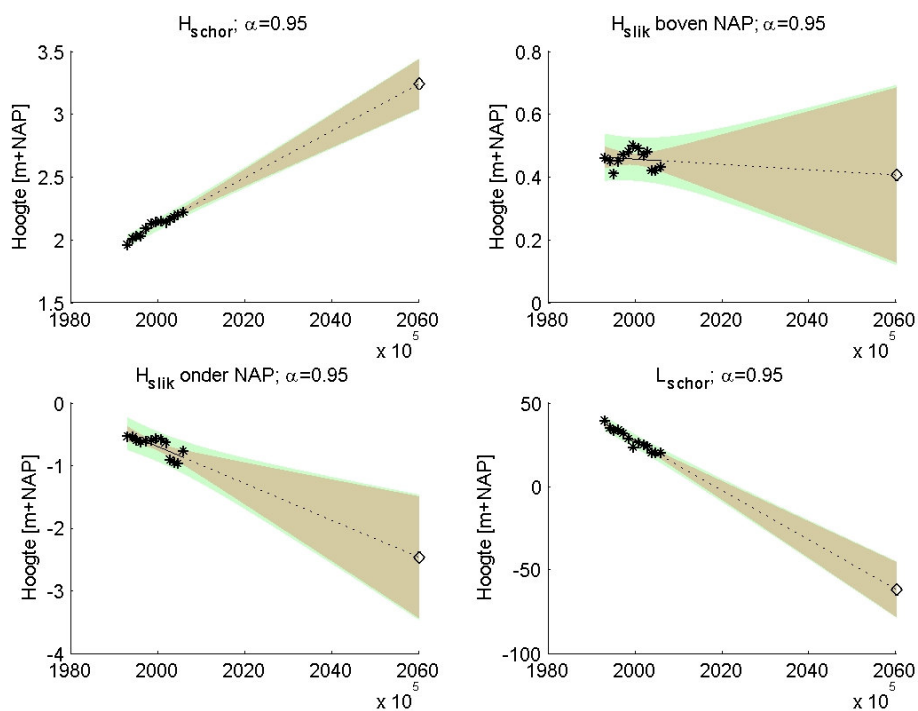
Bijlage 5-1

Ontwikkeling schor en slik anna-jac5860



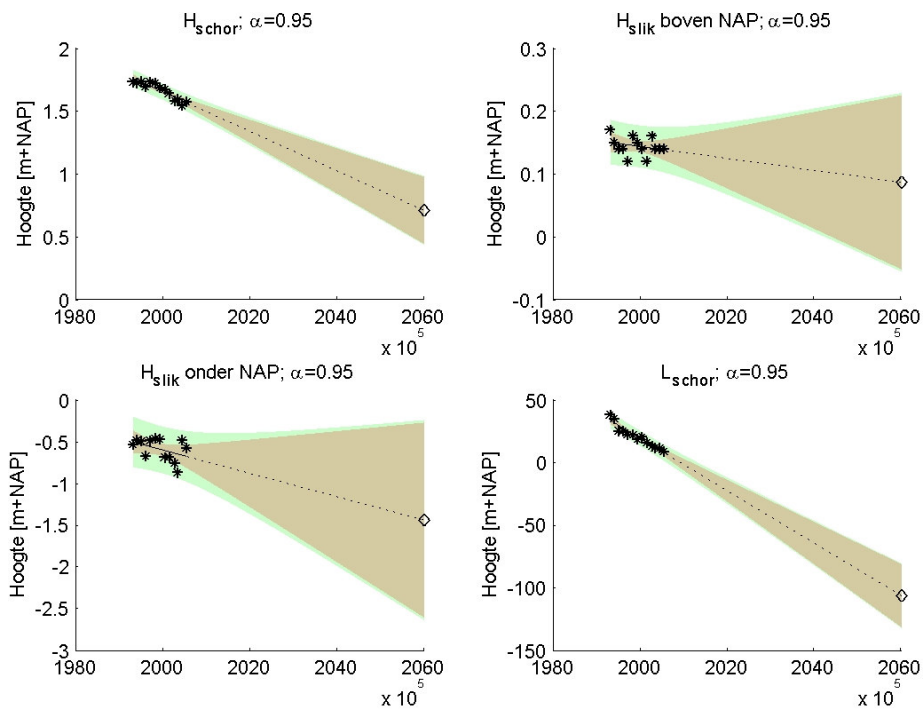
Bijlage 5-2

Ontwikkeling schor en slik dortsman-5630



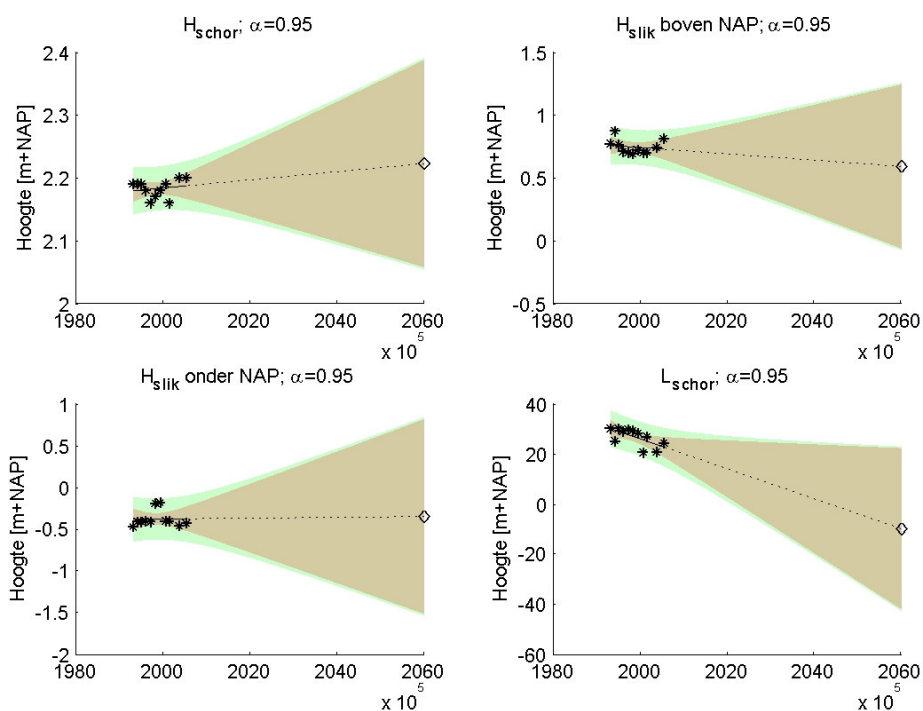
Bijlage 5-3

Ontwikkeling schor en slik Kats-5280



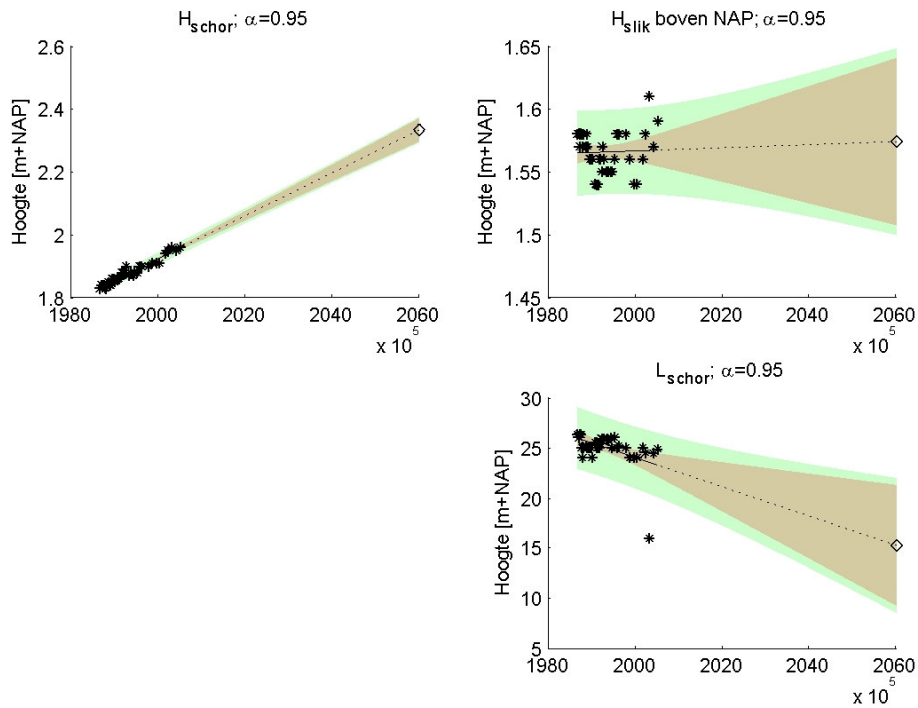
Bijlage 5-4

Ontwikkeling schor en slik krabbend-5660



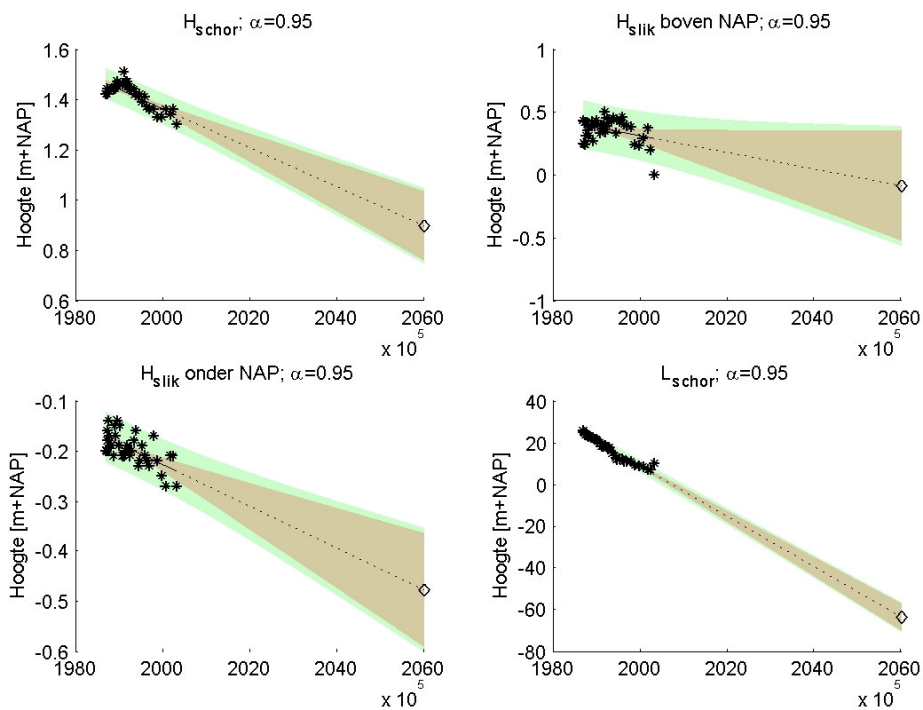
Bijlage 5-5

Ontwikkeling schor en slik rattekaai-5690

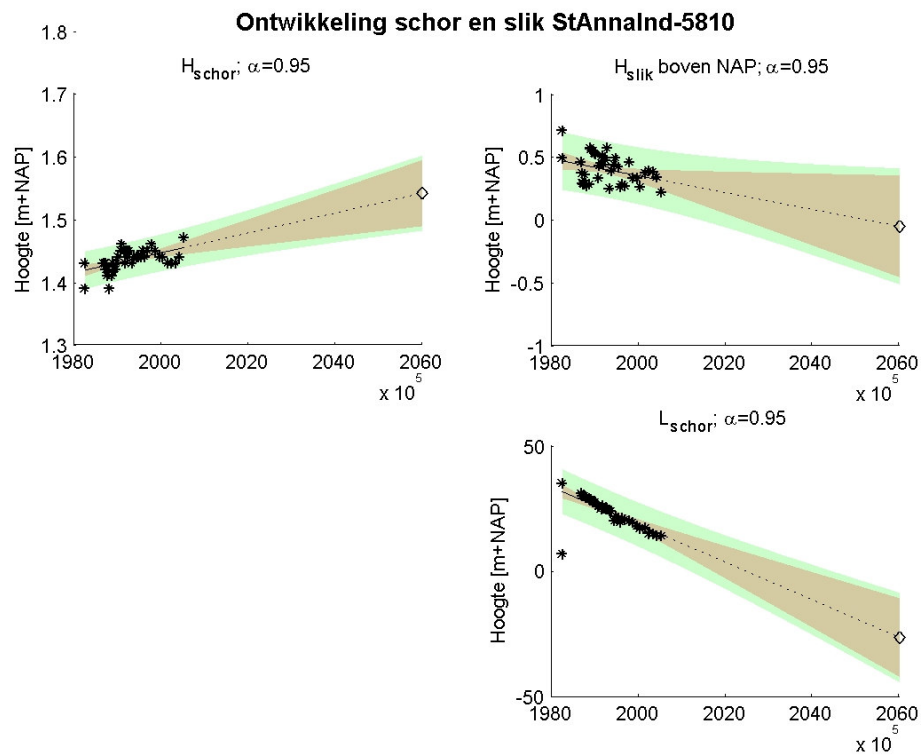


Bijlage 5-6

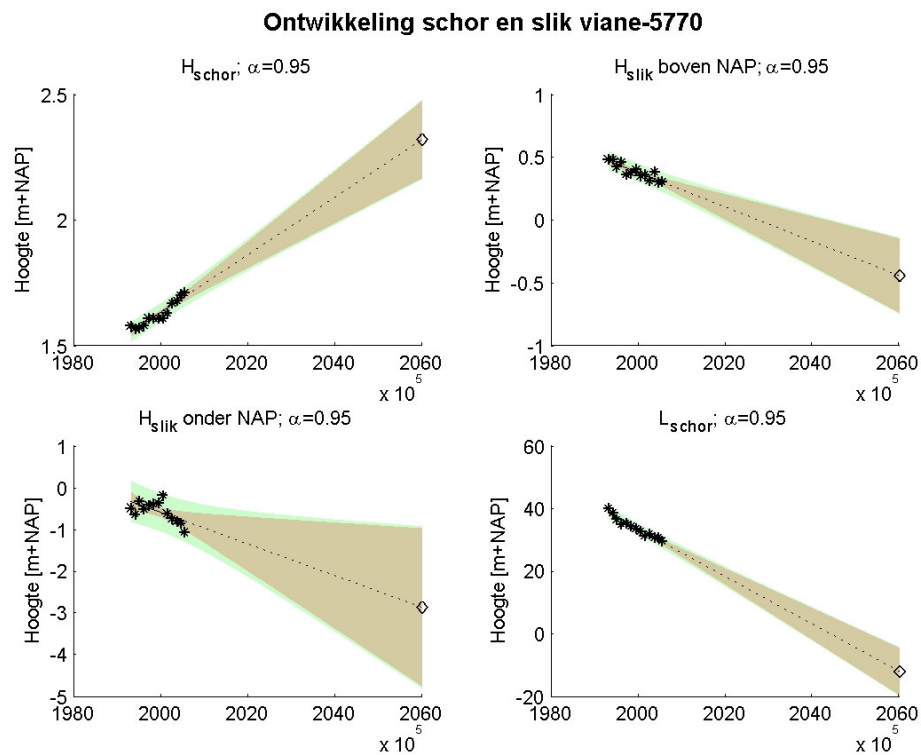
Ontwikkeling schor en slik Slaak-5890-m



Bijlage 5-7

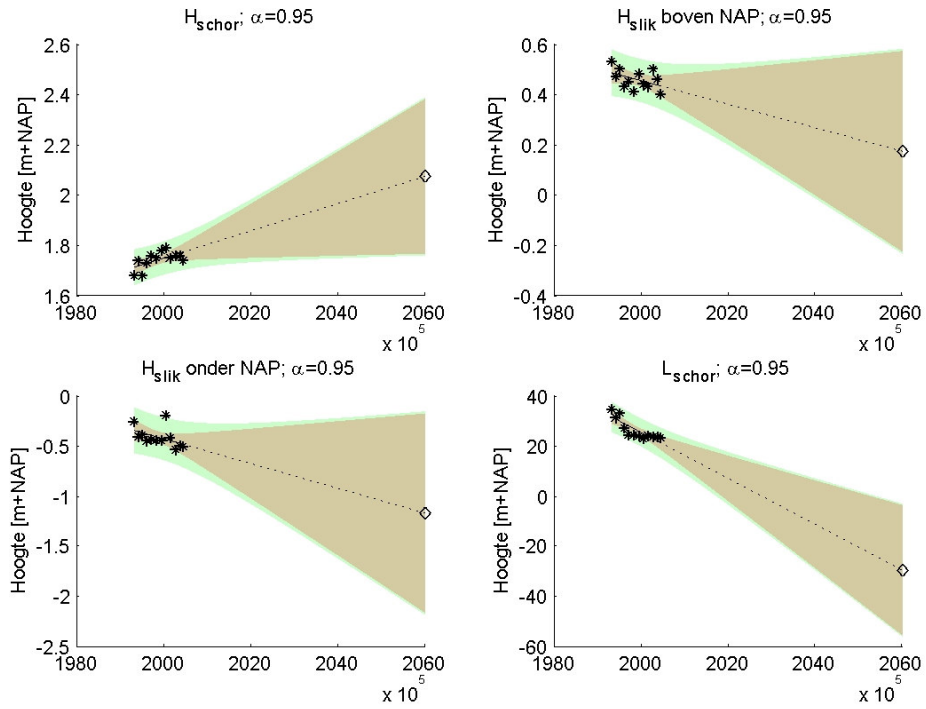


Bijlage 5-8



Bijlage 5-9

Ontwikkeling schor en slik Zandkreek-5310



Bijlage 6

Prognose op basis van lineaire voorspelling

Bijlage 6.1 Prognose positie schorrand tot 2060 (absolute waarden)

gebied	profiel [nr]	Pschor absoluut (t.o.v oorsprong raai) [m]							Delta Pschor (t.o.v oorsprong raai) [m]						
		2001	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2001	2010	2020	2030	2040	2050	2060
Anna Jacobapolder	5860	11.8	-14.0	-42.6	-71.2	-99.8	-128.4	-157.0	0.0	-25.7	-54.4	-83.0	-111.6	-140.2	-168.8
Anna Jacobapolder	5862.1														
Anna Jacobapolder	5862.2														
Anna Jacobapolder	5862.3														
Anna Jacobapolder	5862.4														
Anna Jacobapolder	5862.5														
Dortsman	5530														
Dortsman	5540														
Dortsman	5550														
Dortsman	5560														
Dortsman	5570														
Dortsman	5580														
Dortsman	5590	33.5	32.3	30.9	29.6	28.2	26.8	25.4	0.0	-1.2	-2.6	-4.0	-5.4	-6.7	-8.1
Dortsman	5600														
Dortsman	5610														
Dortsman	5620	18.4	5.4	-8.9	-23.3	-37.7	-52.1	-66.5	0.0	-12.9	-27.3	-41.7	-56.1	-70.5	-84.8
Dortsman	5630	25.4	12.1	-2.6	-17.3	-32.1	-46.8	-61.5	0.0	-13.3	-28.0	-42.7	-57.5	-72.2	-86.9
Kats	5280	16.9	-1.9	-22.7	-43.5	-64.3	-85.1	-106.0	0.0	-18.7	-39.6	-60.4	-81.2	-102.0	-122.8
Krabbendijke	5650	30.4	21.4	11.5	1.6	-8.3	-18.3	-28.2	0.0	-8.9	-18.8	-28.8	-38.7	-48.6	-58.5
Krabbendijke	5660	25.3	19.9	14.0	8.0	2.1	-3.9	-9.8	0.0	-5.4	-11.3	-17.2	-23.2	-29.1	-35.1
Rattekaai	5670	13.5	6.9	-0.3	-7.6	-14.9	-22.2	-29.5	0.0	-6.6	-13.8	-21.1	-28.4	-35.7	-42.9
Rattekaai	5680														
Rattekaai	5685														
Rattekaai	5690	23.9	22.6	21.1	19.7	18.2	16.7	15.3	0.0	-1.3	-2.8	-4.2	-5.7	-7.1	-8.6
Rattekaai	5695														
Rattekaai	5725														
Slaak	5870	11.1	1.1	-10.1	-21.3	-32.4	-43.6	-54.8	0.0	-10.1	-21.2	-32.4	-43.6	-54.7	-65.9
Slaak	5880	32.6	31.0	29.2	27.3	25.5	23.7	21.8	0.0	-1.6	-3.5	-5.3	-7.1	-9.0	-10.8
Slaak	5890	7.2	-3.8	-16.0	-28.3	-40.5	-52.7	-64.9	0.0	-11.0	-23.2	-35.4	-47.6	-59.9	-72.1
Slaak	5890.3	40.8	35.2	29.0	22.8	16.7	10.5	4.3	0.0	-5.6	-11.8	-17.9	-24.1	-30.3	-36.5
Slaak	5890-m	7.4	-3.4	-15.4	-27.4	-39.3	-51.3	-63.3	0.0	-10.8	-22.8	-34.8	-46.7	-58.7	-70.7
Slaak	5900	10.6	3.1	-5.1	-13.4	-21.6	-29.9	-38.1	0.0	-7.4	-15.7	-23.9	-32.2	-40.4	-48.7
Slaak	5904	17.2	12.1	6.6	1.0	-4.6	-10.2	-15.7	0.0	-5.0	-10.6	-16.2	-21.7	-27.3	-32.9
Sint Annaland	5810	17.8	11.1	3.6	-3.9	-11.4	-18.8	-26.3	0.0	-6.7	-14.2	-21.7	-29.2	-36.7	-44.1
Sint Annaland	5810.2	-8.4	-18.2	-29.0	-39.8	-50.6	-61.5	-72.3	0.0	-9.7	-20.6	-31.4	-42.2	-53.1	-63.9
Sint Annaland	5815	5.0	-3.8	-13.5	-23.2	-32.9	-42.6	-52.3	0.0	-8.7	-18.4	-28.1	-37.8	-47.5	-57.2
Sint Annaland	5820	16.0	10.8	5.0	-0.7	-6.5	-12.3	-18.0	0.0	-5.2	-11.0	-16.7	-22.5	-28.2	-34.0
Sint Annaland	5825	25.4	22.6	19.4	16.3	13.2	10.1	7.0	0.0	-2.8	-5.9	-9.1	-12.2	-15.3	-18.4
Sint Annaland	5830	28.3	27.7	27.1	26.4	25.8	25.2	24.6	0.0	-0.6	-1.2	-1.8	-2.5	-3.1	-3.7
Sint Annaland	5835	1.5	-13.8	-30.8	-47.8	-64.8	-81.8	-98.8	0.0	-15.3	-32.3	-49.3	-66.3	-83.3	-100.3
Sint Annaland	5840														
Sint Annaland	5845														
Viane	5740														
Viane	5745														
Viane	5750														
Viane	5755														
Viane	5765	35.3	36.9	38.6	40.4	42.1	43.8	45.6	0.0	1.6	3.3	5.1	6.8	8.5	10.3
Viane	5770	32.6	25.9	18.3	10.8	3.2	-4.3	-11.8	0.0	-6.8	-14.3	-21.9	-29.4	-37.0	-44.5
Zandkreek	5310	24.3	16.1	7.0	-2.1	-11.3	-20.4	-29.5	0.0	-8.2	-17.3	-26.4	-35.5	-44.7	-53.8

Bijlage 6.2 Prognose gemiddelde hoogteligging schor onder NAP tot 2060

gebied	profiel [nr]	Hschor absoluut [m. t.o.v. NAP]							Delta Hschor (t.o.v waarde 2001) [m]						
		2001	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2001	2010	2020	2030	2040	2050	2060
Anna Jacobapolder	5860	1.17	1.30	1.45	1.61	1.77	1.93	2.09	0.00	0.13	0.28	0.44	0.60	0.76	0.92
Anna Jacobapolder	5862.1														
Anna Jacobapolder	5862.2														
Anna Jacobapolder	5862.3														
Anna Jacobapolder	5862.4														
Anna Jacobapolder	5862.5														
Dortsman	5530														
Dortsman	5540														
Dortsman	5550														
Dortsman	5560														
Dortsman	5570														
Dortsman	5580														
Dortsman	5590	1.86	1.96	2.08	2.20	2.32	2.44	2.56	0.00	0.10	0.22	0.34	0.46	0.58	0.71
Dortsman	5600														
Dortsman	5610														
Dortsman	5620	2.09	2.22	2.38	2.53	2.69	2.84	3.00	0.00	0.13	0.28	0.44	0.59	0.75	0.90
Dortsman	5630	2.15	2.34	2.56	2.78	3.00	3.22	3.43	0.00	0.19	0.41	0.63	0.84	1.06	1.28
Kats	5280	1.65	1.54	1.43	1.31	1.20	1.09	0.97	0.00	-0.11	-0.22	-0.34	-0.45	-0.57	-0.68
Krabbendijke	5650	2.27	2.32	2.38	2.45	2.51	2.58	2.65	0.00	0.05	0.12	0.18	0.25	0.31	0.38
Krabbendijke	5660	2.20	2.22	2.25	2.29	2.32	2.35	2.39	0.00	0.03	0.06	0.09	0.12	0.16	0.19
Rattekaai	5670	2.46	2.46	2.46	2.47	2.47	2.47	2.47	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
Rattekaai	5680														
Rattekaai	5685														
Rattekaai	5690	1.94	2.00	2.07	2.15	2.22	2.30	2.37	0.00	0.07	0.14	0.21	0.29	0.36	0.43
Rattekaai	5695														
Rattekaai	5725														
Slaak	5870	1.53	1.61	1.71	1.82	1.93	2.04	2.15	0.00	0.08	0.19	0.30	0.40	0.51	0.62
Slaak	5880	1.47	1.51	1.56	1.61	1.66	1.71	1.76	0.00	0.04	0.09	0.14	0.19	0.24	0.29
Slaak	5890	1.37	1.33	1.27	1.22	1.17	1.12	1.06	0.00	-0.05	-0.10	-0.15	-0.21	-0.26	-0.31
Slaak	5890.3	1.43	1.46	1.50	1.54	1.58	1.63	1.67	0.00	0.03	0.07	0.11	0.15	0.19	0.24
Slaak	5890-m	1.37	1.32	1.26	1.21	1.15	1.09	1.04	0.00	-0.05	-0.11	-0.17	-0.22	-0.28	-0.34
Slaak	5900	1.53	1.59	1.67	1.76	1.84	1.92	2.00	0.00	0.06	0.14	0.23	0.31	0.39	0.47
Slaak	5904	1.88	1.89	1.91	1.92	1.94	1.96	1.97	0.00	0.01	0.03	0.05	0.06	0.08	0.10
Sint Annaland	5810	1.46	1.48	1.50	1.52	1.55	1.57	1.59	0.00	0.02	0.04	0.07	0.09	0.11	0.14
Sint Annaland	5810.2	1.53	1.62	1.76	1.90	2.04	2.19	2.33	0.00	0.10	0.23	0.37	0.52	0.66	0.81
Sint Annaland	5815	1.18	1.22	1.27	1.31	1.36	1.40	1.45	0.00	0.04	0.08	0.13	0.17	0.22	0.26
Sint Annaland	5820	1.13	1.13	1.14	1.14	1.15	1.15	1.16	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
Sint Annaland	5825	1.75	1.77	1.80	1.82	1.85	1.87	1.90	0.00	0.02	0.04	0.07	0.09	0.12	0.14
Sint Annaland	5830	1.53	1.53	1.52	1.52	1.51	1.51	1.51	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03
Sint Annaland	5835	1.36	1.36	1.36	1.37	1.37	1.38	1.38	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03
Sint Annaland	5840														
Sint Annaland	5845														
Viane	5740														
Viane	5745														
Viane	5750														
Viane	5755														
Viane	5765	1.80	1.88	1.98	2.08	2.18	2.27	2.37	0.00	0.08	0.18	0.28	0.38	0.48	0.58
Viane	5770	1.65	1.78	1.91	2.05	2.19	2.33	2.47	0.00	0.12	0.26	0.40	0.54	0.68	0.82
Zandkreek	5310	1.78	1.86	1.97	2.07	2.17	2.28	2.38	0.00	0.09	0.19	0.29	0.40	0.50	0.61

Bijlage 6.3 Prognose hoogteligging slik boven NAP tot 2060

gebied	profiel [nr]	Hslik+ absoluut [m. t.o.v. NAP]							Delta Hslik+ (t.o.v waarde 2001) [m]						
		2001	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2001	2010	2020	2030	2040	2050	2060
Anna Jacobapolder	5860	0.33	0.39	0.45	0.52	0.58	0.64	0.70	0.00	0.06	0.12	0.18	0.25	0.31	0.37
Anna Jacobapolder	5862.1														
Anna Jacobapolder	5862.2														
Anna Jacobapolder	5862.3														
Anna Jacobapolder	5862.4														
Anna Jacobapolder	5862.5														
Dortsman	5530	-0.22	-0.40	-0.60	-0.80	-1.00	-1.20	-1.40	0.00	-0.18	-0.38	-0.58	-0.78	-0.98	-1.18
Dortsman	5540	0.05	-0.12	-0.31	-0.50	-0.68	-0.87	-1.06	0.00	-0.17	-0.36	-0.54	-0.73	-0.92	-1.11
Dortsman	5550														
Dortsman	5560	0.30	0.46	0.64	0.81	0.99	1.17	1.35	0.00	0.16	0.34	0.52	0.69	0.87	1.05
Dortsman	5570	0.05	-0.09	-0.25	-0.41	-0.57	-0.73	-0.88	0.00	-0.14	-0.30	-0.46	-0.62	-0.78	-0.94
Dortsman	5580														
Dortsman	5590	0.95	0.96	0.98	0.99	1.01	1.02	1.03	0.00	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09
Dortsman	5600	0.88	1.22	1.60	1.99	2.37	2.75	3.14	0.00	0.34	0.73	1.11	1.49	1.88	2.26
Dortsman	5610	1.13	1.72	2.38	3.04	3.70	4.36	5.02	0.00	0.59	1.25	1.91	2.57	3.23	3.89
Dortsman	5620	0.89	0.86	0.82	0.79	0.76	0.72	0.69	0.00	-0.03	-0.07	-0.10	-0.13	-0.17	-0.20
Dortsman	5630	0.45	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.41	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05
Kats	5280	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.09	0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.06
Krabbendijke	5650	0.59	0.66	0.75	0.83	0.91	0.99	1.07	0.00	0.07	0.16	0.24	0.32	0.40	0.48
Krabbendijke	5660	0.74	0.71	0.69	0.66	0.64	0.61	0.59	0.00	-0.02	-0.05	-0.07	-0.10	-0.12	-0.15
Rattekaai	5670	1.63	1.53	1.42	1.31	1.21	1.10	0.99	0.00	-0.10	-0.20	-0.31	-0.42	-0.53	-0.63
Rattekaai	5680														
Rattekaai	5685	1.15	1.02	0.86	0.71	0.56	0.41	0.26	0.00	-0.14	-0.29	-0.44	-0.59	-0.74	-0.89
Rattekaai	5690	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Rattekaai	5695	1.03	0.86	0.67	0.48	0.29	0.10	-0.09	0.00	-0.17	-0.36	-0.55	-0.74	-0.93	-1.12
Rattekaai	5725	0.87	0.77	0.66	0.54	0.43	0.32	0.20	0.00	-0.10	-0.22	-0.33	-0.44	-0.56	-0.67
Slaak	5870	0.12	0.01	-0.11	-0.23	-0.35	-0.47	-0.58	0.00	-0.11	-0.22	-0.34	-0.46	-0.58	-0.70
Slaak	5880	0.20	0.06	-0.10	-0.26	-0.42	-0.57	-0.73	0.00	-0.14	-0.30	-0.46	-0.61	-0.77	-0.93
Slaak	5890	0.33	0.29	0.25	0.21	0.16	0.12	0.08	0.00	-0.04	-0.08	-0.13	-0.17	-0.21	-0.26
Slaak	5890.3														
Slaak	5890-m	0.30	0.24	0.18	0.11	0.04	-0.02	-0.09	0.00	-0.06	-0.13	-0.19	-0.26	-0.32	-0.39
Slaak	5900	0.11	-0.02	-0.17	-0.32	-0.47	-0.61	-0.76	0.00	-0.13	-0.28	-0.43	-0.58	-0.73	-0.88
Slaak	5904	0.99	0.93	0.86	0.80	0.73	0.67	0.60	0.00	-0.06	-0.12	-0.19	-0.26	-0.32	-0.39
Sint Annaland	5810	0.34	0.28	0.21	0.15	0.08	0.01	-0.05	0.00	-0.06	-0.13	-0.19	-0.26	-0.33	-0.40
Sint Annaland	5810.2	0.37	0.31	0.23	0.16	0.09	0.02	-0.05	0.00	-0.06	-0.14	-0.21	-0.28	-0.35	-0.42
Sint Annaland	5815	0.30	0.14	-0.04	-0.22	-0.40	-0.58	-0.76	0.00	-0.16	-0.34	-0.52	-0.70	-0.89	-1.07
Sint Annaland	5820	0.50	0.51	0.53	0.55	0.57	0.60	0.62	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12
Sint Annaland	5825	0.67	0.65	0.62	0.60	0.57	0.55	0.52	0.00	-0.02	-0.05	-0.07	-0.10	-0.12	-0.15
Sint Annaland	5830	0.38	0.35	0.33	0.30	0.27	0.24	0.22	0.00	-0.02	-0.05	-0.08	-0.11	-0.13	-0.16
Sint Annaland	5835	0.40	0.29	0.16	0.03	-0.10	-0.22	-0.35	0.00	-0.11	-0.24	-0.37	-0.50	-0.62	-0.75
Sint Annaland	5840	1.50	1.54	1.59	1.63	1.68	1.72	1.77	0.00	0.04	0.09	0.13	0.18	0.23	0.27
Sint Annaland	5845														
Viane	5740	1.28	1.43	1.60	1.77	1.94	2.11	2.28	0.00	0.15	0.32	0.49	0.66	0.83	1.00
Viane	5745	1.36	1.58	1.83	2.07	2.31	2.55	2.80	0.00	0.22	0.46	0.71	0.95	1.19	1.43
Viane	5750	0.78	0.70	0.61	0.52	0.42	0.33	0.24	0.00	-0.08	-0.17	-0.26	-0.36	-0.45	-0.54
Viane	5755	0.48	0.56	0.65	0.75	0.84	0.93	1.02	0.00	0.08	0.17	0.26	0.35	0.45	0.54
Viane	5765	0.47	0.48	0.48	0.49	0.49	0.50	0.50	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
Viane	5770	0.36	0.24	0.10	-0.04	-0.17	-0.31	-0.45	0.00	-0.12	-0.26	-0.40	-0.53	-0.67	-0.81
Zandkreek	5310	0.45	0.41	0.36	0.31	0.27	0.22	0.17	0.00	-0.04	-0.09	-0.14	-0.18	-0.23	-0.28

Bijlage 6.4 Prognose hoogteligging slik beneden NAP tot 2060

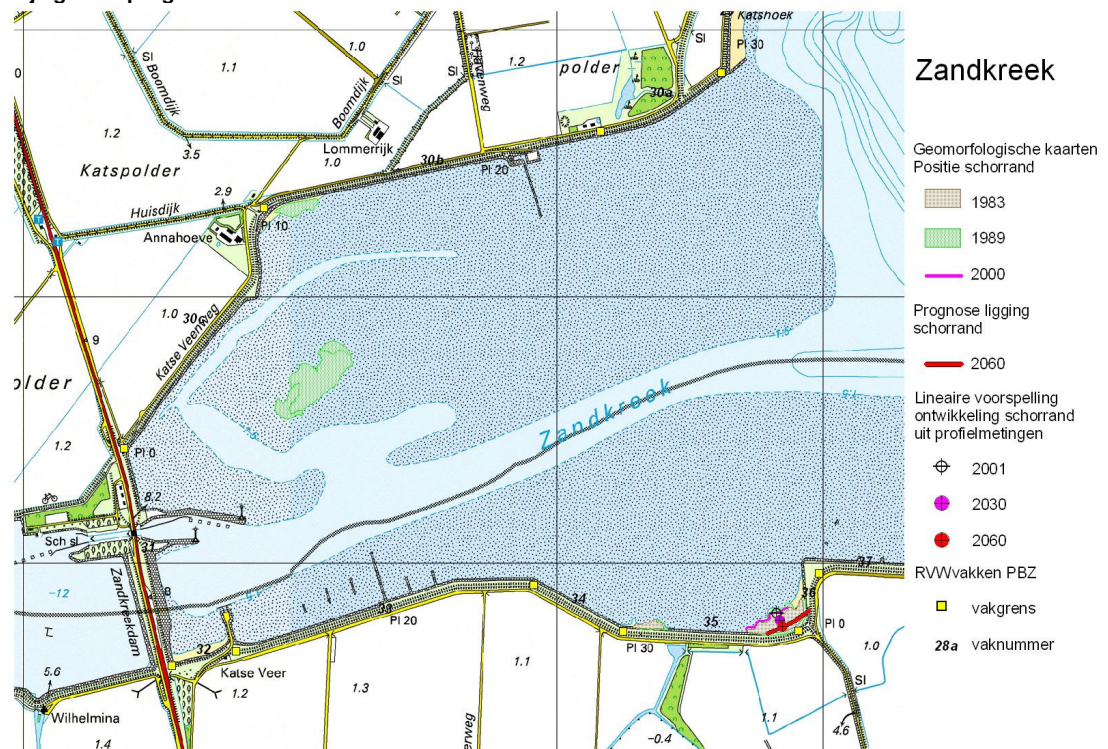
gebied	profiel [nr]	Hslik- absoluut [m. t.o.v. NAP]							Delta Hslik- (t.o.v waarde 2001) [m]						
		2001	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2001	2010	2020	2030	2040	2050	2060
Anna Jacobapolder	5860	-0.88	-1.01	-1.16	-1.30	-1.45	-1.59	-1.74	0.00	-0.13	-0.28	-0.42	-0.56	-0.71	-0.85
Anna Jacobapolder	5862.1														
Anna Jacobapolder	5862.2														
Anna Jacobapolder	5862.3														
Anna Jacobapolder	5862.4														
Anna Jacobapolder	5862.5														
Dortsman	5530	-0.84	-1.06	-1.30	-1.54	-1.78	-2.02	-2.26	0.00	-0.22	-0.46	-0.70	-0.94	-1.18	-1.43
Dortsman	5540	-0.44	-0.14	0.18	0.51	0.84	1.17	1.49	0.00	0.29	0.62	0.95	1.28	1.60	1.93
Dortsman	5550	-0.24	-0.28	-0.32	-0.36	-0.39	-0.43	-0.47	0.00	-0.03	-0.07	-0.11	-0.15	-0.19	-0.23
Dortsman	5560	-0.88	-1.01	-1.15	-1.29	-1.43	-1.57	-1.71	0.00	-0.13	-0.27	-0.41	-0.55	-0.69	-0.83
Dortsman	5570	-0.60	-0.50	-0.38	-0.26	-0.14	-0.02	0.10	0.00	0.11	0.23	0.35	0.47	0.59	0.71
Dortsman	5580	-0.33	-0.34	-0.34	-0.34	-0.35	-0.35	-0.36	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03
Dortsman	5590														
Dortsman	5600	-0.87	-0.81	-0.75	-0.69	-0.63	-0.57	-0.51	0.00	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36
Dortsman	5610	-0.92	-0.94	-0.97	-1.00	-1.03	-1.06	-1.09	0.00	-0.03	-0.06	-0.09	-0.11	-0.14	-0.17
Dortsman	5620														
Dortsman	5630	-0.73	-1.00	-1.29	-1.58	-1.88	-2.17	-2.46	0.00	-0.26	-0.56	-0.85	-1.14	-1.44	-1.73
Kats	5280	-0.62	-0.74	-0.88	-1.02	-1.16	-1.30	-1.44	0.00	-0.13	-0.26	-0.40	-0.54	-0.68	-0.82
Krabbendijke	5650	-0.41	-0.45	-0.51	-0.56	-0.62	-0.67	-0.73	0.00	-0.05	-0.10	-0.16	-0.21	-0.27	-0.32
Krabbendijke	5660	-0.38	-0.37	-0.37	-0.36	-0.36	-0.35	-0.35	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
Rattekaai	5670														
Rattekaai	5680														
Rattekaai	5685	0.03	-0.15	-0.36	-0.56	-0.77	-0.97	-1.18	0.00	-0.19	-0.39	-0.60	-0.80	-1.01	-1.22
Rattekaai	5690														
Rattekaai	5695	0.08	0.25	0.43	0.60	0.78	0.96	1.14	0.00	0.16	0.34	0.52	0.70	0.88	1.06
Rattekaai	5725	-0.24	-0.33	-0.44	-0.54	-0.64	-0.75	-0.85	0.00	-0.09	-0.20	-0.30	-0.40	-0.51	-0.61
Slaak	5870	-0.61	-0.78	-0.96	-1.14	-1.32	-1.50	-1.68	0.00	-0.16	-0.34	-0.53	-0.71	-0.89	-1.07
Slaak	5880	-0.59	-0.66	-0.74	-0.82	-0.90	-0.97	-1.05	0.00	-0.07	-0.15	-0.23	-0.31	-0.38	-0.46
Slaak	5890	-0.23	-0.26	-0.30	-0.34	-0.38	-0.42	-0.45	0.00	-0.03	-0.07	-0.11	-0.15	-0.19	-0.22
Slaak	5890.3	-0.59	-0.61	-0.63	-0.65	-0.67	-0.69	-0.72	0.00	-0.02	-0.04	-0.06	-0.09	-0.11	-0.13
Slaak	5890-m	-0.23	-0.27	-0.31	-0.35	-0.39	-0.43	-0.48	0.00	-0.04	-0.08	-0.12	-0.16	-0.20	-0.24
Slaak	5900	-0.69	-0.84	-1.02	-1.19	-1.36	-1.54	-1.71	0.00	-0.16	-0.33	-0.50	-0.68	-0.85	-1.02
Slaak	5904														
Sint Annaland	5810														
Sint Annaland	5810.2														
Sint Annaland	5815														
Sint Annaland	5820														
Sint Annaland	5825	-0.35	-0.34	-0.33	-0.32	-0.31	-0.30	-0.29	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
Sint Annaland	5830	-0.24	-0.24	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Sint Annaland	5835														
Sint Annaland	5840														
Sint Annaland	5845														
Viane	5740	-0.85	-0.63	-0.38	-0.14	0.11	0.35	0.60	0.00	0.22	0.46	0.71	0.95	1.20	1.44
Viane	5745	-0.97	-0.79	-0.60	-0.40	-0.20	-0.01	0.19	0.00	0.18	0.37	0.57	0.77	0.96	1.16
Viane	5750	-0.41	-0.46	-0.52	-0.58	-0.65	-0.71	-0.77	0.00	-0.06	-0.12	-0.18	-0.24	-0.30	-0.36
Viane	5755	-0.59	-0.45	-0.30	-0.15	0.00	0.15	0.30	0.00	0.13	0.28	0.43	0.58	0.73	0.88
Viane	5765														
Viane	5770	-0.63	-0.97	-1.35	-1.73	-2.10	-2.48	-2.86	0.00	-0.34	-0.72	-1.09	-1.47	-1.85	-2.22
Zandkreek	5310	-0.44	-0.56	-0.68	-0.80	-0.92	-1.05	-1.17	0.00	-0.11	-0.23	-0.36	-0.48	-0.60	-0.72

Bijlage 7
Kaartjes voorspelling 2060
Positie schorrand

Bijlage 7-1 prognose schorrand kats



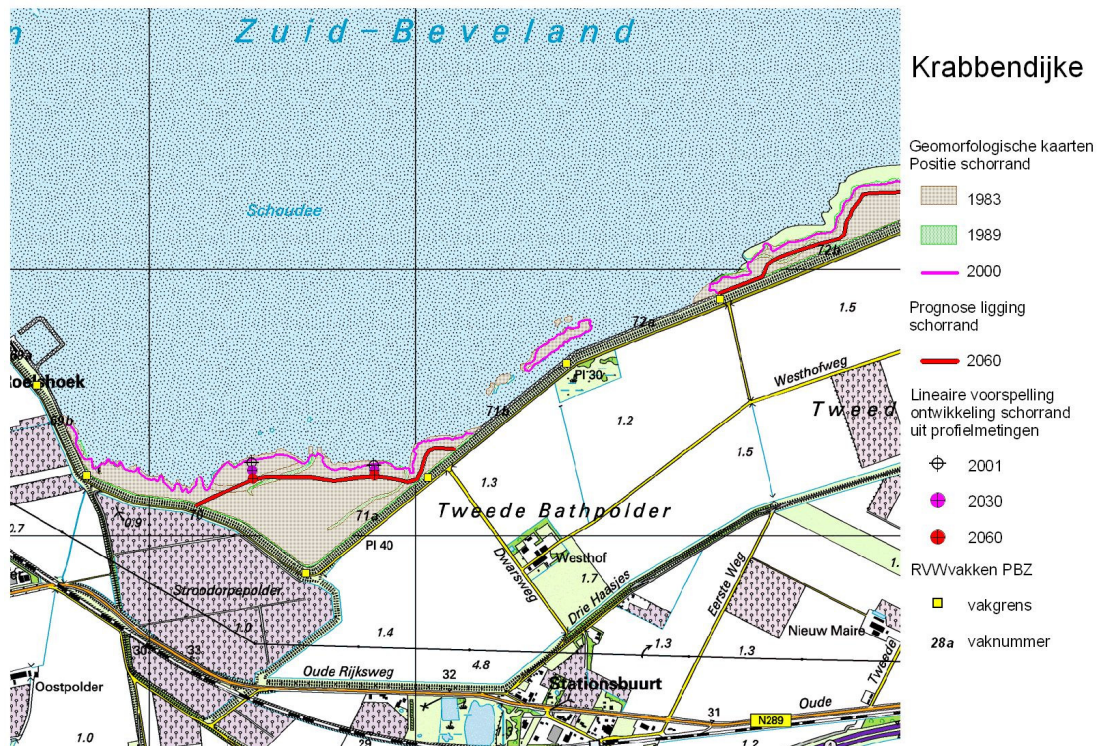
Bijlage 7-2 prognose schorrand Zandkreek



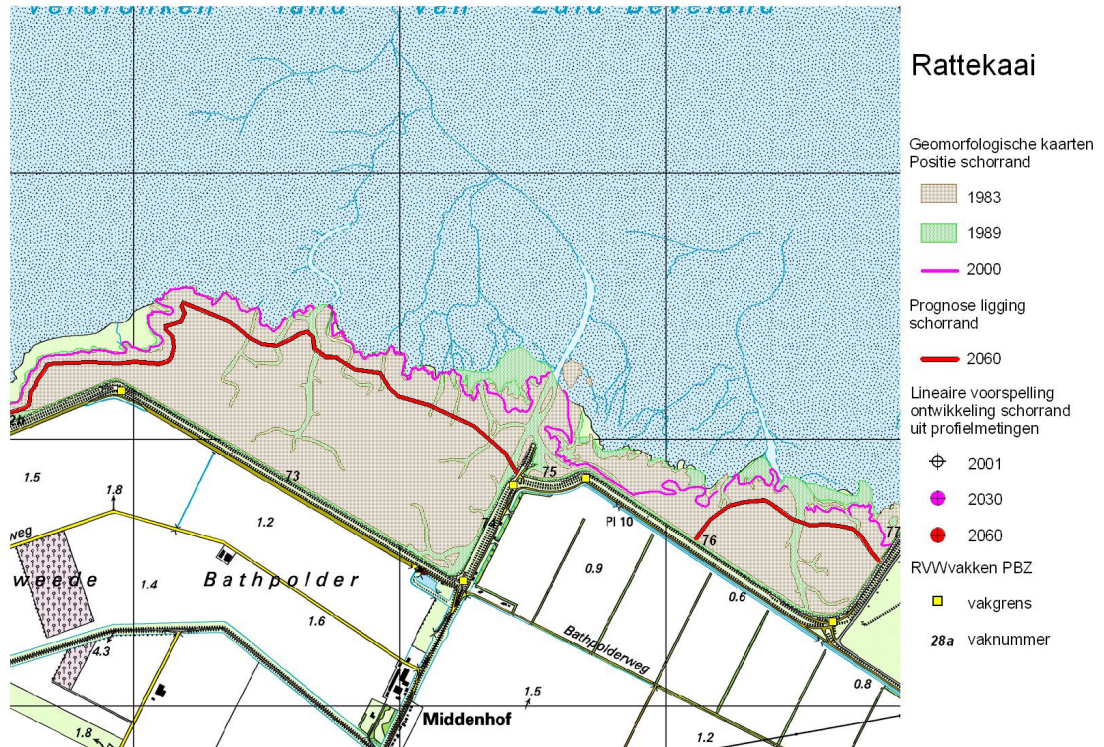
Bijlage 7-3 prognose schorrand Yerseke



Bijlage 7-4 prognose schorrand Krabbendijke



Bijlage 7-5 prognose schorrand Rattekaai



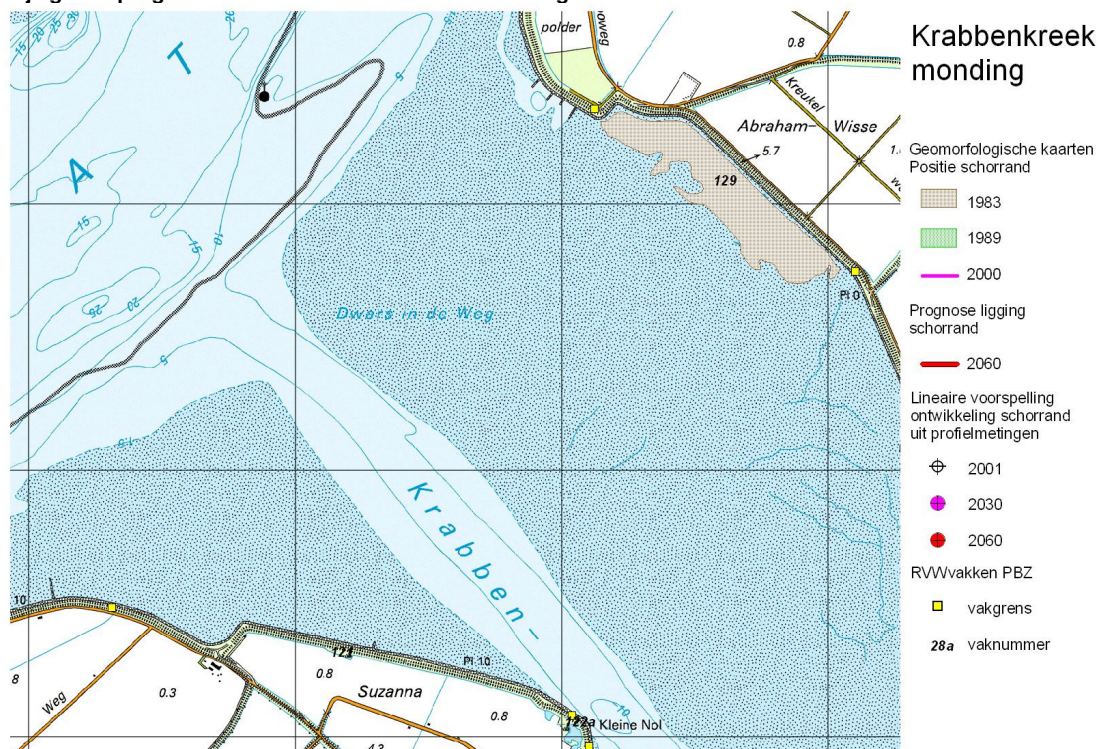
Bijlage 7-6 prognose schorrand Dortsman zuid



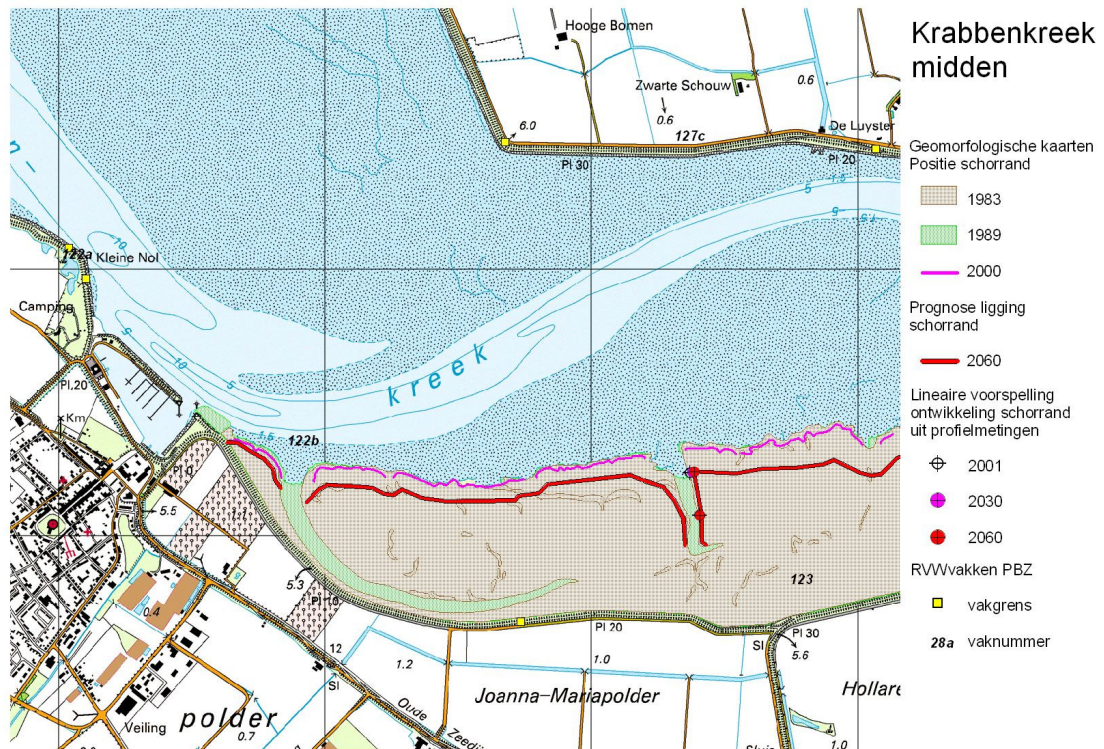
Bijlage 7-7 prognose schorrand Dortsman



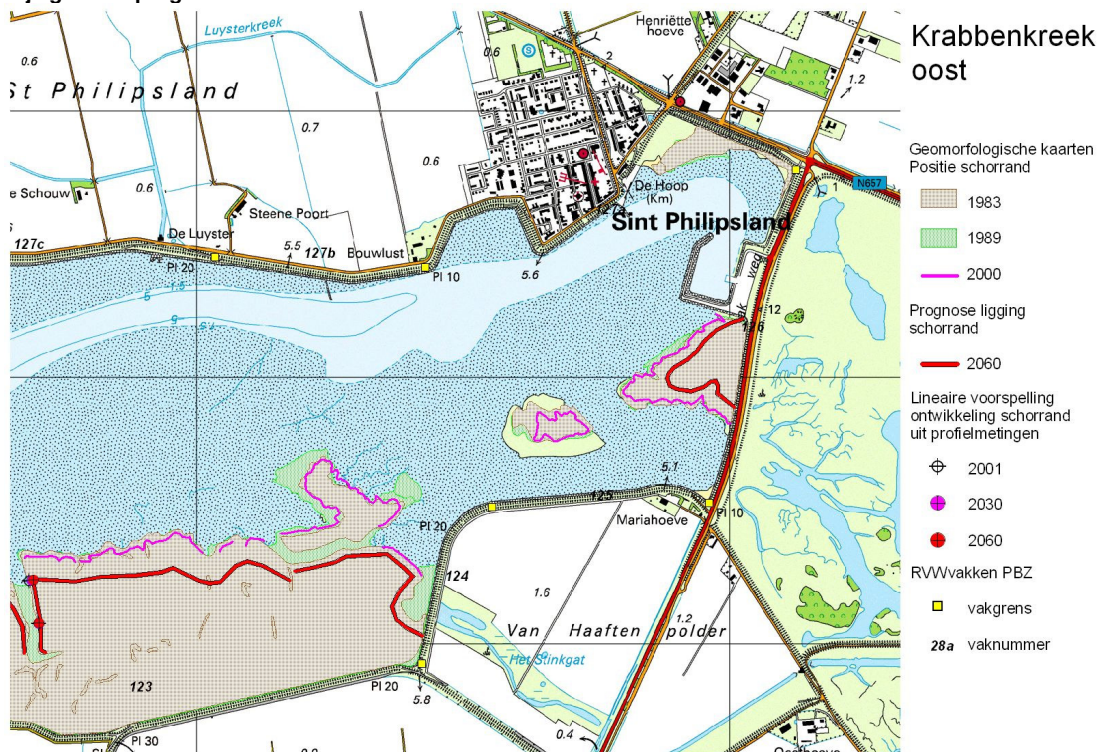
Bijlage 7-8 prognose schorrand Krabbenkreek monding



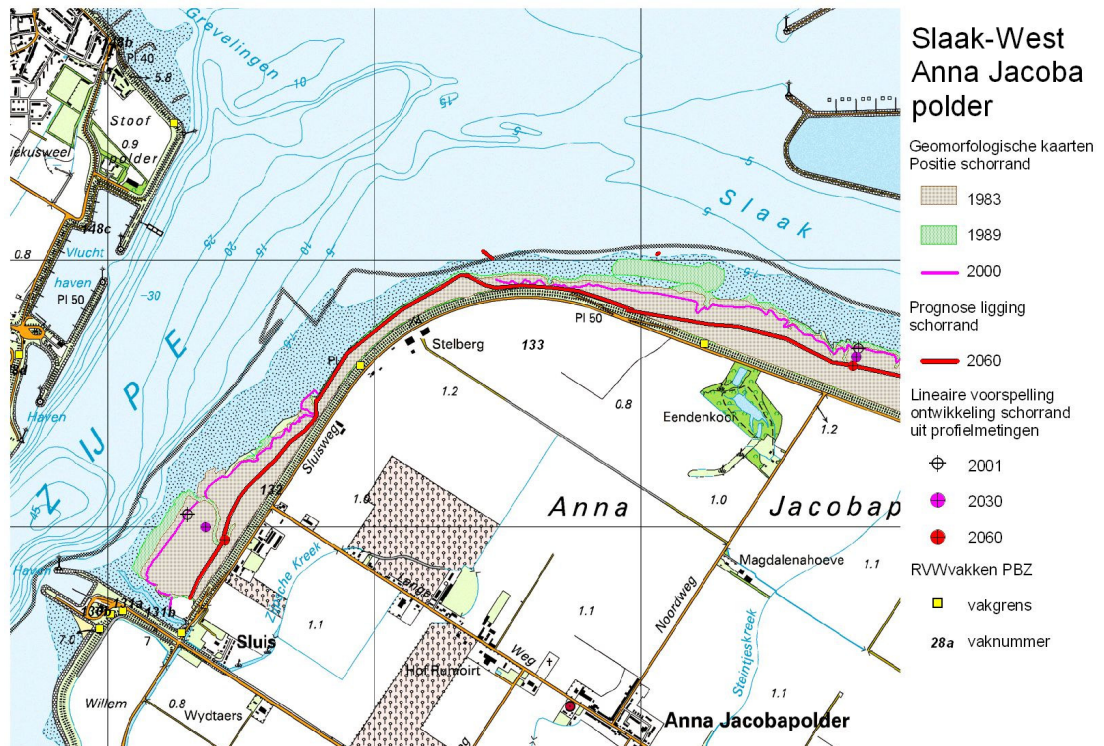
Bijlage 7-9 prognose schorrand Krabbenkreek midden



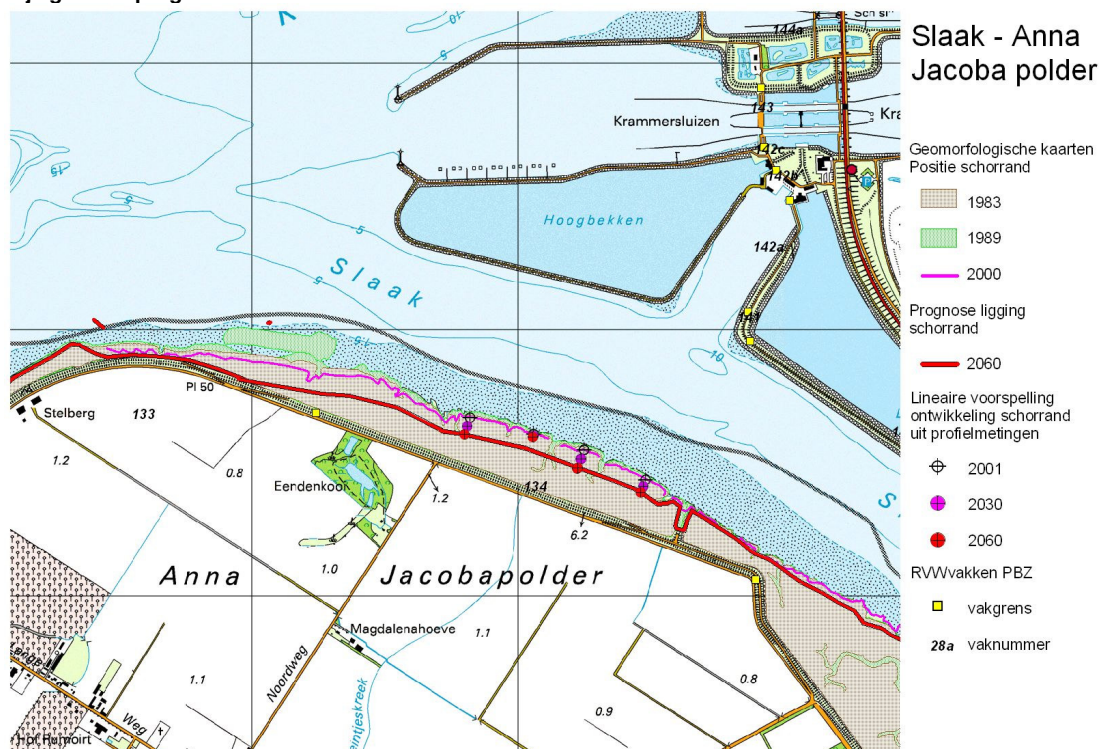
Bijlage 7-10 prognose schorrand Krabbenkreek Oost



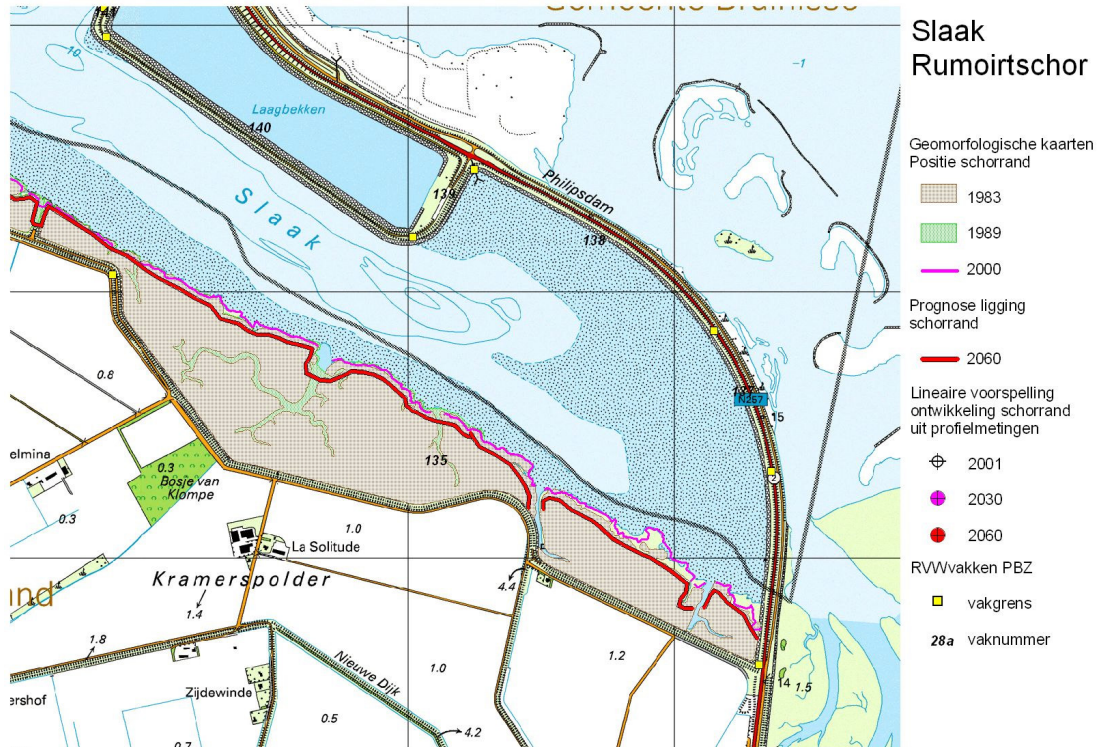
Bijlage 7-11 prognose schorrand Slaak West



Bijlage 7-12 prognose schorrand Slaak



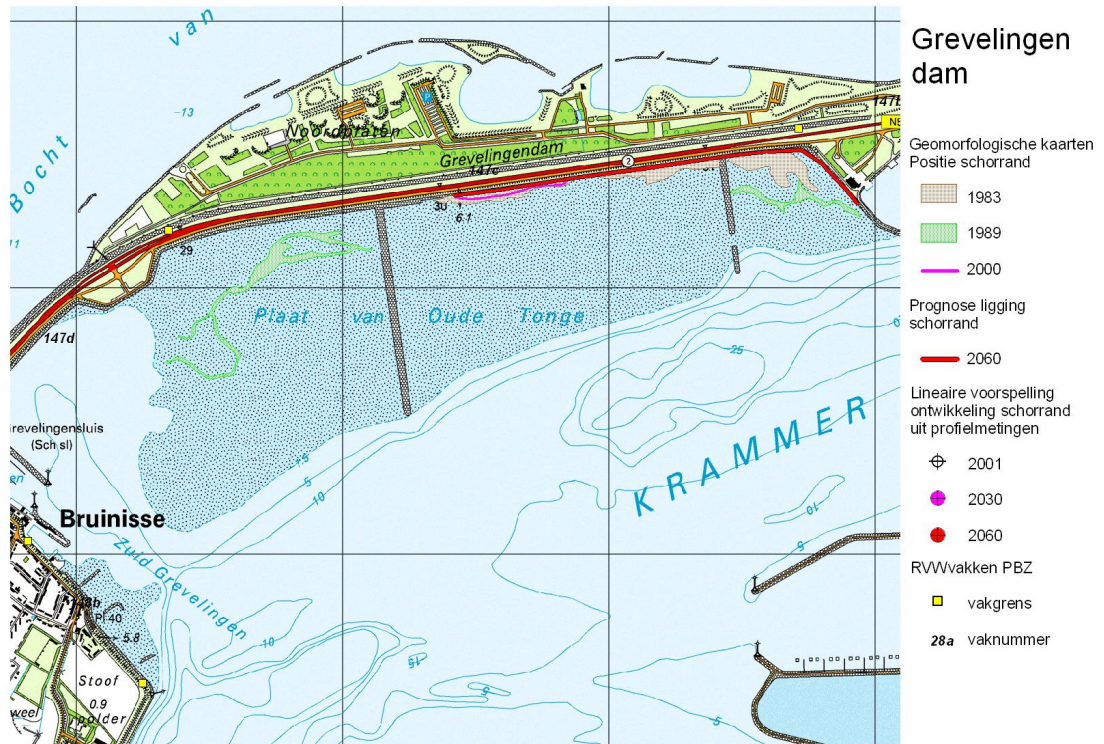
Bijlage 7-13 prognose schorrand Rumoirtschor



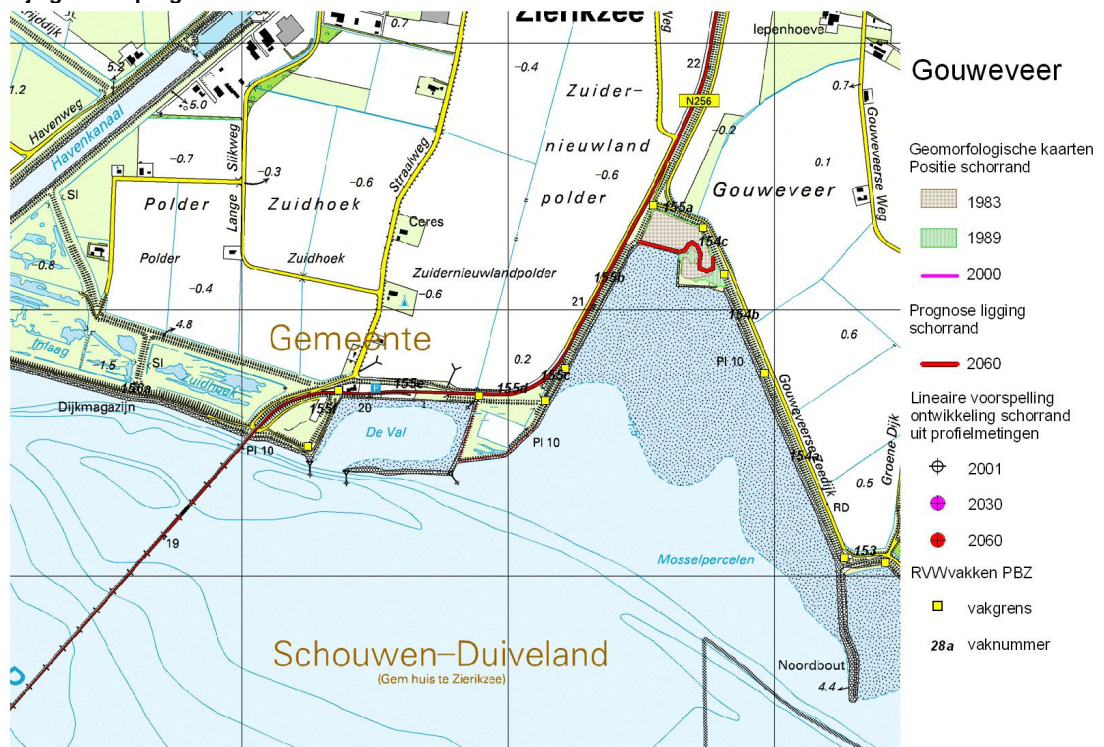
Bijlage 7-14 prognose schorrand Viane



Bijlage 7-15 prognose schorrand bij de Grevelingendam



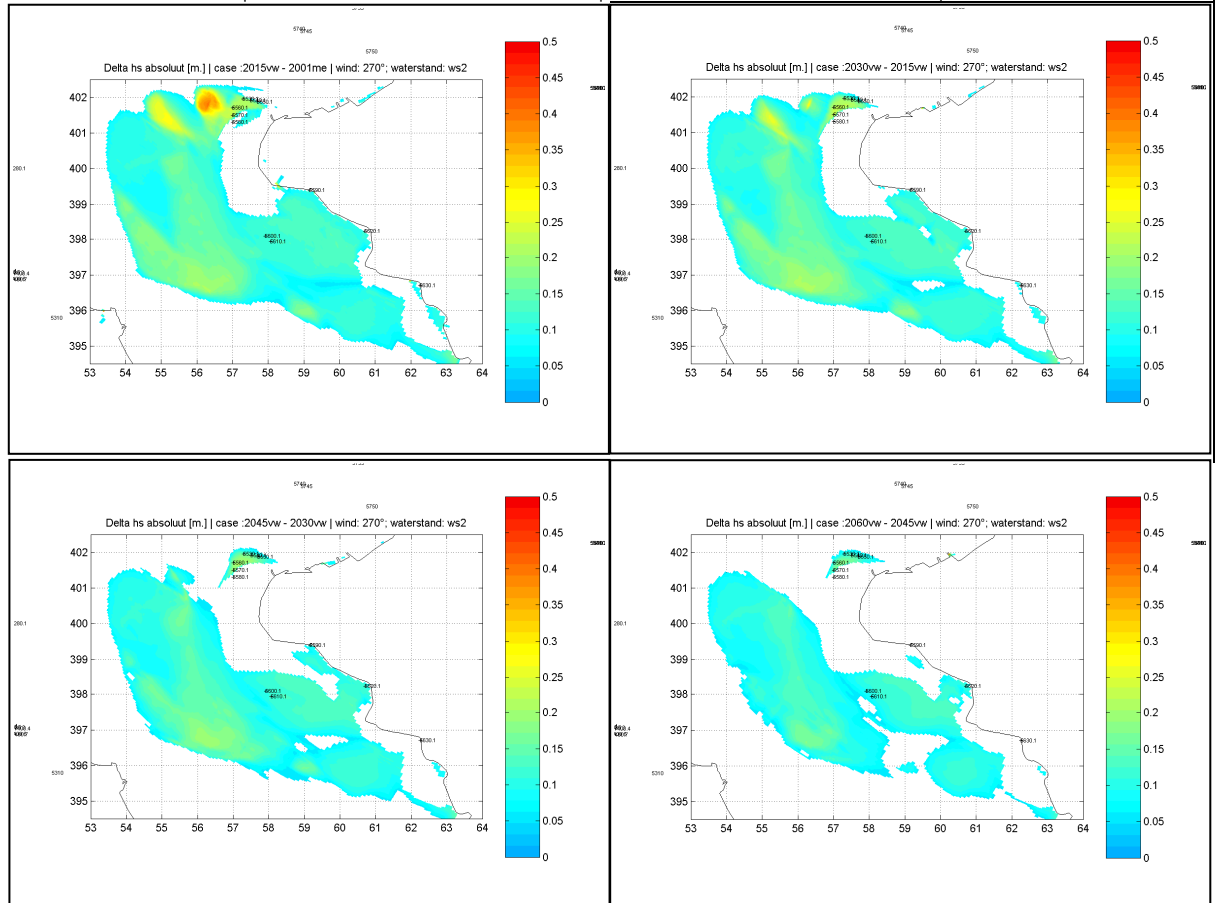
Bijlage 7-16 prognose schorrand Gouweveer



Bijlage 8
Prognose absolute toename golfhoogte bij sterk
afgeschermd gebied
Delta Hs op basis van 1/4.000^{ste} windsnelheid

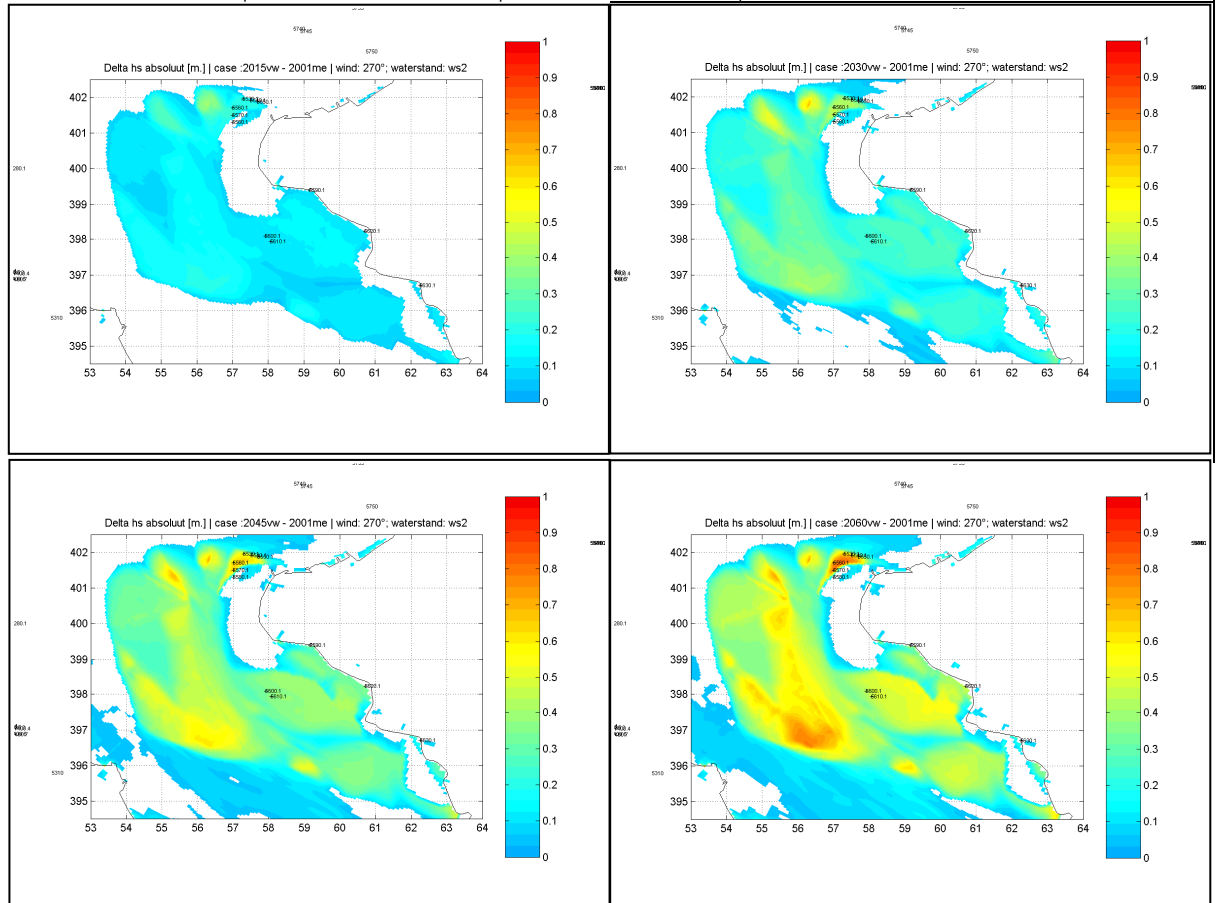
Bijlage 8.1 Galgeplaat en Dortsman; absolute ontwikkeling golfhoogte (Delta Hs) per interval van 15 jaar

linksboven: toename tot 2015 | rechtsboven: toename tussen 2015 en 2030 | linksonder: toename tussen 2030 en 2045 | rechtsonder: toename na 2045



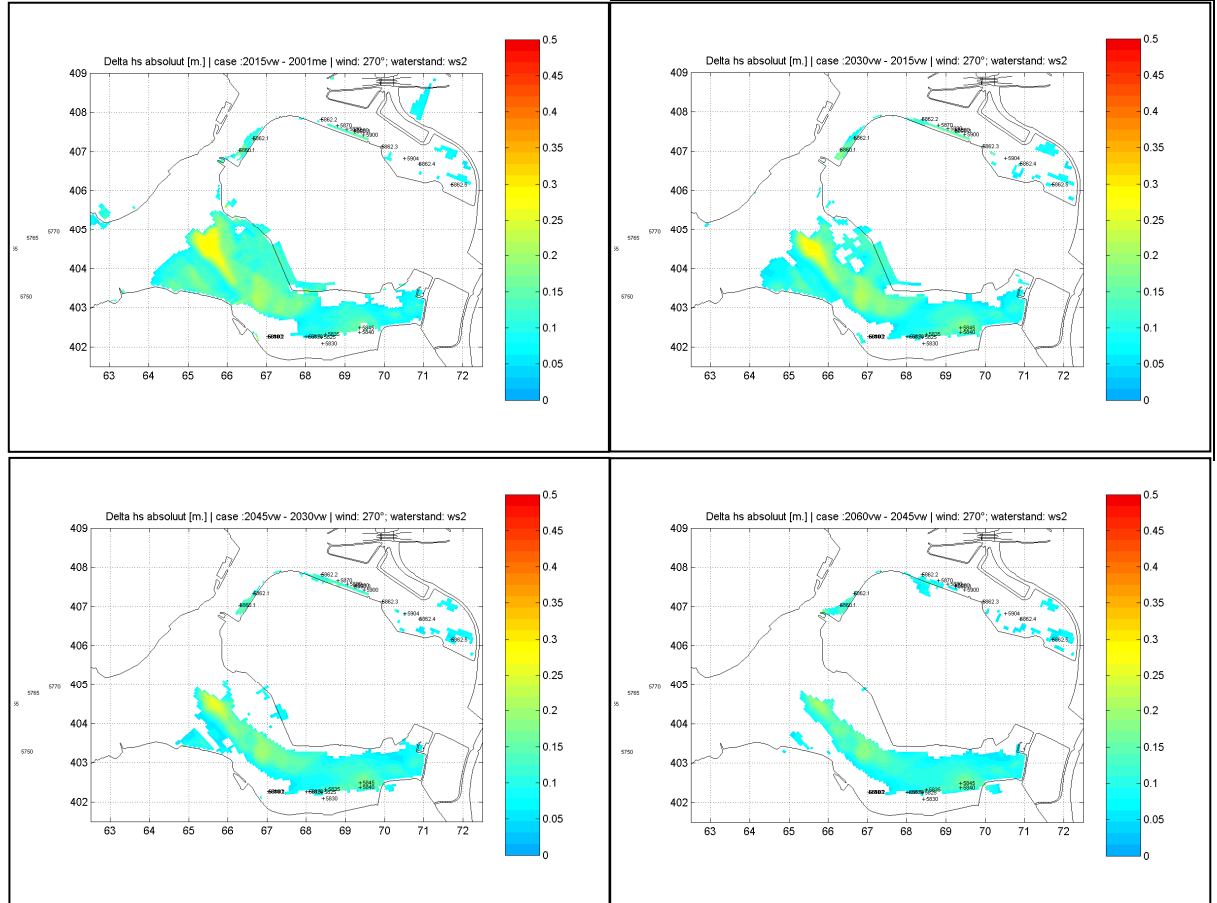
Bijlage 8.2 Galgeplaat en Dortsman; absolute ontwikkeling golfhoogte (Delta Hs) t.o.v. gemeten bodem 2001

linksboven: toename tot 2015 | rechtsboven: toename tot 2030 | linksonder: toename tot 2045 | rechtsonder: toename tot 2060



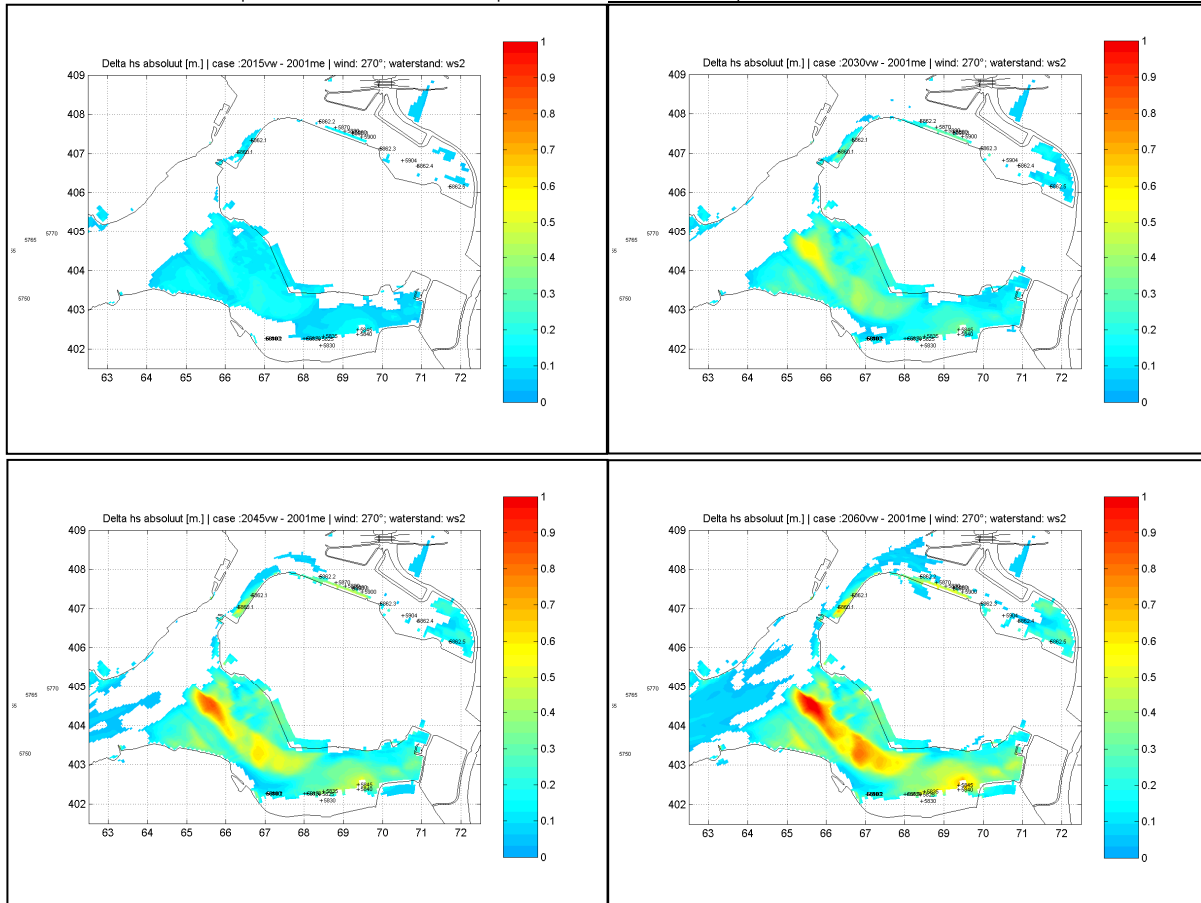
Bijlage 8.3 Krabbenkreek en Slaak; absolute ontwikkeling golfhoogte (Delta Hs) per interval van 15 jaar

linksboven: toename tot 2015 | rechtsboven: toename tussen 2015 en 2030 | linksonder: toename tussen 2030 en 2045 | rechtsonder: toename na 2045



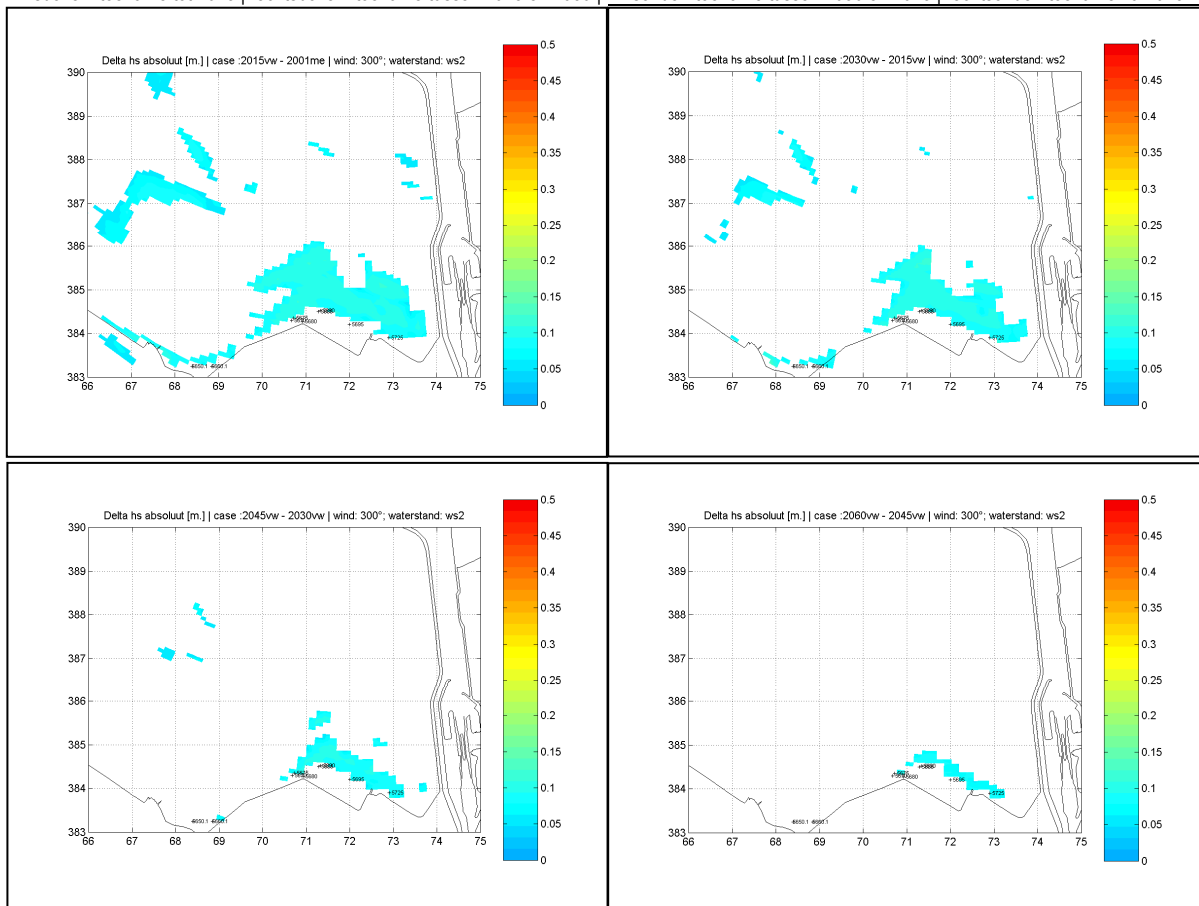
Bijlage 8.4 Krabbenkreek en Slaak; absolute ontwikkeling golfhoogte (Delta Hs) t.o.v. gemeten bodem 2001

linksboven: toename tot 2015 | rechtsboven: toename tot 2030 | linksonder: toename tot 2045 | rechtsonder: toename tot 2060



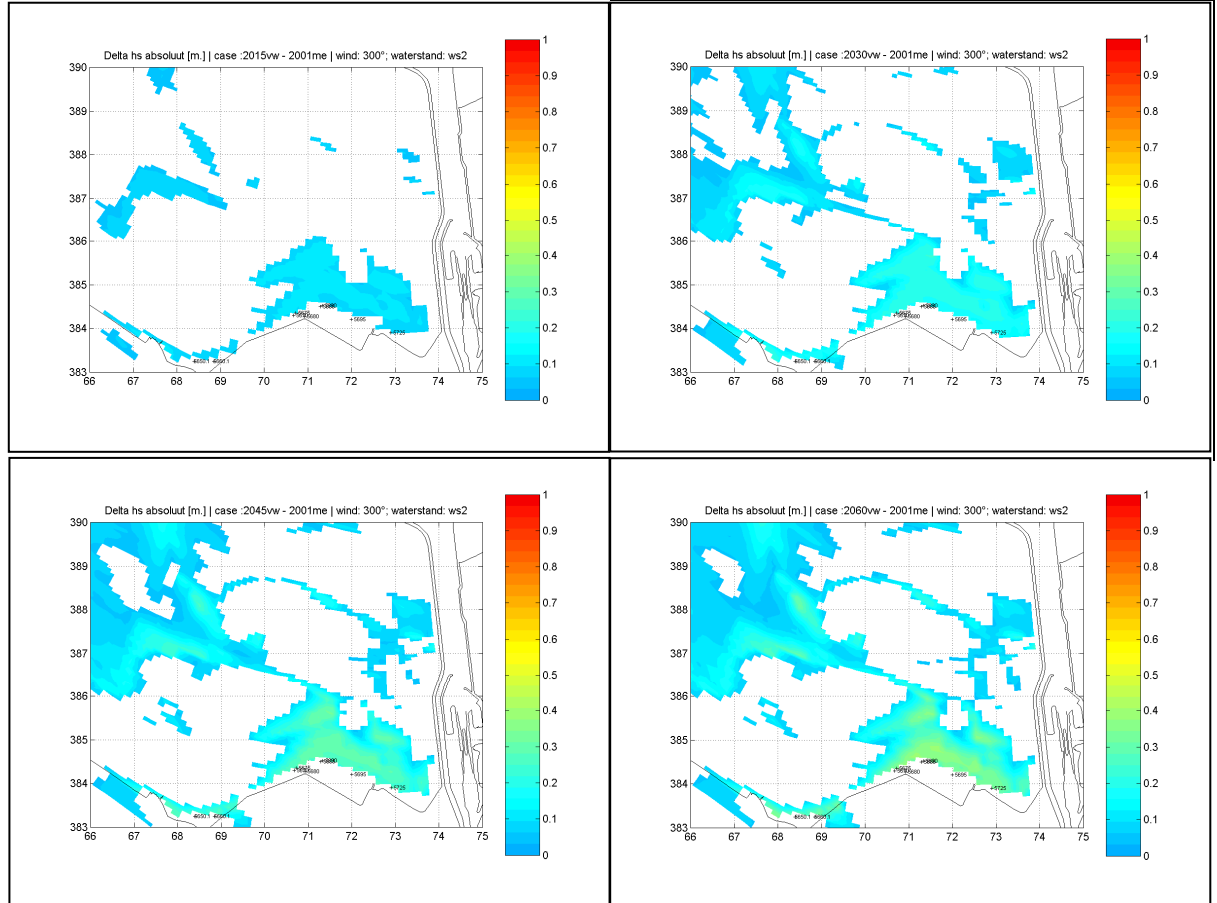
Bijlage 8.5 Krabbendijke en Rattekaai; absolute ontwikkeling golfhoogte (Delta Hs) per interval van 15 jaar

linksboven: toename tot 2015 | rechtsboven: toename tussen 2015 en 2030 | linksonder: toename tussen 2030 en 2045 | rechtsonder: toename na 2045



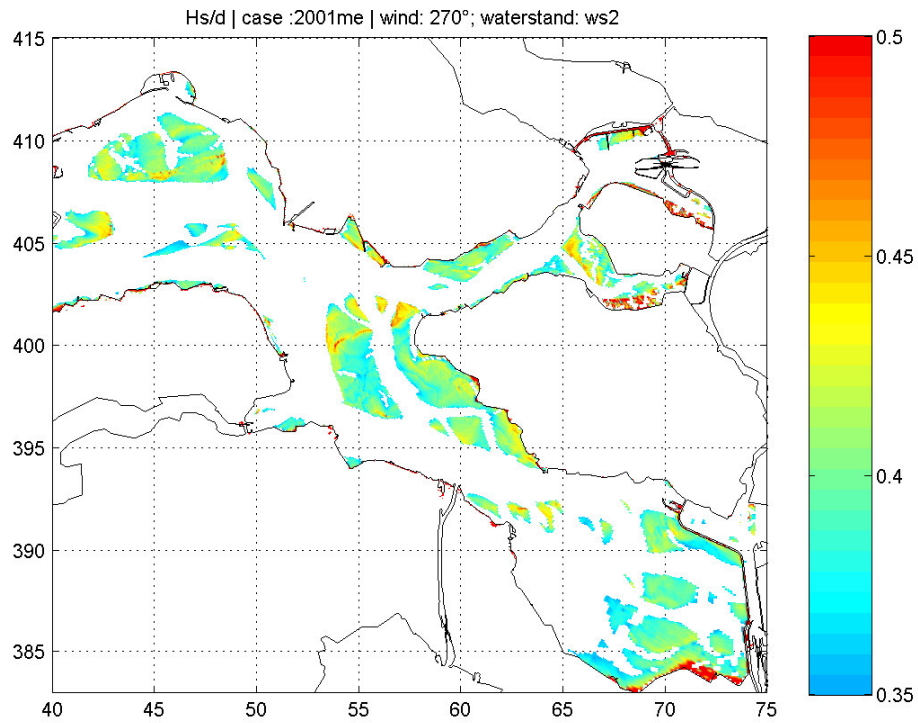
Bijlage 8.6 Krabbendijkje en Rattekaai; absolute ontwikkeling golfhoogte (Delta Hs) t.o.v. gemeten bodem 2001

linksboven: toename tot 2015 | rechtsboven: toename tot 2030 | linksonder: toename tot 2045 | rechtsonder: toename tot 2060

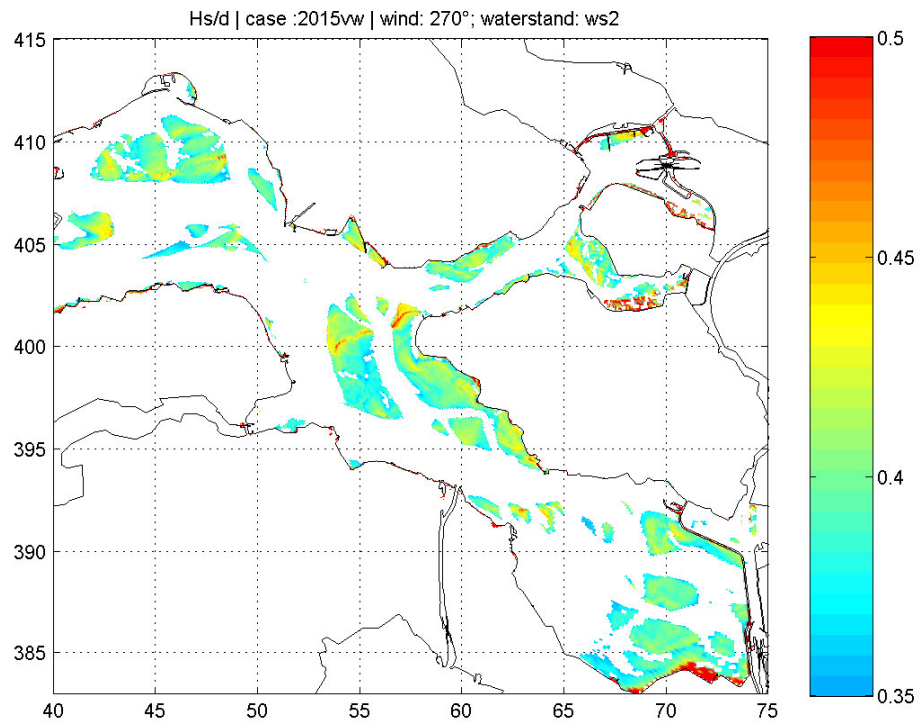


Bijlage 9
Relatieve golfhoogte (Hs/d) bij prognosebodems tot 2060

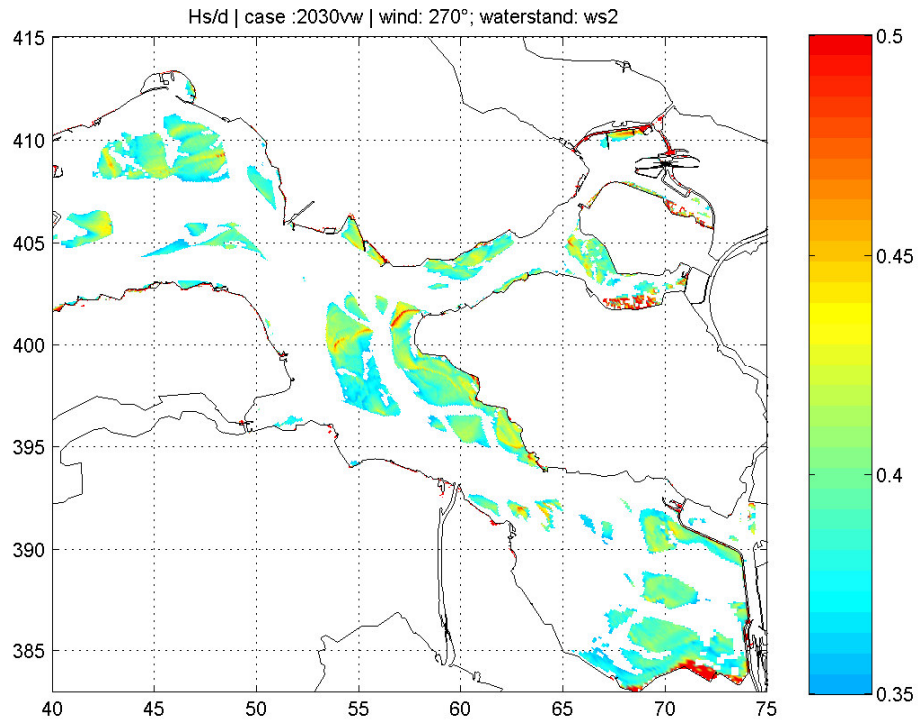
Bijlage 9.1 Relatieve golfhoogte bij gemeten bodem 2001



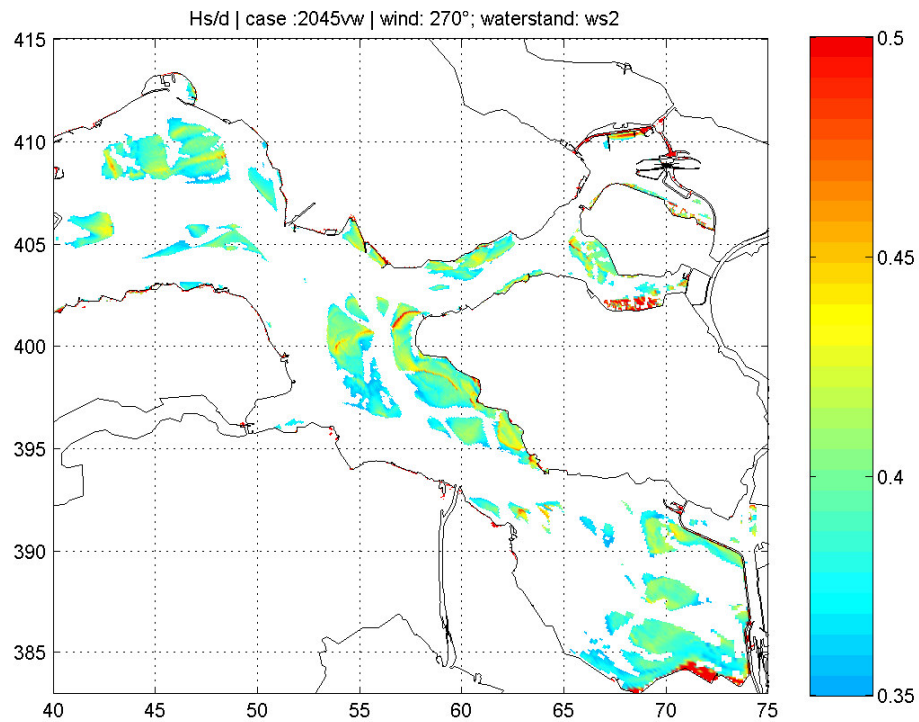
Bijlage 9.2 Relatieve golfhoogte bij verwachte bodem 2015



Bijlage 9.3 Relatieve golfhoogte bij verwachte bodem 2030



Bijlage 9.4 Relatieve golfhoogte bij verwachte bodem 2045



Bijlage 9.5 Relatieve golfhoogte bij verwachte bodem 2060

