

Monitoring van de effecten van de verruiming 48'/43'

MOVE-Rapport 9, deel I: Fysische hypothesen 2006

januari 2007

MOVE

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Rijkswaterstaat

Monitoring van de effecten van de verruiming 48'/43'

MOVE-Rapport 9, deel I: Fysische hypothesen 2006

januari 2007

Onderliggende rapportage bij
MOVE rapport 10 Eindrapport 2006

Werkdocument RIKZ/ZDA/2007.808w

MOVE

HYPOTHESENDOCUMENT DEEL I: FYSISCHE HYPOTHESEN

Colofon

Uitgegeven door: Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelbrug

Informatie: Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg
Telefoon: 0118 - 622 000
Fax: 0118 - 622 999

Auteurs Harriëtte Holzhauer, Bert van Eck, Dirk van Maldegem, Edwin Parée (DZL)
Met medewerking van: Gert-Jan Liek, Jan Pieters, Dick de Jong, Leen Dekker (DZL)

Opmaak: Harriëtte Holzhauer

Datum: 23 Januari 2007

Interne kwaliteitsborging: Bert van Eck, Leen Dekker, Gert-Jan Liek, Dirk van Maldegem, Edwin Parée, Dick de Jong, Kees van Westenbrugge

Externe kwaliteitsborging: *ICASTAT*: P. Baggelaar; *AMO*: E. vd Meulen; *Bureau Morfodynamica*: J.H. vd Berg; *WL Delft Hydraulics*: Z.B. Wang; *NIOO-CEME*: T.J Bouma

Disclaimer Dit werkdocument wordt uitgegeven om geïnteresseerden de gelegenheid te bieden kennis te nemen van de voortgang van het desbetreffend onderzoek, technisch advies of meetrapportage. Benadrukt wordt dat de gezichtspunten in dit werkdocument niet noodzakelijk overeen behoeven te komen met de officiële gezichtspunten of het beleid van de Directeur-Generaal van Rijkswaterstaat. Met de in dit werkdocument gegeven informatie dient derhalve met de nodige voorzichtigheid te worden omgegaan, aangezien de hierin vermelde conclusies in de loop van verder onderzoek of anderszins mogelijk herzien dienen te worden.

Het Rijk sluit iedere aansprakelijkheid uit voor schade die het gebruik van de in dit werkdocument opgenomen gegevens mocht voortvloeien.

Inhoudsopgave

Voorwoord 5

1. Inleiding 7

1.1 Achtergrond 7

1.2 Doelstelling hypothesedocument 7

1.3 Hypothesedocumenten 2003 en 2006 8

1.4 Leeswijzer 9

2. Fysische hypothesen 10

2.1 Inleiding 10

2.2 Waterstanden en getijverschillen 14

2.3 Getijvolume 44

2.4 Stroomsnelheid 57

2.5 Zout 66

2.6 Zandtransporten 74

2.7 Inhouden en volumes 85

2.8 Arealen 102

2.9 Bodemsamenstelling 127

2.10 Sedimentatie op schorren 144

2.11 Ontwikkeling geulwandverdediging 153

2.12 Baggeren, storten en zandwinning 172

2.13 Synthese morfodynamica 190

3. Aanbevelingen 204

Literatuur 206

Bijlage A Overzicht metingen MOVE 217

Bijlage B Voorspellingsinterval 220

Bijlage C Verwijderen 18,6 jarige cyclus 222

Bijlage D 18,6 jarige cyclus per meetstation 224

Bijlage E Tijdreeksanalyse op basis van Box-Jenkins 235

Voorwoord

Dit hypothesedocument 2006 is in opdracht van Rijkswaterstaat Zeeland door het Rijksinstituut voor Kust en Zee opgesteld. In het kader van het project MOVE (tienjarige monitoring Westerschelde verruiming 48'/43') is een meetplan opgesteld om fysische, biologische en chemische parameters in de Westerschelde na de verruiming 48'/43' te kunnen volgen. De metingen die in dit plan zijn opgenomen werden grotendeels al in andere monitoringsprogramma's verricht (MWTL en BIOMON); in enkele gevallen zijn naast deze bestaande metingen aanvullende metingen uitgevoerd (voor een overzicht zie Bijlage A). De Meetinformatiedienst Directie Zeeland (nu Meetadviesdienst) voerde de meeste metingen uit, maar ook andere afdelingen van Rijkswaterstaat, medewerkers van RIKZ, particuliere (onderzoeks)bureaus en instituten werkten mee.
RIKZ-deskundigen bewerkten en interpreteerden de gegevens. Zij beschrijven in dit rapport de methode die ze gebruikten, de resultaten en de conclusies die zij trokken. Hieronder staat een compleet overzicht wie hebben bijgedragen aan het hypotheserapport.
Om de kwaliteit van onderliggend hypothesedocument 2006 te waarborgen zijn conceptversies door de volgende instituten becommentarieerd: WL Delft, Geowetenschappen Rijksuniversiteit Utrecht, NIOO-CEME Yerseke, SOVON Beek-Ubbergen, Alfred Wegener instituut List/Sylt Duitsland, K. Essink Paterswolde.

De statistische onderbouwing van waterstanden en zoutgehaltes, de validatie van de ecotopenkaarten en de trendanalyse bodemdieren is uitgevoerd door Icastat Statistisch Adviesbureau en Adviesbureau Modellering en Optimalisatie (AMO). Grontmij heeft met GIS de vergelijking van de ecotopenkaarten uitgevoerd. Delta Projectmanagement (DPM) heeft de hoofdstukken over vogels samengesteld

Overzicht betrokkenen die hebben bijgedragen aan het hypothesedocument.

	Hoofdstuk	Deelhoofdstuk	Auteur en medeauteur	Interne borging	Externe borging
Deel I: Fysische hypothesen	**Voorwoord**		Lilian Withagen	Bert van Eck	
	Inleiding		Lilian Withagen	Bert van Eck	
	Fysische hypothesen	Inleiding	Lilian Withagen	Bert van Eck	
		Waterstanden en getijverschillen	Harriëtte Holzhauer	Leen Dekker[1], Gert-Jan Liek, Dirk van Maldegem, Edwin Parée	P. Baggelaar, E. vd Meulen, J.H. vd Berg[5], Z.B. Wang[6]
		Getijvolume	Harriëtte Holzhauer	Leen Dekker, Gert-Jan Liek, Dirk van Maldegem, Edwin Parée	J.H. vd Berg, Z.B. Wang
		Stroomsnelheden	Dirk van Maldegem	Harriëtte Holzhauer, Leen Dekker, Gert-Jan Liek, Edwin Parée	J.H. vd Berg, Z.B. Wang
		Zout	Harriëtte Holzhauer, Jan Pieters	Gert-Jan Liek	P. Baggelaar, E. vd Meulen, J.H. vd Berg, Z.B. Wang
		Zandtransporten	Harriëtte Holzhauer	Edwin Parée, Gert-Jan Liek	J.H. vd Berg, Z.B. Wang
		Inhouden en volumes	Harriëtte Holzhauer	Dick de Jong, Edwin Parée, Gert-Jan Liek	J.H. vd Berg, Z.B. Wang
		Arealen	Harriëtte Holzhauer	Dick de Jong, Edwin Parée, Gert-Jan Liek	J.H. vd Berg, Z.B. Wang
		Bodemsamenstelling	Harriëtte Holzhauer, Jan Pieters	Dick de Jong	J.H. vd Berg, Z.B. Wang
		Sedimentatie op schorren	Harriëtte Holzhauer, Dirk van Maldegem	Dick de Jong	T.J Bouma[7], J.H. vd Berg, Z.B. Wang
		Geulwandverdediging	Edwin Parée[1]	Dirk van Maldegem	J.H. vd Berg, Z.B. Wang
		Baggeren, storten en zandwinning	Bert van Eck, Gert-Jan Liek, Edwin Parée	Kees van Westenbrugge[1], Edwin Parée	
		Synthese fysica	Harriëtte Holzhauer	Diverse auteurs. Zie hierboven	
	Aanbevelingen deel I				
Deel II: Biologische en Chemische hypothesen	**Biologische hypothesen**	Inleiding	Lilian Withagen	Bert van Eck	
		Ecotopen	Kaarten: Imre Schep[1] en Edwin Parée. Validatie: P.Baggelaar[2], E. vd Meulen[3]. Verschilkaart Grontmij	Fred Twisk, Dick de Jong, Bert van Eck	K. Essink
		Primaire productie fytoplankton	Bert Wetsteijn, Jan Pieters	Discussie Geert den Hartog[1], Gerard Spronk	J. Kromkamp[7]
		Primaire productie microphytobenthos	Bert Wetsteijn	Dick de Jong	J. van Beusekom[8]
		Bodemdieren	Fred Twisk		K. Essink, T. Ysebaert[7], P. Herman[7]
		Vogels	Floor Arts[4], Mark Hoekstein[4]	Peter Meininger	K. Koffijberg[9]
	Chemische hypothesen	Inleiding	Bert van Eck		
		Waterkwaliteit	Eric van Zanten	Bert van Eck	
		Waterbodemkwaliteit	Eric van Zanten	Bert van Eck	
	Aanbevelingen deel II		Dirk van Maldegem	Diverse auteurs. Zie hierboven	
	Redactie		Bert van Eck, Harriëtte Holzhauer, Dirk van Maldegem		

[1]RWS Zeeland, [2] ICASTAT, [3]AMO, [4]Delta Project Management (DPM), [5]Bureau Morfodynamica, [6]WL Delft Hydraulics, [7]NIOO-CEME, [8]Alfred Wegener Instituut, [9]SOVON

1. Inleiding

1.1 Achtergrond

Van juli 1997 tot juli 1998 is de verruiming 48'/43' van de Westerschelde uitgevoerd. Rijkswaterstaat Zeeland startte in 1995 het project MOnitoring VErdieping Westerschelde (MOVE) op, om tussen 1996 en 2006 de fysische, biologische en chemische effecten van deze verruiming op de Westerschelde te kunnen signaleren en op basis van gegevens het bagger-, stort- en zandwinbeleid te kunnen bijsturen. Bovendien zouden gegevens de mogelijkheid bieden om onderzoek te doen om zo de gevolgen, maar ook de effectiviteit van toekomstige ingrepen beter te kunnen voorspellen. MOVE steunt op een meetplan en op hypothesen (De Jong *et al.*, 1997).
Het metingenplan maakt zo veel mogelijk gebruik van metingen die al in een ander kader uitgevoerd worden. De hypothesen maakten de bestaande verwachtingen toetsbaar. Ze zijn opgesteld vanuit de toen bestaande visie over hoe de Westerschelde als systeem functioneerde en hoe het systeem zich zou ontwikkelen na de verruiming 48'/43'. Deze visie was vooral gebaseerd op de studie OOSTWEST (Vroon *et al.*, 1997). De hypothesen beschrijven voornamelijk grootschalige veranderingen van de Westerschelde en zijn meestal opgesplitst in drie deelgebieden (west, midden en oost). Een aantal hypothesen beschrijft ontwikkelingen die zich op een kleinschalig of lokaal niveau afspelen.

Naast MOVE startte het kennisontwikkelingsproject ZEEKENNIS (Kater, 2005). De opzet was dat deze projecten samen zouden leiden tot het vergroten van inzicht in het fysisch en ecologisch functioneren van de Westerschelde, om zo te kunnen voldoen aan de eisen die het beleid en het juridisch kader stellen. ZEEKENNIS is in december 2005 afgerond. De toegenomen kennis en inzichten die opgedaan zijn in ZEEKENNIS, zijn in deze eindevaluatie van MOVE gebruikt.

1.2 Doelstelling hypothesedocument

De toetsing van de MOVE hypothesen in dit hypothesedocument 2006 vormt de technisch-wetenschappelijke basis voor het eindrapport MOVE. Het is feitelijk en inhoudelijk gericht. Het eindrapport MOVE gebruikt de conclusies van het hypothesedocument als uitgangspunt voor een meer samenhangende beschrijving binnen de disciplines fysica, biologie en chemie en een overkoepelende beschrijving van de gevolgen van de verruiming en het daarna gewijzigde bagger- en stortbeleid voor de Westerschelde.

1.3 Hypothesedocumenten 2003 en 2006

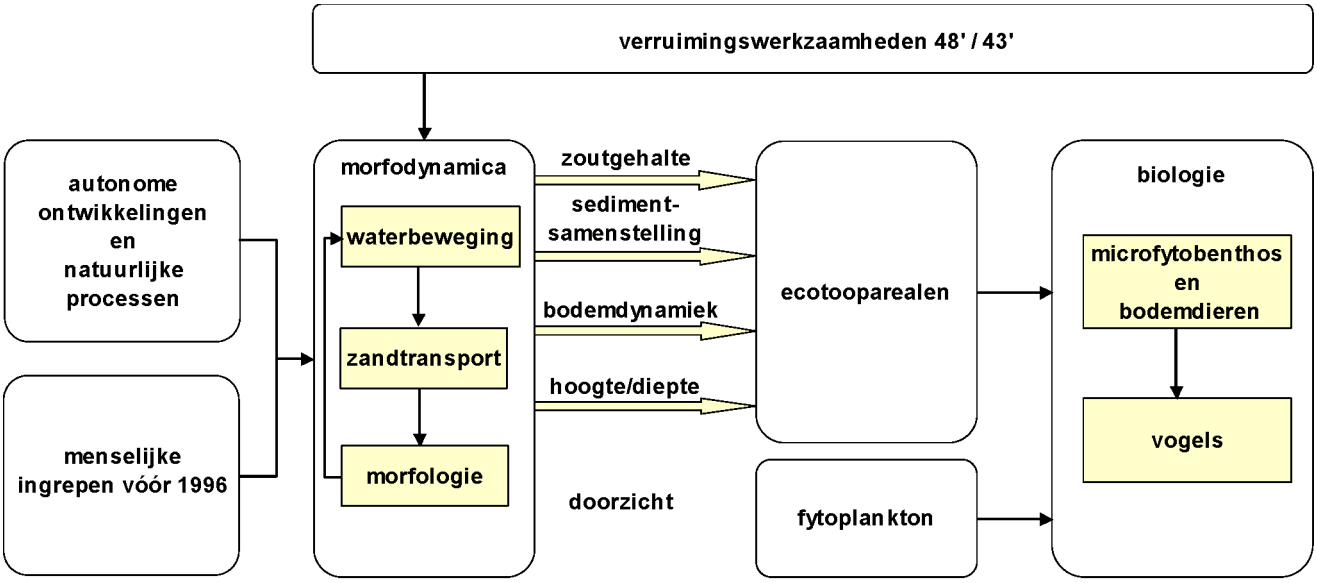
In 2003 is een tussenevaluatie uitgevoerd (Stikvoort *et al.*, 2003). De hypothesen uit 1996 werden, voor zover mogelijk, stuk voor stuk getoetst aan monitoringsgegevens. Het rapport beschreef per hypothese de procedure die werd gebruikt om van de beschikbare data te komen tot een toetsing van de hypothese. Daarna werd de hypothese wel of niet verworpen op basis van data-analyse en expert-judgement.
In 2003 werd vastgesteld dat de hypothesen een goede weergave zijn van het scala aan mogelijke grootschalige effecten van de ingreep op de fysica, morfologie, biologie en water- en waterbodemkwaliteit. Aan de andere kant werd duidelijk dat niet alle onderliggende aannames uit 1996 nog wetenschappelijk verantwoord waren en diverse hypothesen bleken niet te toetsen aan de hand van de beschikbare gegevens.
Om de continuïteit te waarborgen en om communicatieve redenen is besloten in deze eindevaluatie 2006 toch grotendeels de oorspronkelijke hypothesen te gebruiken en dus het hypothesedocument 2003 te actualiseren. Een bijkomend argument hiervoor was verder dat de instandhoudingdoelstellingen in het kader van Natura2000 en de maatlatten in het kader van de KRW nog niet beschikbaar waren. De nieuwe gegevens, over het algemeen tot en met 2005, zijn verwerkt en daarna zijn de hypothesen – voor zover mogelijk - opnieuw getoetst. Daarnaast is nadrukkelijk aan de schrijvers van de hoofdstukken gevraagd om ook naar de gegevens te kijken op basis van de stand van de huidige kennis en zijn waargenomen ontwikkelingen die niet onder de geformuleerde hypothesen vallen, ook opgenomen. Dit heeft tot een hypothesedocument 2006 geleid dat soms wat afwijkt van het eindrapport. Bewust is ervoor gekozen om achteraf het hypothesedocument niet tot in detail aan te passen aan het eindrapport. Tenslotte staan in dit hypothesedocument 2006 gegevens met betrekking tot het baggeren en storten en de zandwinning.

Drie hoofdstukken, te weten ontwikkeling kust, morfologische dynamiek en kraam- en kinderkamerfunctie, staan niet meer in het hypotheserapport 2006. De ontwikkeling kust valt buiten het gebied (Westerschelde met westgrens de lijn Vlissingen Breskens) van dit rapport. Voor het hoofdstuk kraam- en kinderkamerfunctie zijn er geen nieuwe gegevens of inzichten. Het hoofdstuk morfologische dynamiek is vervallen omdat recente inzichten de in het 2003 document gebruikte methode niet meer ondersteunen en er vervolgens geen tijd meer was om, binnen de doelstelling van MOVE, een nieuwe aanpak te realiseren.

Figuur 1.3-1 geeft schematisch weer hoe het hypotheserapport is opgebouwd. De opbouw volgt zo veel mogelijk hoe volgens de huidige inzichten ingrepen in het Westerscheldesysteem doorwerken. Een belangrijk uitgangspunt hierbij is dat veranderingen in de fysica als gevolg van de verruiming samen met enkele autonome ontwikkelingen en ingrepen sturend zijn voor veranderingen in de biologie en chemie.

Een gedetailleerd fysisch denkmodel - een overzicht van de veronderstelde fysische processen en relaties, zoals ontwikkeld in het hypotheserapport 2003 en in deze evaluatie gebruikt, staat in de inleiding van het hoofdstuk fysica. Informatie over de ecotopen, in concreto het zoutwaterecotopenstelsel (ZES), is te vinden in de inleiding van het hoofdstuk ecotopen.

Figuur 1.3-1: Schematische voorstelling van de effecten c.q. indeling hypothese document, mede gebaseerd op Hoeksema *et al.* (2002)



1.4 Leeswijzer

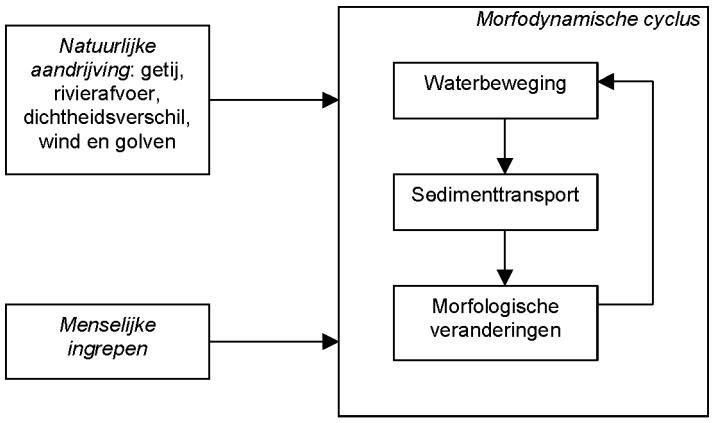
Het hypothesedocument, zie Figuur 1.3-1, is opgebouwd uit vijf delen: ingrepen, morfodynamica, ecotopen, biologie en chemie.
Per onderdeel worden eerst de hypothesen genoemd, daaronder staat cursief de uitleg van de hypothese om de achterliggende gedachtegang te verduidelijken. Daarna worden de hypothesen getoetst. In de discussie komen verdergaande gezichtpunten en waargenomen ontwikkelingen naar voren die wel in de lijn van de hypothesen liggen, maar niet in een hypothese vervat zijn.
Het totale hypothesendocument is onderverdeeld in twee delen (Fysische hypothesen en Biologische en Chemische hypothesen) waarvan dit deel één is. Het deel van de fysische hypothesen wordt afgesloten met het hoofdstuk Synthese. Beide delen worden afgesloten met een hoofdstuk Aanbevelingen.

2. Fysische hypothesen

2.1 Inleiding

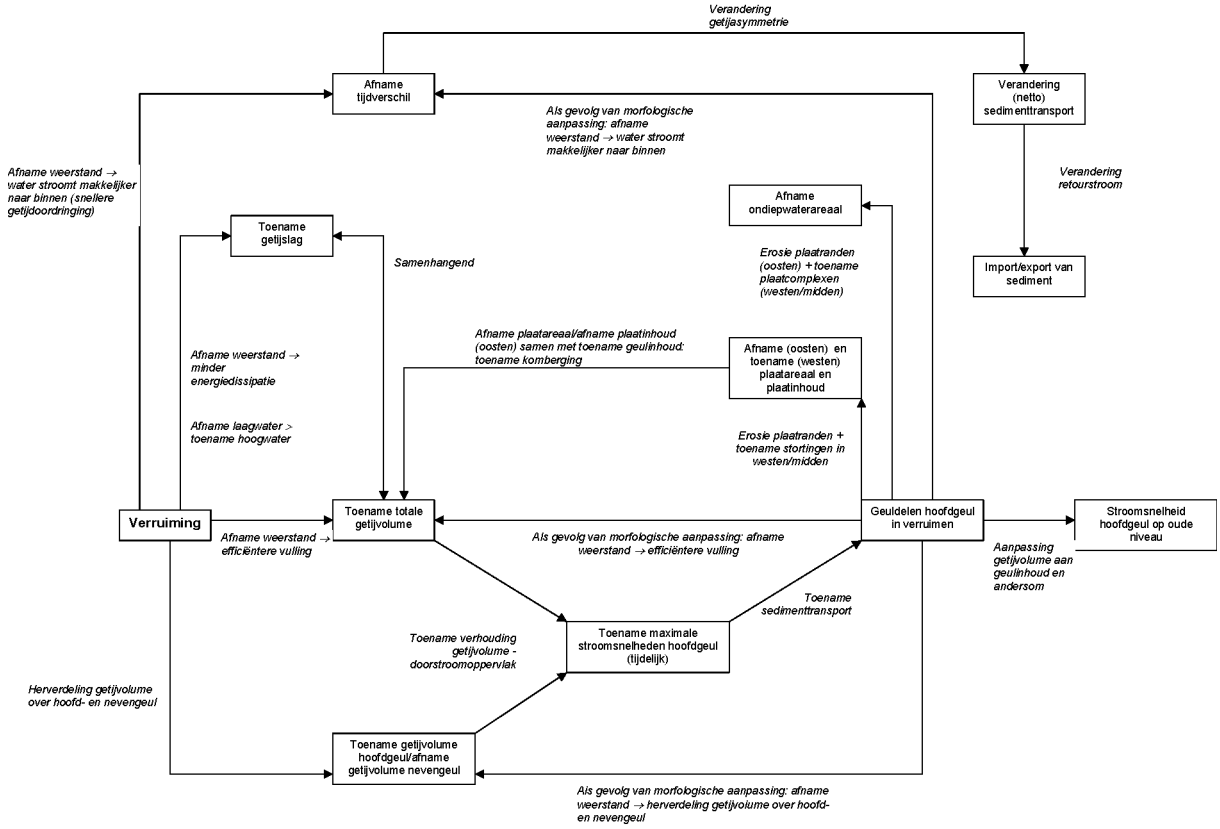
Op elke schaal, van de Westerschelde als totaal (macro niveau) tot zandribbels (microniveau), vinden fysische processen plaats die invloed op elkaar uitoefenen. De kern achter deze fysische processen is het sediment dat getransporteerd wordt als gevolg van de waterbeweging waardoor morfologische veranderingen plaatsvinden. Deze morfologische veranderingen hebben op hun beurt weer invloed op de waterbeweging. Bij het in gang zetten van de morfodynamische cyclus speelt de getijbeweging een hele belangrijke rol. Naast de natuurlijke aandrijving hebben menselijke ingrepen, zoals verruiming, ook invloed op de cyclus. De morfodynamische cyclus kan samen met de natuurlijke aandrijving en menselijke ingrepen schematisch als volgt worden weergegeven (Figuur 2.1-1):

Figuur 2.1-1: Schematisch overzicht van de morfodynamische cyclus in de Westerschelde



Op basis van de gedachtegang van de Oostweststudie (Vroon *et al.*,1997) is door Arends e.a. (1999) het MOVE denkmodel opgezet (Figuur 2.1-2). Dit fysisch denkmodel is een kwalitatieve gedachtegang over hoe de Westerschelde kan veranderen na verruiming. De fysische hypothesen die zijn opgesteld en in de volgende hoofdstukken aan bod komen zijn een weerspiegeling van deze gedachtegang maar ook het bagger- en stortbeleid is erin verwerkt. De hypothesen zijn daarom specifieker dan wat beschreven is in het MOVE denkmodel.

Figuur 2.1-2: Schematisch overzicht van de verschillende fysische processen en relaties



Voor het westelijk, midden en oostelijk deel van de Westerschelde gelden over het algemeen dezelfde kwalitatieve veranderingen (uitgezonderd de veranderingen in het plaatvolume) en relaties tussen de verschillende fysische processen, alleen kwantitatief zijn de veranderingen verschillend.

2.1.1. Algemene werkwijze

In de subparagrafen hieronder staan een aantal algemene aspecten van de gehanteerde werkwijze. Dit is gedaan om de beschrijving van de werkwijze in de afzonderlijke hoofdstukken beperkt te houden. Aan de orde komen bepaling referentieperiode, hypothese grenzen, statistisch voorspel-interval en verwijdering 18,6 jaar cyclus.

2.1.1.1 Bepaling referentieperiode

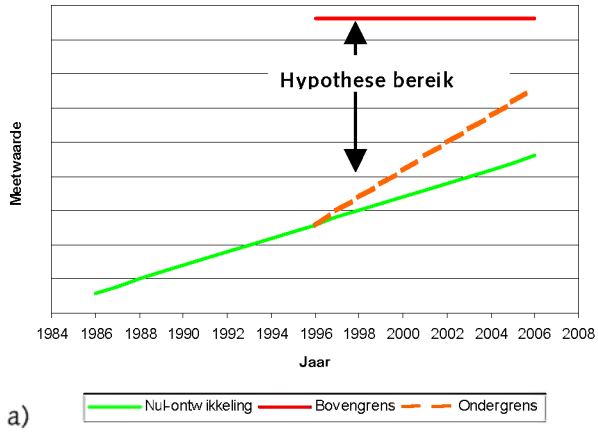
In het hypotheserapport wordt telkens de ontwikkeling na de verruiming vergeleken met de ontwikkeling daarvoor, de referentieperiode. Daarbij is de vraag hoe lang deze periode is. In het algemeen is ervoor gekozen om voor de referentieperiode de periode 1986-1996 te kiezen. De (pragmatische) aanname hierbij is, dat rond 1986 de effecten van de vorige verdieping (1970-1975) nagenoeg zijn uitgewerkt. Een belangrijke uitzondering hierop betreft de hoofdstukken inhouden en volumes en arealen. Hierin wordt naast de referentie periode ook naar de ontwikkeling vanaf 1960 gekeken.
In een aantal gevallen zijn echter nog geen gegevens beschikbaar vanaf 1986. De nulontwikkeling wordt dan bepaald aan de hand van de

beschikbare data tot en met 1996. Soms zijn er helemaal geen gegevens beschikbaar van vóór de verruiming. De referentie is in zo'n geval gelijkgesteld aan de meetwaarde in 1996.

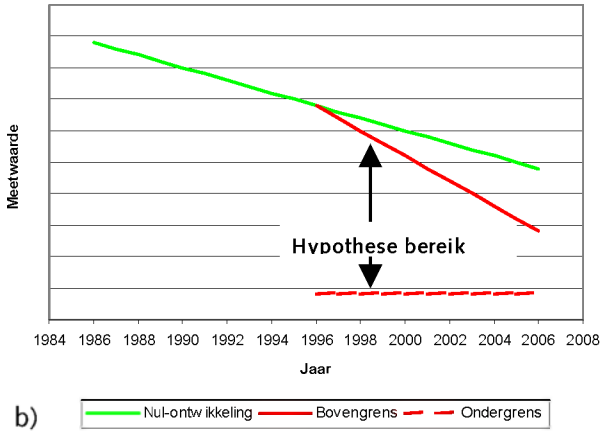
2.1.1.2 Hypothesegrenzen

Om de verschillende hypothesen te kunnen toetsen worden de monitorgegevens vergeleken met de verwachte verandering zoals verwoord in de hypothese. Wanneer de hypothese minimale en maximale grenzen stelt is de waarde van deze grenzen bepaald ten opzichte van de waarde van de nulontwikkeling in het referentiejaar 1996 of alleen de meetwaarde in het jaar 1996, als er geen beschikbare gegevens zijn.

Wanneer er in de hypothese een stijging wordt verwacht wordt de ondergrens weergegeven door een geleidelijke stijging van de referentiewaarde in 1996 tot de minimale toename in 2005. De bovengrens wordt weergegeven door middel van een horizontale lijn op de verwachte maximale toename (Figuur 2.1-3, a). Bij een verwachte afname wordt de ondergrens juist weergegeven als een horizontale lijn op de verwachte maximale afname. De bovengrens wordt vervolgens weergegeven als een geleidelijke afname van de referentiewaarde in 1996 tot de minimale afname in 2005 (Figuur 2.1-3, b). Het bereik van de hypothese is alles tussen de grenzen en bevat alle mogelijke scenario's.



a)



b)

Figuur 2.1-3: Schematische weergave van het hypothesbereik
A) De bovengrens is hier het maximum genoemd in de hypothese, de ondergrens heeft een geleidelijk verloop.
B) De ondergrens is hier een minimum genoemd in de hypothese en de bovengrens heeft een geleidelijk verloop.

2.1.1.3 Statistisch voorspellingsinterval

Naast het hypothesebereik wordt, wanneer er voldoende data beschikbaar zijn die bovendien een min of meer lineair verband vertonen, een statistisch 95% voorspellingsinterval opgesteld. Het statistisch voorspellingsinterval is gebaseerd op de gemeten waarden in de periode 1986-1996. Het berekende voorspellingsinterval is vervolgens doorgetrokken tot het einde van de meetperiode, meestal 2005. Met behulp van deze intervallen wordt duidelijk of de metingen na 1996 daadwerkelijk verschillen van de metingen van voor 1996 en dus of de verruiming enige invloed heeft gehad op de onderzochte grootheden.
Opgemerkt moet worden, dat als het hypothesebereik volledig binnen het voorspellingsinterval ligt, de hypothese niet beoordeeld kan worden. De hypothese voorspelt dan namelijk een verandering na de verruiming die binnen het voorspellingsinterval afgeleid uit de periode 1986-1996 ligt. De berekening van het voorspellingsinterval staat in Bijlage B bij dit hoofdstuk.

2.1.1.4 Verwijdering 18,6 jaar cyclus

De verkregen gegevens worden regelmatig gecorrigeerd voor de 18,6 jarige getijcyclus, die voorkomt in het astronomische getij. Het bepalen van de trend en het fitten van de 18,6 jarige cyclus is uitgevoerd aan de hand van twee in MATLAB geschreven functies. Zie voor details over de procedure de Bijlage C.

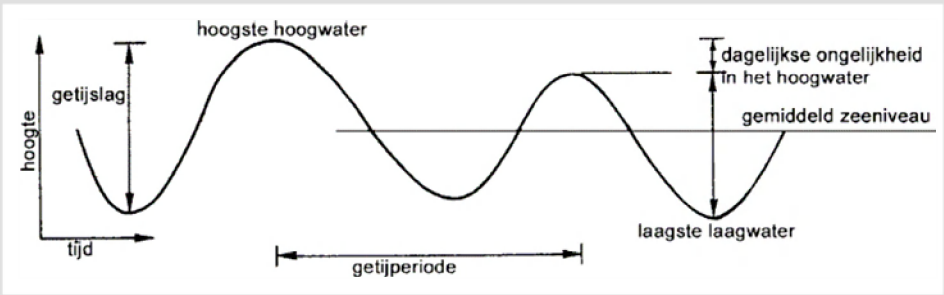
2.2 Waterstanden en getijverschillen

2.2.1. Inleiding

Veranderingen in waterstanden en getijverschillen[1] zijn onder andere van belang voor de scheepvaart, het ecologisch functioneren van de Westerschelde en de veiligheid van de waterkeringen, de hoofdthema's in de LTV2030 (LTV, 2001) en worden dan ook kritisch gevolgd. Voor de scheepvaart zijn veranderingen in waterstanden en getijverschillen van belang. Indien er veranderingen in getijverschil en voortplantingssnelheid van het getij (relatie faseverschil[2]) optreden zal dit leiden tot een ander getijvenster[3]. Dit getijvenster is belangrijk voor de bereikbaarheid van de haven van Antwerpen. Hierbij wordt uitgegaan van een getijongebondenvaart[4] naar Antwerpen.
Ook voor het ecologische functioneren van de Westerschelde zijn waterstanden van groot belang; veranderingen in waterstanden betekenen immers veranderingen en variaties in overspoelingsduur van platen, slikken en schorren. Dit zal gevolgen hebben voor het voorkomen van bepaalde diersoorten en vegetatie.

INTERMEZZO Getij en waterbeweging

De waterstand in de Westerschelde wordt voor het grootste deel bepaald door het getij. Het getij ontstaat door de aantrekkende kracht van de maan en de zon op de aarde. De variaties in het getij ontstaan door de draaiing van de aarde maar ook doordat de maan en de aarde zich in een baan rond de zon bewegen. De belangrijkste periodieke variaties in het maans- en zonsgetij zorgen voor de zogeheten 'dagelijkse ongelijkheid' (Figuur 2.2-1) in het getij, de springtij-doodtijcyclus en de 18,6-jarige cyclus.



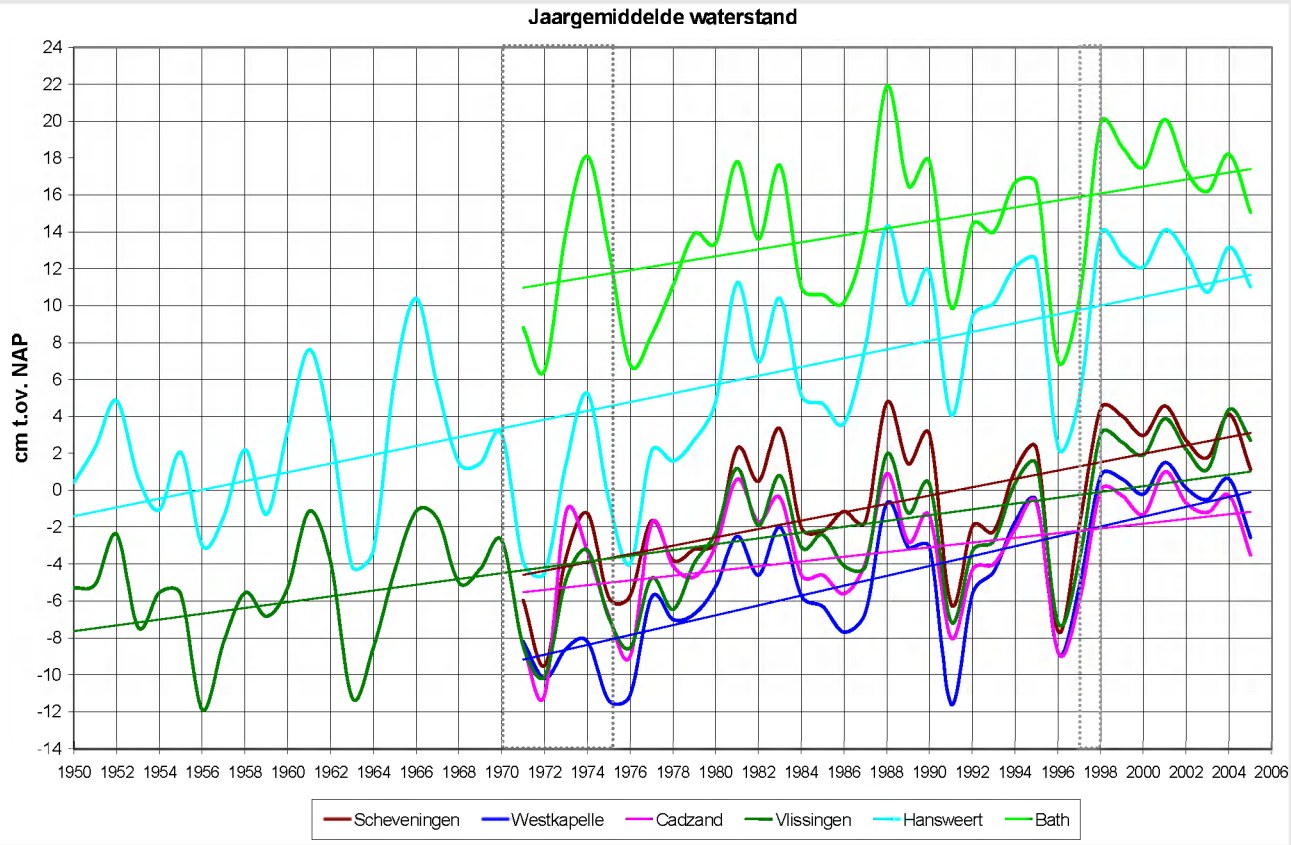
Figuur 2.2-1: Dagelijkse ongelijkheid in het getij. Opeenvolgende hoog- en laagwaterstanden zijn niet gelijk (naar Van Rijn 1994)

Vanaf de monding dringt het tij als een langgerekte golf het estuarium binnen. De geringer wordende dieptes en vernauwing van de bedding vervormen het getij. Door die versmalling ondergaat het vloedwater een opstuwing; de hoogwaters worden hoger naarmate ze de stroom dieper binnendringen. Energieverliezen ten gevolge van wrijving doen de verhoging door de opstuwing gedeeltelijk weer teniet.

1 Getijverschil (= getijslag): verschil tussen gemiddeld hoogwater (GHW) en gemiddeld laagwater (GLW).
2 Faseverschil: de tijd die de getijgolf erover doet om van een bepaald punt naar een ander punt te lopen. Een grotere voortplantingssnelheid betekent een kleiner faseverschil en andersom.
3 Getijvenster is de tijdsduur die schepen nodig hebben om de haven van Antwerpen te kunnen bereiken.
4 Getijongebonden: Schepen met een diepgang van 38 voet kunnen onafhankelijk van het getij varen. Schepen met een diepgang van 43 voet kunnen in één getij de Westerschelde afvaren en schepen met een diepgang van 48 voet kunnen in één getij de Westerschelde opvaren.

Globaal genomen neemt het getijverschil toe van bijna 4 meter bij Vlissingen tot ruim 5,2 meter bij Antwerpen. Na de Durmemonding bereikt het hoogwaterpeil een maximum. Daarna gaan weerstand en wrijvingsverliezen overheersen en neemt het getijverschil af tot ongeveer 2 meter bij Gent.
Naast het getij en de periodieke variaties hebben weersinvloeden zoals windopzet en luchtdruk maar ook de zeespiegelstijging een belangrijke invloed op de waterstand. De ontwikkelingen zijn terug te zien in de waterstandontwikkeling op de lange termijn (zie, Figuur 2.2-2). De grijze blokken geven de periodes van de verruiming weer.

Figuur 2.2-2: Lange termijn ontwikkeling van de gemiddelde waterstand op de meetstations in de Westerschelde



In de hypothesen wordt er alleen gekeken naar de periode vanaf 1986 tot heden. De hoog- en laagwaterstanden zijn echter al vanaf 1950 gemeten en de 10 minuten waterstanden op basis waarvan de jaargemiddelde waterstand bepaald wordt vanaf 1950 voor Vlissingen en Hansweert en vanaf 1971 voor de rest van de meetstations.

De waterstanden, getijverschillen en faseverschillen zijn belangrijke indicatoren voor veranderingen als gevolg van de verruiming.

2.2.2. Rapporten en studies

Op basis van modelberekeningen is in het rapport van de Technische Scheldecommissie (1984) een verwachting opgesteld over de veranderingen van de waterstanden en getijverschillen ten gevolge van de verruiming. De berekeningen met het Scaldis100 model (Dekker, 1994) laten overeenkomsten zien met de modelberekeningen van de Technische Scheldecommissie. Overeenkomstige verwachtingen

worden door De Jong *et al*. (1996) gegeven in de beschrijving van de verwachte effecten van de verdieping en de effecten van ingrepen in het verleden. Deze verwachtingen zijn weergegeven in de vorm van toetsbare hypothesen in het plan van aanpak (de Jong *et al*, 1997). De veranderingen worden verwacht op te treden in de eerste 15 jaar (in tegenstelling tot de 25 jaar in de Jong *et al* (1996)). Een kwalitatieve analyse van de hypothesen voor de waterstanden en getijverschillen is beschreven door Liek *et al* (2002). Een tijdreeksanalyse op basis van de beschikbare waterstandgegevens is in 2002 door Stoorvogel en Habets (2002) uitgevoerd. Hierin zijn de amplitudenverlopen[5] van verschillende getijcomponenten in verschillende stations langs de Westerschelde bestudeerd. Effecten van de verruiming op deze amplitudenverlopen zijn niet op overtuigende wijze aangetoond. Tevens heeft een uitbreiding van deze tijdreeksanalyse tot en met het jaar 2004 geen nieuwe inzichten opgeleverd.
Door Rosca (2003) is een analyse van de faseverschillen tussen de verschillende getijstations uitgevoerd. Hieruit volgt dat er geen aanwijzingen zijn om aan te nemen dat de verruiming van invloed is op de faseverschillen.
Een nadere statistische analyse geeft een onderbouwing voor het lager worden van de laagwaterstanden bij Bath als gevolg van de verruiming (zie Bijlage E en Baggelaar en Van der Meulen, 2006).

2.2.3. Datagebruik

De hypothesen worden getoetst aan de hand waterstandmetingen voor de getijstations Westkapelle, Cadzand, Vlissingen, Hansweert en Bath waarbij de stations Oostende (België)[6] en Scheveningen zijn toegevoegd als referentie (zie Figuur 2.2-3). De metingen worden uitgevoerd in het kader van het MWTL-programma[7] en worden door de Meetadviesdienst, Rijkswaterstaat directie Zeeland verwerkt.



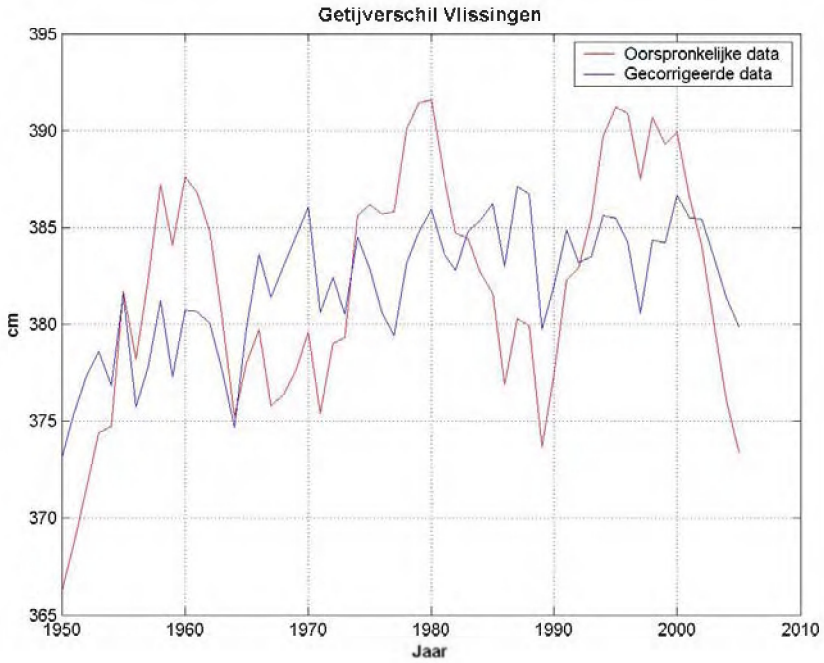
Figuur 2.2-3: Meetstations voor het meten van de waterstand

[5] Getijamplitude: verschil hoogwater en laagwater t.o.v. de middenstand

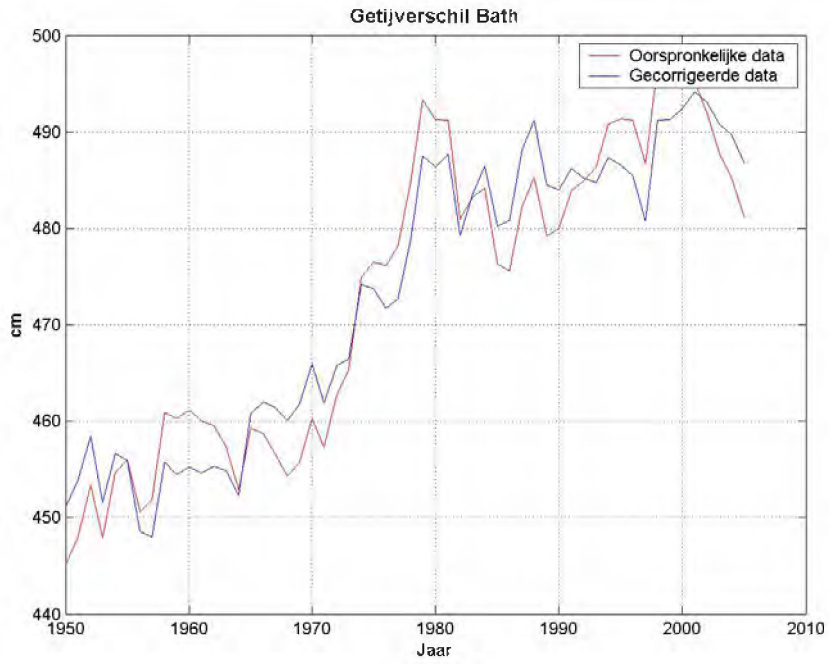
[6] Waterstandgegevens van het station Oostende zijn verkregen van de heer ir. G. Dumon, Hoofd Vlaamse Hydrografie

[7] MWTL-programma = **M**onitoring van de **W**aterstaatkundige **T**oestand des **L**ands

De verkregen waterstandgegevens worden gecorrigeerd voor de 18,6 jarige getijcyclus, die voorkomt in het astronomische getij. Op deze manier wordt voorkomen dat een normale ontwikkeling in de waterstanden wordt gezien als gevolg van de verruiming. De methode voor het verwijderen van de 18,6 jarige cyclus uit de waterstandgegevens is gebaseerd op de methode beschreven in Witteveen+Bos (1999). In Bijlage C wordt verder ingegaan op de methode voor het verwijderen van deze 18,6 jarige cyclus.
Het resultaat van het verwijderen van de 18,6 jarige cyclus uit het gemeten getijverschil van Vlissingen en Bath is in Figuur 2.2-4 en Figuur 2.2-5 weergegeven. Voor de overige meetstations en getijkenmerken zijn de resultaten weergegeven in Bijlage D.



Figuur 2.2-4: Jaargemiddel getijverschil in Vlissingen gecorrigeerd voor de 18,6 jarige cyclus



Figuur 2.2-5: Jaargemiddeld getijverschil in Bath gecorrigeerd voor de 18,6 jarige cyclus

De figuren laten zien dat de invloed van de 18,6 jarige cyclus op het getijverschil minder duidelijk zichtbaar is naarmate men verder van de monding verwijderd is. Vlissingen ligt in de monding en Bath aan het andere eind van het estuarium (zie Figuur 2.2-3). Dit is ook te verwachten aangezien het getij in Bath sterk beïnvloed wordt door de vorm van het estuarium zelf.

Met de gecorrigeerde waterstanden wordt verder gewerkt in de toetsing van de hypothesen.

2.2.4. Hypothesen

HYPOTHESE **W1: Het getij in het mondingsgebied (westelijk van de lijn Vlissingen-Breskens) verandert niet als gevolg van de verdieping.**
Toelichting: Het getij in de monding wordt vooral bepaald door het getij afkomstig uit de Noordzee. Veranderingen van het getij in de monding zullen op dezelfde manier verlopen als ergens anders aan de kust van Nederland (de Jong, 1996).

Westelijk van de lijn Vlissingen-Breskens liggen de meetstations Westkapelle en Cadzand. Aan de hand van deze twee stations is in de evaluatie van 2003 de getijontwikkeling in het mondingsgebied beschreven. In deze evaluatie is het station Vlissingen hier aan toegevoegd. Er wordt namelijk vanuit gegaan dat de lijn Vlissingen-Breskens de grens van het mondingsgebied is. Het ligt dan voor de hand om naast de stations Cadzand en Westkapelle het station Vlissingen ook te bekijken. Wanneer de ontwikkelingen in alle drie de stations ongeveer gelijk zijn is het gerechtvaardigd om getijkenmerken in de stations verderop in het estuarium te beschouwen ten opzichte van Vlissingen.

Het getij over de periode 1986-2005 kan worden beschreven aan de hand van een aantal jaargemiddelde getijkenmerken:
- Hoogste hoogwater [cm t.o.v. NAP]
- Jaargemiddeld hoogwater [cm t.o.v. NAP]
- Jaargemiddeld laagwater [cm t.o.v. NAP]
- Jaargemiddelde waterstand [cm t.o.v. NAP]
- Laagste laagwater [cm t.o.v. NAP]
- Jaargemiddeld getijverschil [cm]

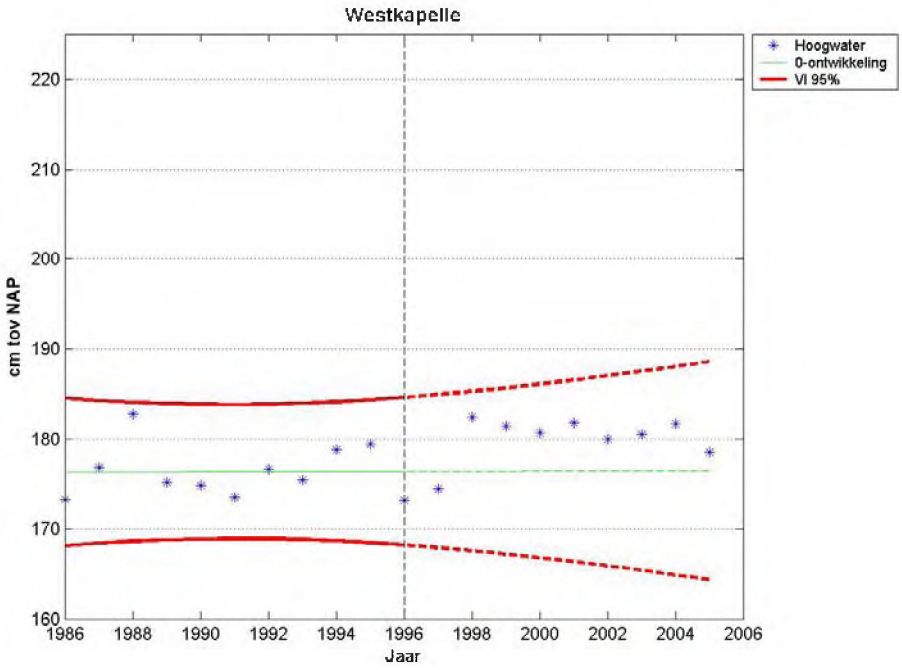
Anders dan in de evaluatie van 2003 zijn de getijkenmerken hoogste hoogwaterstand, gemiddelde waterstand en laagste laagwaterstand nu wel gecorrigeerd voor de 18,6 jarige cyclus. De methode voor het verwijderen van de 18,6 jarige cyclus is beschreven in Bijlage C. De hoogste hoogwaterstand en de laagste laagwaterstand worden onder hypothese W5 beschreven omdat extreme waterstanden voornamelijk worden bepaald door weersomstandigheden waardoor er niet gesproken kan worden van een ontwikkeling zoals beschreven voor de andere getijkenmerken.

Naast de toevoeging van het station Vlissingen zijn de waterstandgegevens van het meetstation Scheveningen en Oostende

(België) ook toegevoegd. Scheveningen is een station buiten de Westerschelde ver genoeg van de Westerschelde zodat er van lokale beïnvloeding door de Westerschelde geen sprake kan zijn, anderzijds is de afstand tot de Westerschelde zo klein dat de weersomstandigheden bij dit station vergelijkbaar zijn met die in de Westerschelde. Dit geldt ook voor het station Oostende. Het verschil is dat dit station ten zuiden van de Westerschelde ligt en Scheveningen ten noorden van de Westerschelde. Aan de hand van deze extra stations is te zien of de veranderingen in de Westerschelde specifiek zijn voor de Westerschelde of niet.

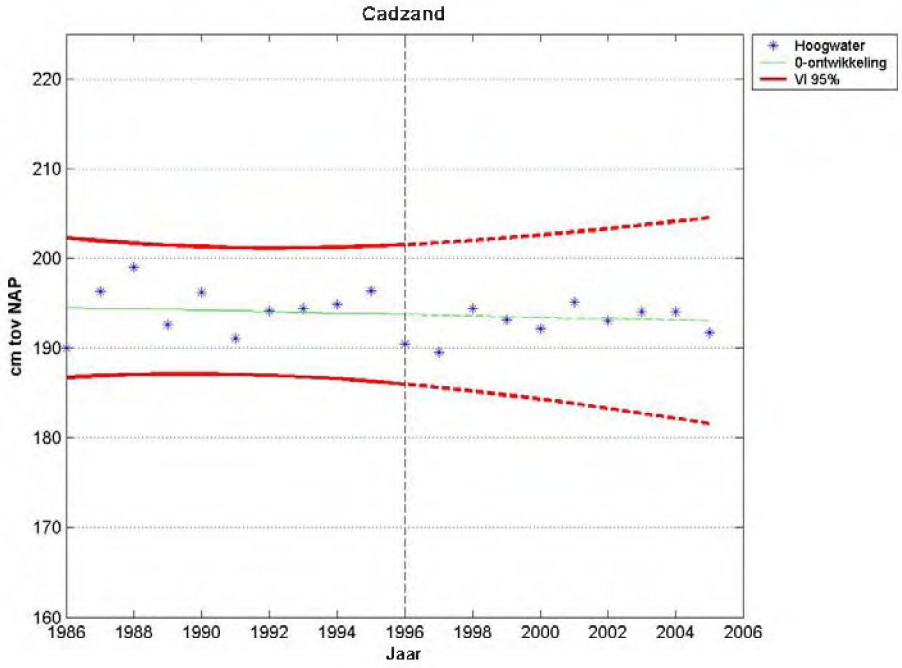
Voor de toetsing van de hypothese (W1) wordt gekeken naar de afwijkingen van de getijkenmerken ten opzichte van de nulontwikkeling. De nulontwikkeling is een lineaire trend gebaseerd op het betreffende getijkenmerk in de periode 1986 tot en met 1996. Daarnaast is voor de getijkenmerken een 95% voorspellingsinterval gegeven welke gebaseerd op dezelfde periode. Het voorspellingsinterval geeft met een zekerheid van 95% een range waarbinnen de waarden na 1996 zouden moeten vallen wanneer er geen significante afwijking is opgetreden ten opzichte van de nulotnwikkeling.

Het jaargemiddelde hoogwater voor Westkapelle, Cadzand, Vlissingen, Scheveningen en Oostende zijn weergegeven in Figuur 2.2-6 tot en met Figuur 2.2-10. De hoogwaterstanden zijn gecorrigeerd voor de invloed van de 18,6 jarige cyclus.

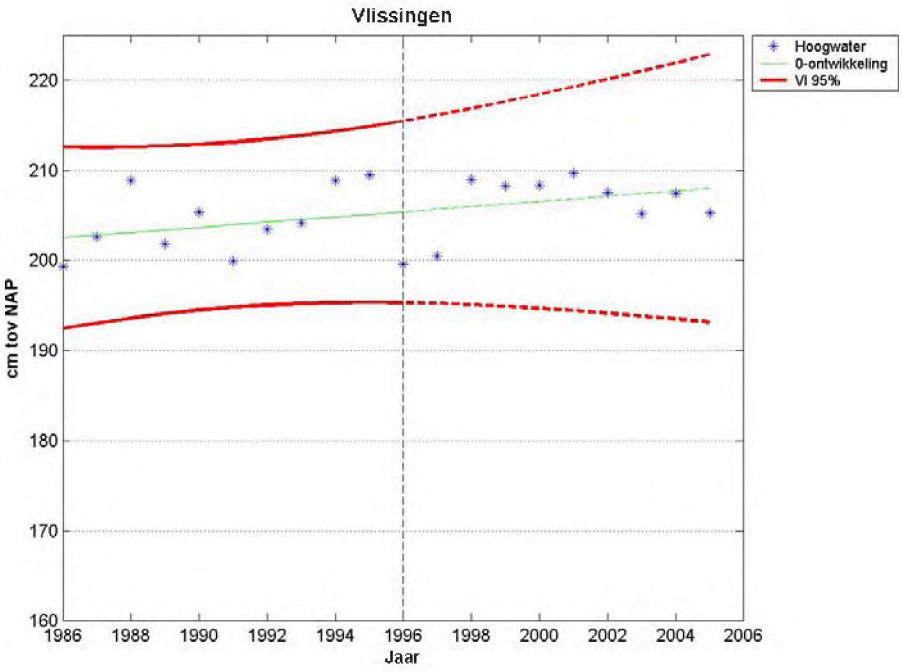


Figuur 2.2-6: Jaargemiddelde hoogwaterstand in Westkapelle

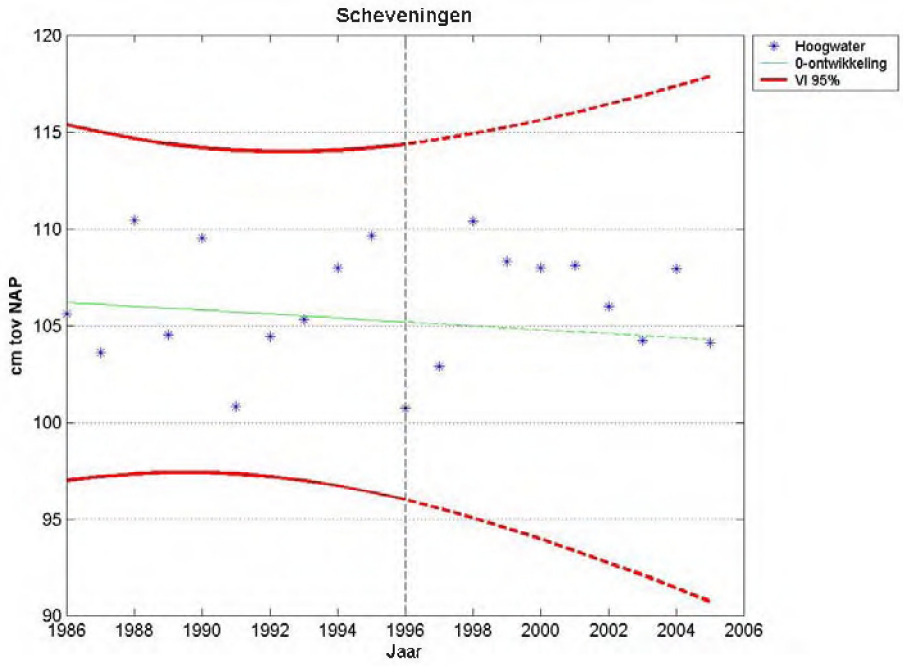
Figuur 2.2-7: Jaargemiddelde hoogwaterstand in Cadzand



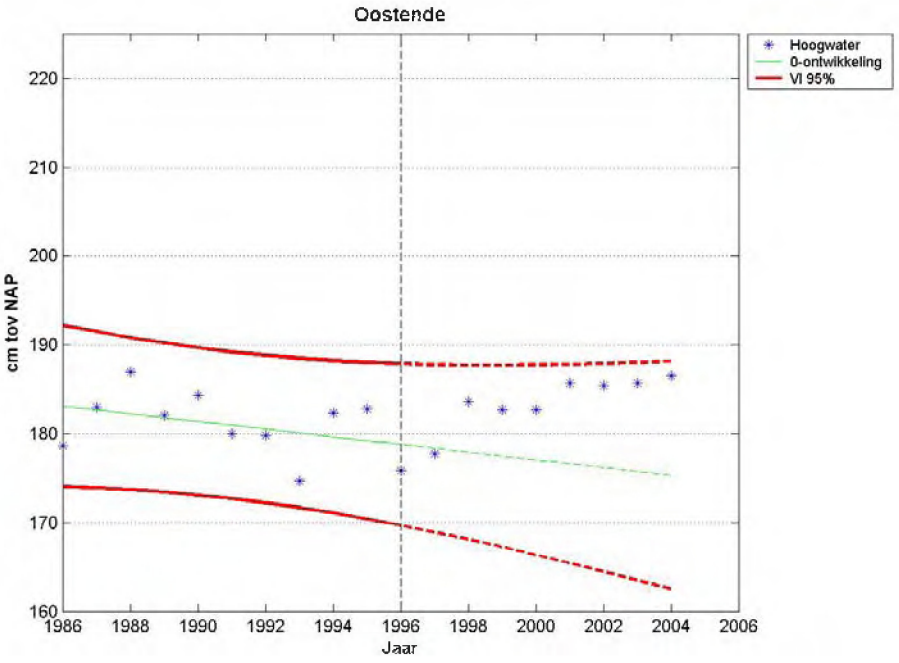
Figuur 2.2-8: Jaargemiddelde hoogwaterstand in Vlissingen



Figuur 2.2-9: Jaargemiddelde hoogwaterstand in Scheveningen. NB de y-as is niet gelijk aan de y-as voor de hoogwaterstand van Westkapelle, Cadzand en Vlissingen.



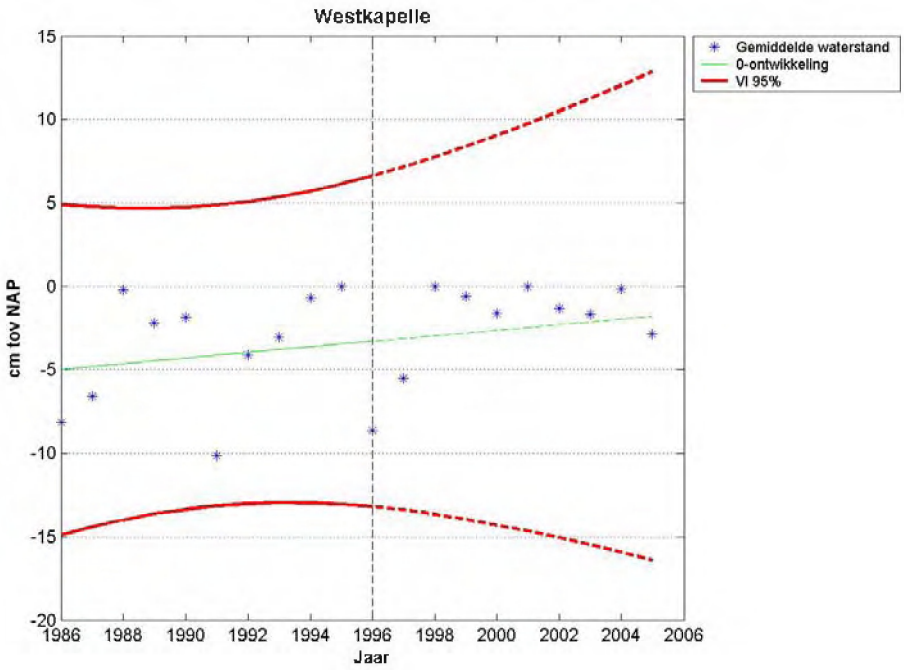
Figuur 2.2-10: Jaargemiddelde hoogwaterstand in Oostende (België)



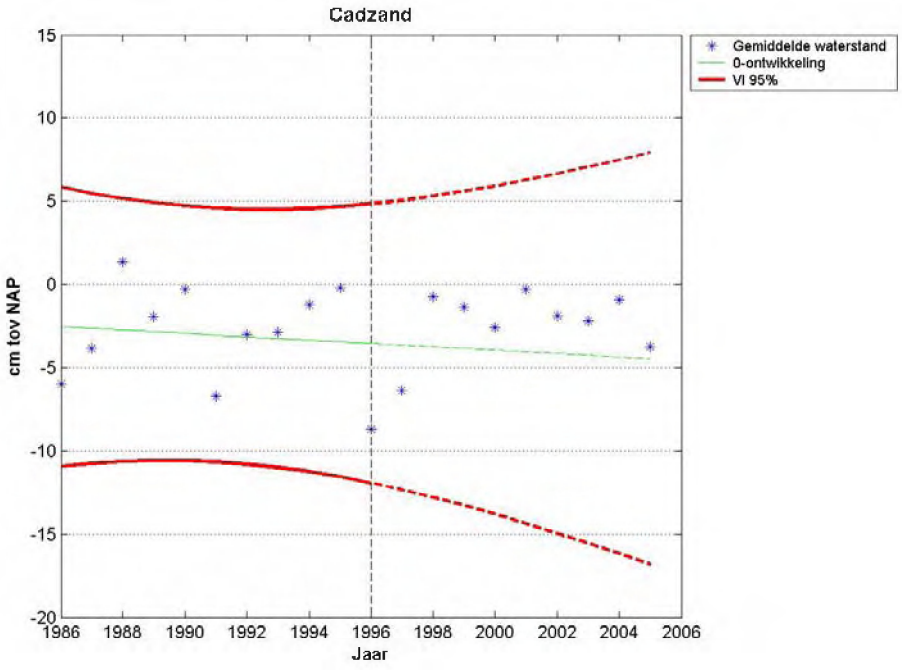
De nulontwikkeling van de jaargemiddelde hoogwaterstand in Westkapelle, Cadzand en Scheveningen is zo goed als vlak. In Vlissingen is de nulontwikkeling stijgend. Terwijl in Oostende de nulontwikkeling een dalende trend heeft. Echte afwijkingen ten opzichte van de nulontwikkeling zijn behalve in Oostende niet waargenomen. Wel moet opgemerkt worden dat in Westkapelle ook alle waarden na 1996 boven de nulontwikkeling liggen, maar wel minder sterk dan in Oostende. In Oostende is het jaargemiddeld hoogwater na 1996 tot 2005 hoger dan vanuit de nulontwikkeling verwacht zou kunnen worden.

De jaargemiddelde waterstand in Westkapelle, Cadzand, Vlissingen, Scheveningen en Oostende is gegeven in Figuur 2.2-11 tot en met Figuur 2.2-15. De jaargemiddelde waterstanden zijn gecorrigeerd voor de invloed van de 18,6 jarige cyclus.

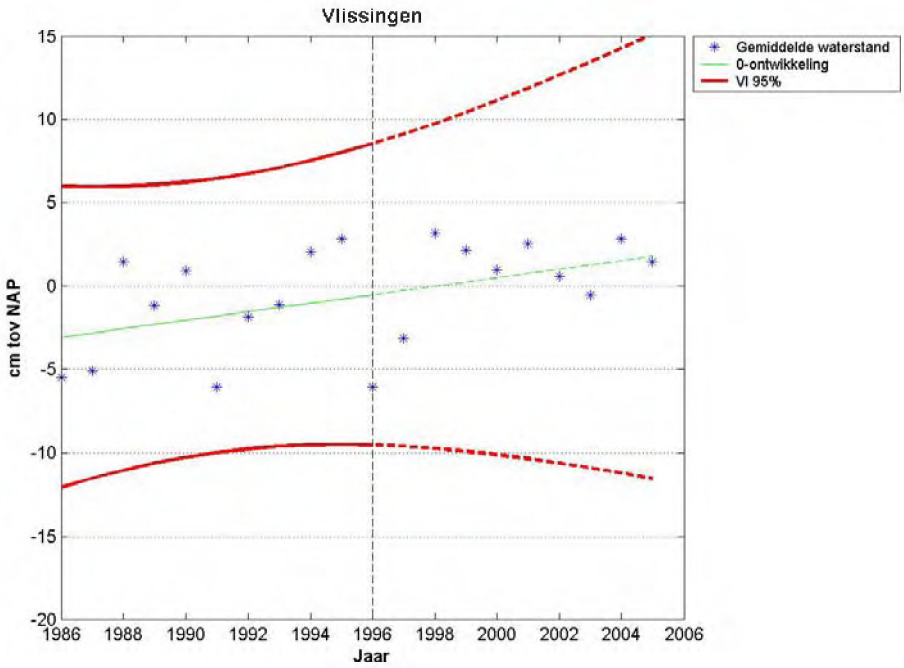
Figuur 2.2-11: Jaargemiddelde waterstand in Westkapelle



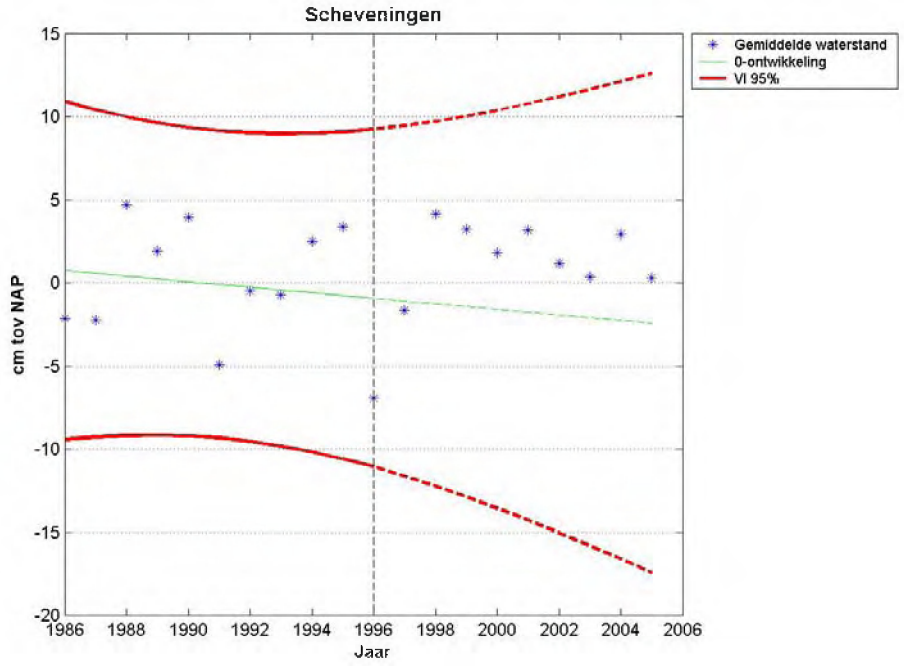
Figuur 2.2-12: Jaargemiddelde waterstand in Cadzand



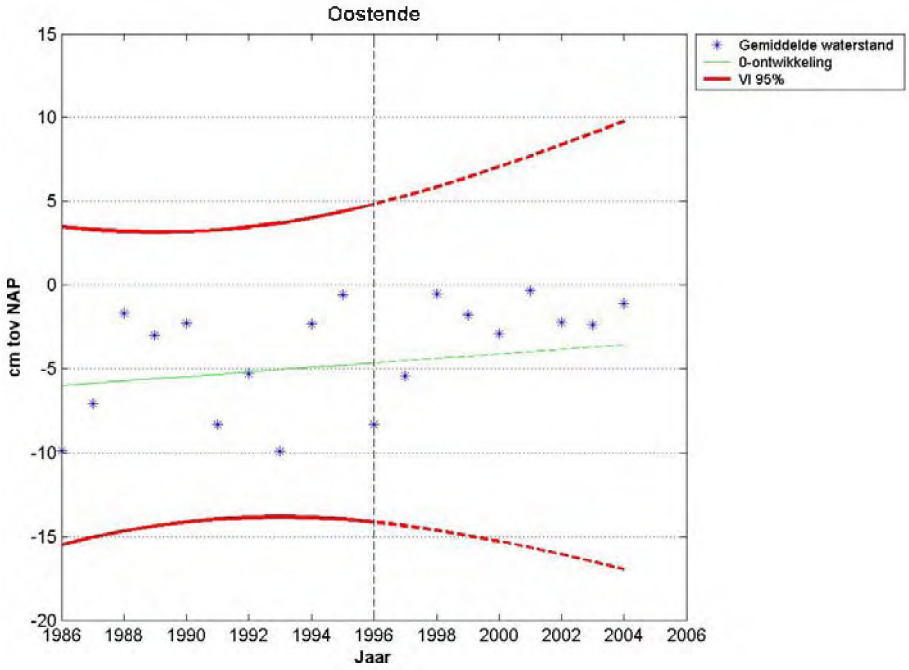
Figuur 2.2-13: Jaargemiddelde waterstand in Vlissingen



Figuur 2.2-14: Jaargemiddelde waterstand in Scheveningen



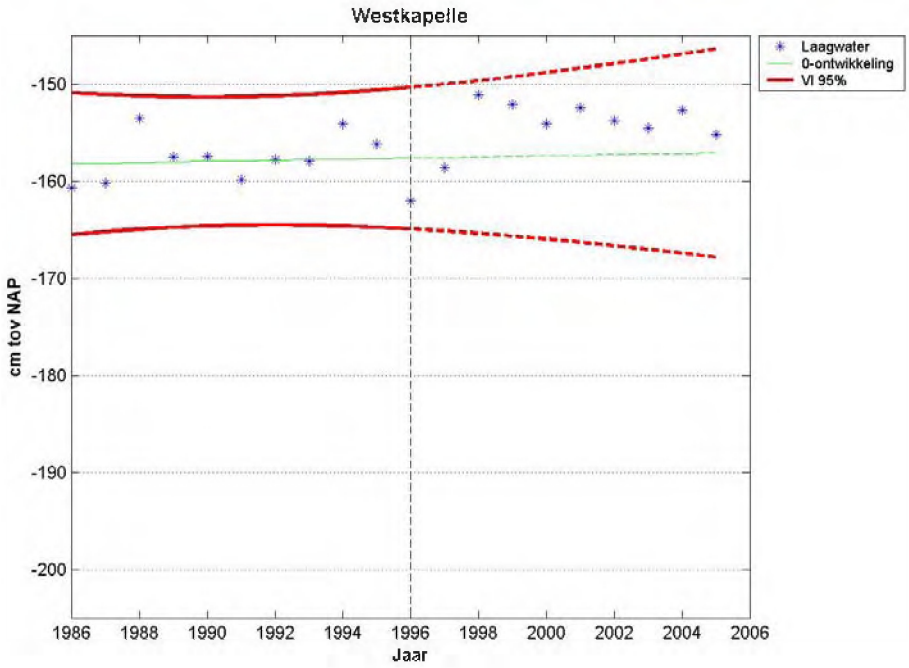
Figuur 2.2-15: Jaargemiddelde waterstand in Oostende (België)



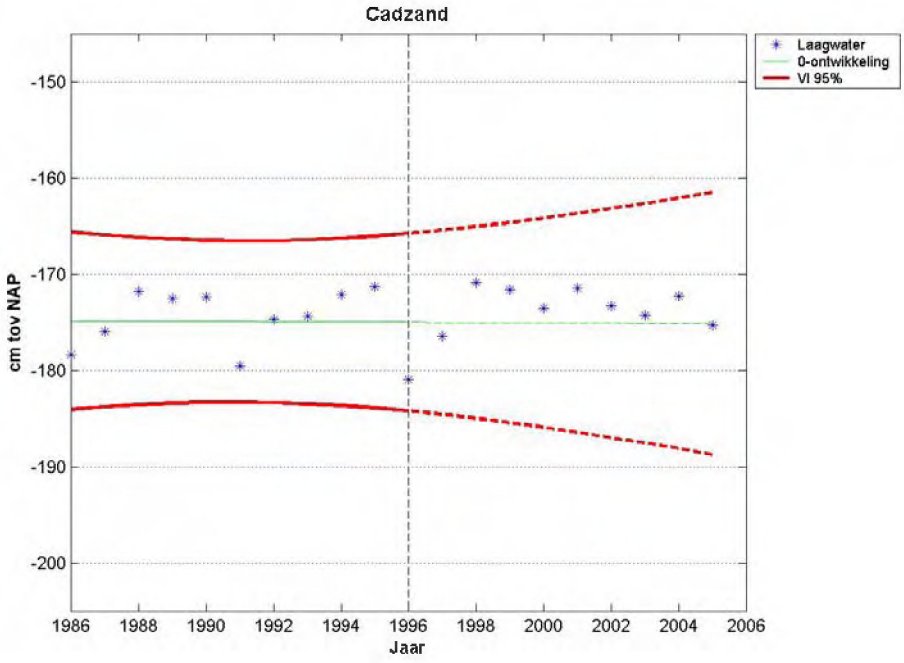
De nulontwikkeling van de jaargemiddelde waterstand in Westkapelle, Vlissingen en Oostende laten een licht stijgende trend zien terwijl in Cadzand en Scheveningen juist een licht dalende trend te zien is. Waarschijnlijk wordt dit verschil door locale effecten zoals de ligging van de meetlocaties veroorzaakt. Duidelijke afwijkingen ten opzichte van de nulontwikkeling zijn niet waargenomen.

De jaargemiddelde laagwaterstand in Westkapelle, Cadzand, Vlissingen, Scheveningen en Oostende (België) is gegeven in Figuur 2.2-16 tot en met Figuur 2.2-20. De jaargemiddelde laagwaterstanden zijn gecorrigeerd voor de 18,6 jarige cyclus.

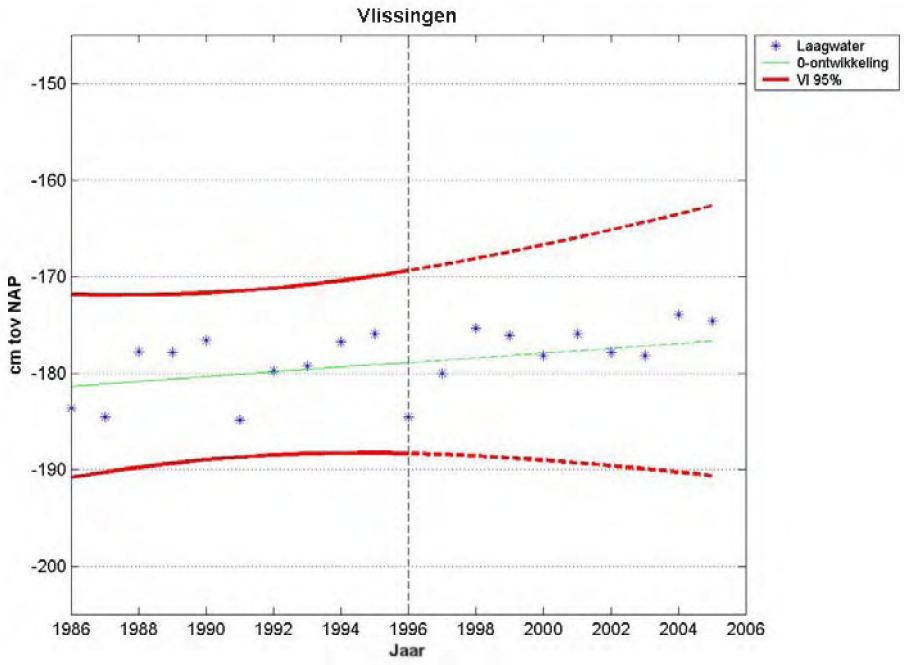
Figuur 2.2-16: Jaargemiddelde laagwaterstand in Westkapelle



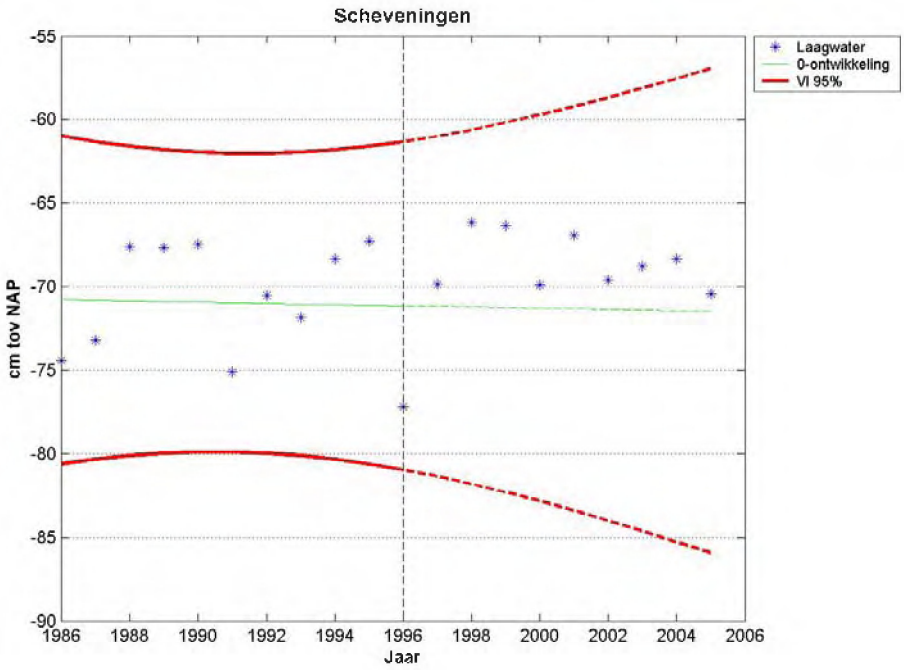
Figuur 2.2-17: Jaargemiddelde laagwaterstand in Cadzand



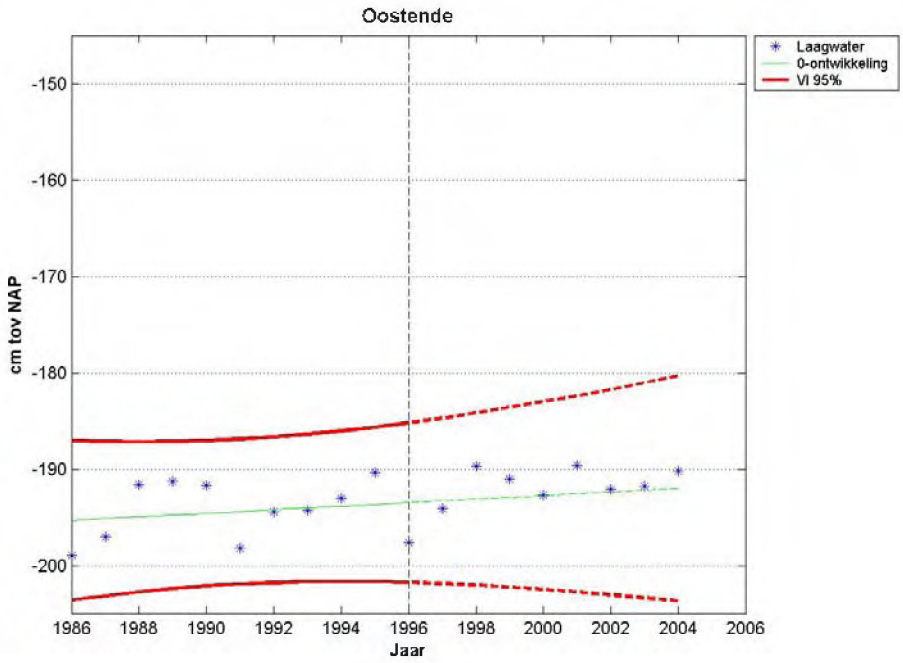
Figuur 2.2-18: Jaargemiddelde laagwaterstand in Vlissingen



Figuur 2.2-19: Jaargemiddelde laagwaterstand in Scheveningen NB. De y-as is niet gelijk aan de y-as van de jaargemiddelde laagwaterstand in Westkapelle, Cadzand en Vlissingen



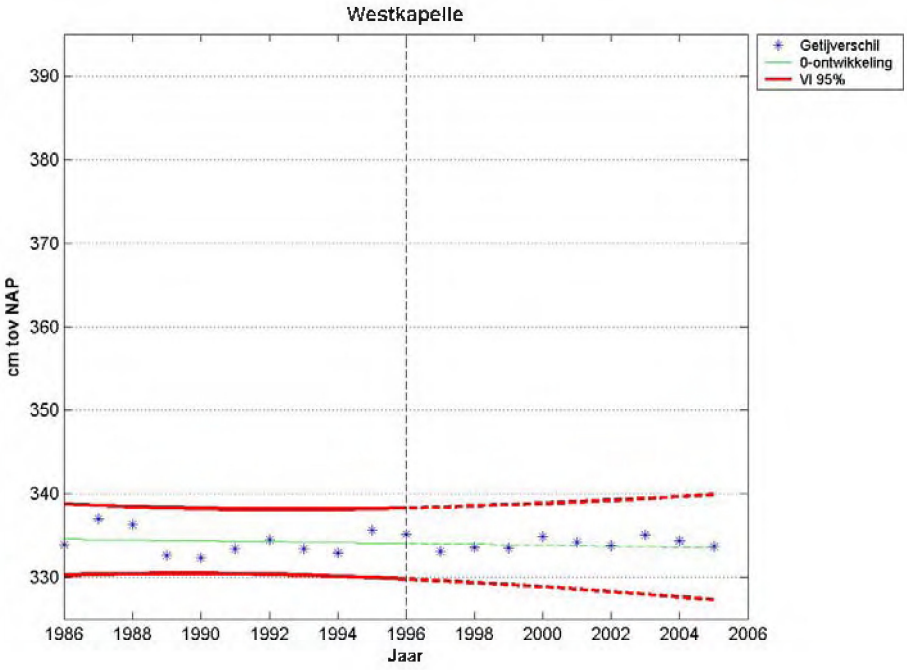
Figuur 2.2-20: Jaargemiddelde laagwaterstand in Oostende (België)



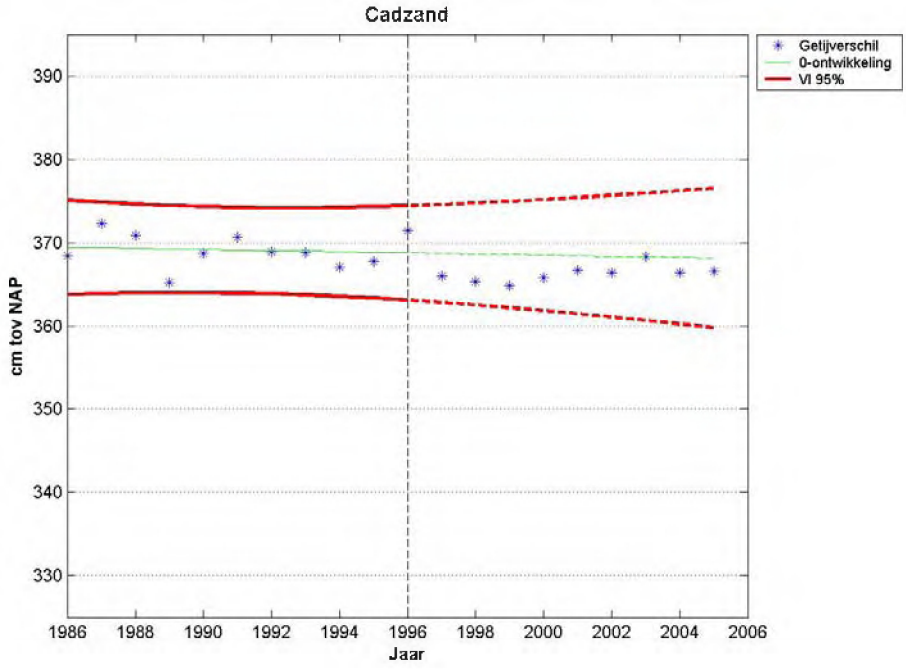
De nulontwikkeling in de jaargemiddelde laagwaterstanden in Westkapelle, Cadzand en Scheveningen is nagenoeg vlak. In Vlissingen stijgt de nulontwikkeling licht. Deze lichte stijging vindt reeds sinds 1950 plaats. Ook in Oostende is een lichte stijging zichtbaar in de nulontwikkeling. Er zijn geen grote afwijkingen ten opzichte van de nulontwikkeling.

Het jaargemiddelde getijverschil in Westkapelle, Cadzand, Vlissingen, Scheveningen en Oostende (België) zijn gegeven in Figuur 2.2-21 tot en met Figuur 2.2-25. De jaargemiddelde getijverschillen voor de verschillende stations zijn gecorrigeerd voor de 18,6 jarige cyclus.

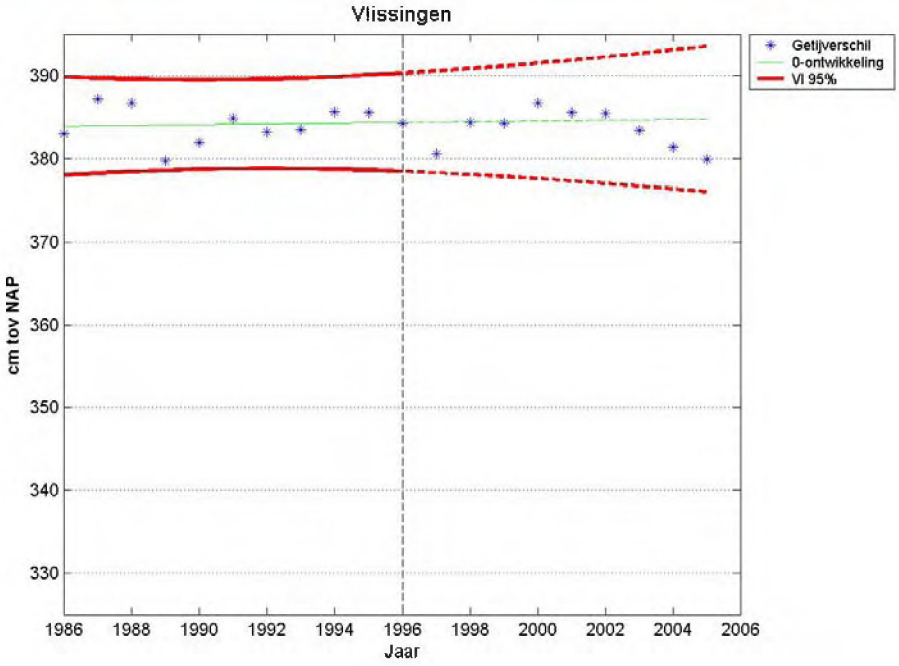
Figuur 2.2-21: Jaargemiddeld getijverschil in Westkapelle



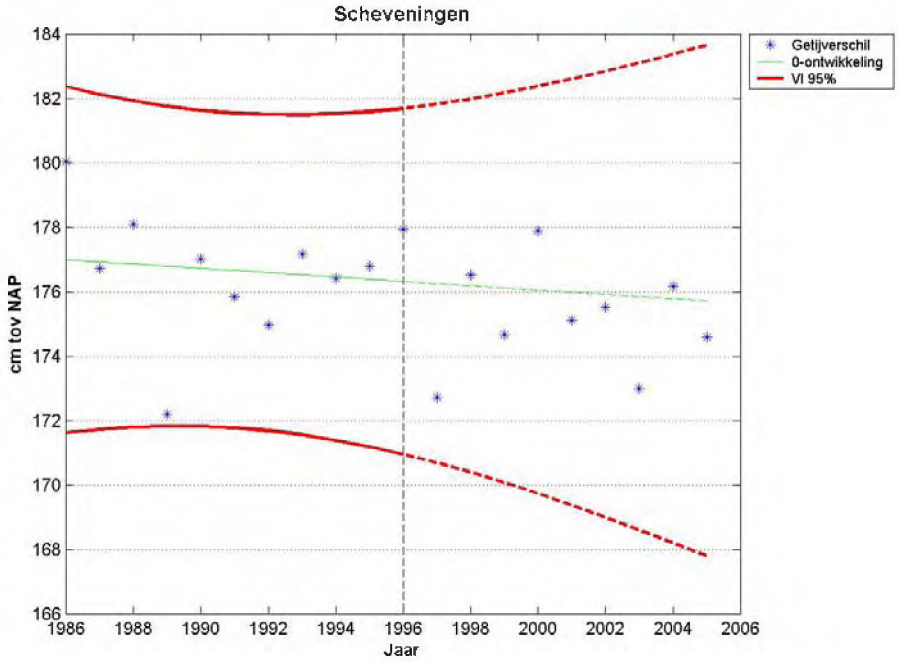
Figuur 2.2-22: Jaargemiddeld getijverschil in Cadzand



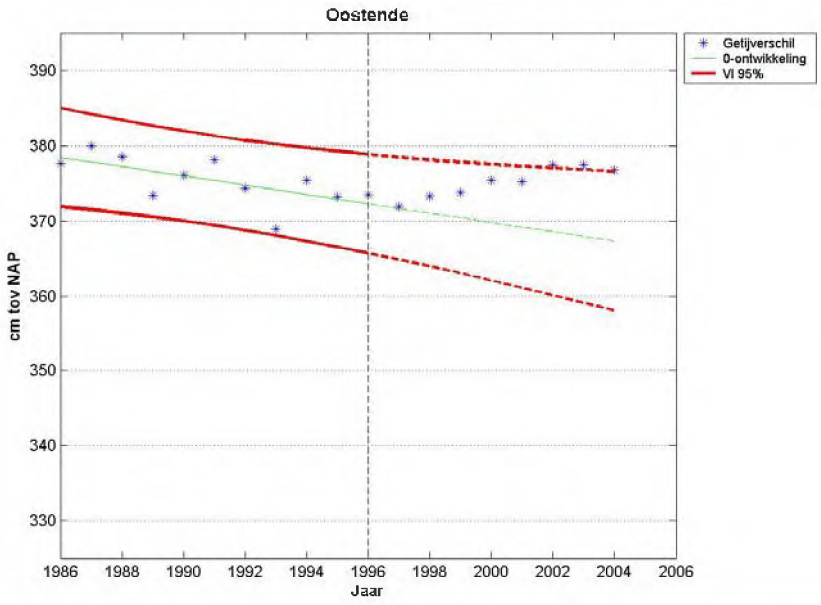
Figuur 2.2-23: Jaargemiddeld getijverschil in Vlissingen



Figuur 2.2-24: Jaargemiddeld getijverschil in Scheveningen
NB. De y-as is niet gelijk aan de y-as voor het getijverschil in Westkapelle, Cadzand en Vlissingen



Figuur 2.2-25: Jaargemiddeld getijverschil in Oostende (België)



De nulontwikkeling van de getijverschillen in Westkapelle en Vlissingen is min of meer vlak. In Cadzand, Scheveningen en Oostende is de nulontwikkeling dalend, waarbij er in Cadzand slechts sprake is van een zeer lichte daling. Behalve in Oostende vinden er na 1996 geen grote afwijkingen plaats ten opzichte van de nulontwikkeling. De toename van de getijslag in Oostende wordt voornamelijk veroorzaakt door de toename van de hoogwaterstand.

Wat gebeurt er nu in de Monding van de Westerschelde? Er zijn geen duidelijke veranderingen na 1996 opgetreden ten opzichte van de nulontwikkeling van de verschillende getijkenmerken van de meetstations. De nulontwikkelingen van de verschillende meetstations zijn weergegeven in Tabel 2.2-1. Allereerst kijken we naar de verschillen van de nulontwikkeling tussen de meetstations.

Tabel 2.2-1: Samenvatting van de nulontwikkeling van de verschillende getijkenmerken voor de meetstations

	Hoogwater	Gemiddelde waterstand	Laagwater	Getijverschil
Westkapelle	→/↑	↑	→/↑	→/↓
Cadzand	→/↓	↓	→/↓	→/↓
Vlissingen	↑	↑	↑	→/↑
Scheveningen	→/↓	↓	→/↑	↓
Oostende	↓*	↑	↑	↓*

*Trendbreuk. Na 1996 stijgen de waarden t.o.v. de nulontwikkeling

Hier valt op dat de nulontwikkeling van de hoog- en laagwaterstand in Westkapelle en Cadzand nagenoeg vlak is, net als de nulontwikkeling in Scheveningen. In Vlissingen heeft het hoogwater een stijgende nulontwikkeling, terwijl deze in Oostende een daling vertoont. Er is in Oostende wel sprake van een trendbreuk in de hoogwaterstanden. Na 1996 is er een stijging opgetreden welke sterk afwijkt van de dalende nulontwikkeling. De nulontwikkeling in de laagwaterstanden vertoont voor zowel Vlissingen als Oostende een lichte stijging.

De nulontwikkeling van de gemiddelde waterstand van Cadzand is ook gelijk aan Scheveningen. Hiermee zijn vrijwel alle getijkenmerken van Cadzand gelijk aan die van Scheveningen. Tevens lopen de jaarlijkse fluctuaties in de getijkenmerken enigszins gelijk.
De nulontwikkeling van de gemiddelde waterstand in Vlissingen, Westkapelle en Oostende is juist tegengesteld aan de nulontwikkeling van Scheveningen. Dit geldt niet voor de fluctuaties in de jaarlijkse getijkenmerken van Westkapelle ten opzichte van Scheveningen en Cadzand.

Wanneer we naar ontwikkeling van de getijkenmerken voor de afzonderlijke stations Westkapelle en Cadzand kijken zien we een lichte daling van het getijverschil in Cadzand (zie Figuur 2.2-22) en Westkapelle (zie Figuur 2.2-21). Terwijl het getijverschil in Vlissingen juist licht stijgt (Figuur 2.2-23). De lichte daling in het getijverschil in Westkapelle wordt mogelijk veroorzaakt door de iets gestegen laagwaterstand (zie Figuur 2.2-16). In Cadzand wordt dit juist zeer waarschijnlijk veroorzaakt doordat de jaargemiddelde laagwaterstand iets minder laag is geworden (zie Figuur 2.2-17). De stijging van het getijverschil in Vlissingen wordt veroorzaakt doordat het hoogwater (Figuur 2.2-8) sterker is gestegen dan het laagwaterstand (Figuur 2.2-18). In Oostende is een sterke verandering na 1996 in de hoogwaterstanden te zien. Deze werkt door in het getijverschil (zie Figuur 2.2-25).

Het beeld dat de richting van de nulontwikkeling van de getijkenmerken in Cadzand sterk overeen komt met de richting van de nulontwikkeling van de getijkenmerken in Scheveningen duidt erop dat er zich in Cadzand geen specifieke veranderingen voordoen als gevolg van veranderingen in de Westerschelde. Waarom Westkapelle wel afwijkt is niet direct aan te geven. De ligging van Westkapelle onder de punt van Walcheren zou een oorzaak kunnen zijn. Hierdoor zouden lokale effecten een overheersende rol kunnen spelen. Dit voert echter te ver om in het kader van MOVE verder uit te werken.

De ontwikkelingen die te zien zijn in Westkapelle, Cadzand en Vlissingen zijn zeer klein en komen tot op zekere hoogte overeen met de ontwikkelingen in het station Scheveningen. Tevens liggen alle waarden van de verschillende getijkenmerken binnen het 95% voorspellingsinterval. Er kan globaal gezien gezegd worden dat de ontwikkelingen van de getijkenmerken in de monding van de Westerschelde niet veranderd zijn. Het signaal van Vlissingen wordt in de verdere analyse gebuikt om de waterstanden in de rest van de Westerschelde aan te refereren.

HYPOTHESE **W2: Het getijverschil neemt op de Westerschelde, als gevolg van de verdieping, extra toe met 0 cm ter plaatse van Vlissingen en 10-20 cm ter plaatse van Bath.**
Toelichting: Door een snellere getijdoordringing en vergroting van het getijvolume in het oostelijk deel zullen de hoogwaterstanden in het oostelijk deel van de Westerschelde hoger worden en de laagwaterstanden lager worden (De Jong, 1997).

Het getijverschil is het verschil tussen gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater. Voor de hypothese (W2) werd er in de evaluatie van 2003 maar naar twee stations gekeken waarvan één in de monding, Vlissingen en één aan de Schelde zijde van het estuarium, Bath. In deze evaluatie is het station Hansweert ook toegevoegd. Op deze manier kan er een beeld gevormd worden van de veranderingen in het getijverschil op de Westerschelde. Het getijverschil in Vlissingen, Hansweert en Bath is gecorrigeerd voor de 18,6 jarige cyclus. De methode voor het verwijderen van de 18,6 jarige cyclus is beschreven in Bijlage C.

Hypothese W2 verwacht in Vlissingen geen verandering van het getijverschil als gevolg van de verruiming. Er worden immers ook geen veranderingen in de monding (lijn Vlissingen-Breskens, zie hypothese W1) verwacht. Doordat er geen verandering wordt verwacht is er ook geen hypothesebereik voor het getijverschil in Vlissingen bepaald. Richting Bath wordt er wel een verandering in het getijverschil verwacht. Het wordt verwacht dat deze stijging wordt veroorzaakt door een stijging van de hoogwaterstand (zie hypothese W4) en een verlaging van de laagwaterstand (zie hypothese W3). Volgens hypothese W2 resulteert dit in een maximale stijging van 20 cm ten opzichte van T_0 (bovengrens hypothese) en een minimale stijging 10 cm boven op de nulontwikkeling na een periode van 15 jaar (ondergrens hypothese). Met 'boven op de nulontwikkeling' wordt bedoeld dat de ondergrens van de hypothese is gebaseerd op de nulontwikkeling van de getijslag in Bath plus een geleidelijke extra stijging van 10 cm na 15 jaar.

Voor de getijstations is de nulontwikkeling een lineaire trend gebaseerd op de periode 1986-1996. Naast het hypothesebereik is er ook een 95% voorspellingsinterval bepaald. Dit geeft een beeld of het getijverschil na 1996 anders is dan de periode ervoor.

Het getijverschil in Vlissingen (zie Figuur 2.2-23) laat geen duidelijke afwijking na 1996 ten opzichte van de nulontwikkeling zien. Tevens vallen alle waarden binnen het 95% voorspellingsinterval.

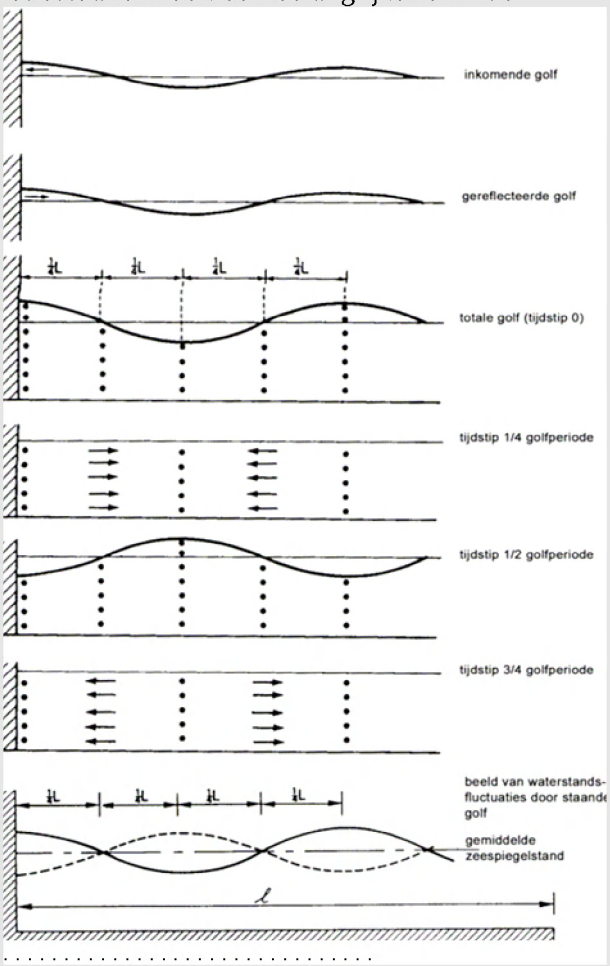
Wanneer we naar het getijverschil in Hansweert kijken (zie Figuur 2.2-27) is te zien dat het verloop ervan bijna gelijk is aan het verloop in Bath (Figuur 2.2-28). Het getijverschil in Hansweert is alleen wat kleiner en ligt dichter bij de nulontwikkeling. De stijging tot en met 2002 en de daling die daarop volgt is in Hansweert, maar ook in Vlissingen te zien.

INTERMEZZO Demping, resonantie en golflengte

Veranderingen in het getijverschil worden veroorzaakt door veranderingen in de hoog- en laagwaterstand. De waterstand wordt bepaald door de weerstand die een getijgolf ondervindt van de bodem. De getijgolf wordt als gevolg van de weerstand gedempt, er vindt energiedissipatie plaats. Wanneer het dieper is ondervindt de getijgolf minder weerstand van de bodem en zal er minder energiedissipatie plaatsvinden wat resulteert in een kleinere demping van de getijgolf. Veranderingen in de weerstand spelen een belangrijkere rol wanneer de waterdiepte ten opzichte van de waterstandsfluctuaties relatief klein is. Dit betekent voor de Westerschelde dat in het oostelijk deel (Bath)

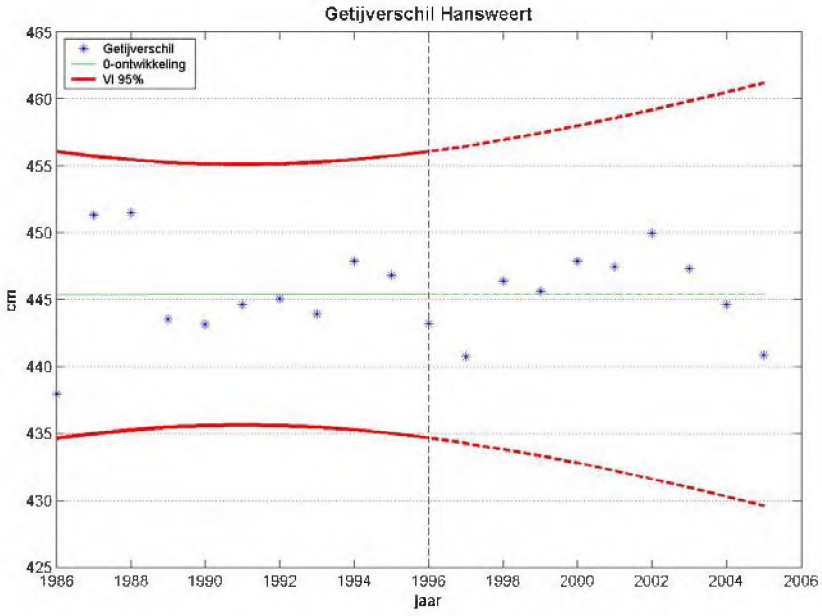
de weerstand een belangrijkere rol speelt dan in het westelijk deel (Vlissingen). Verandering in weerstand door vaarwegverruiming zal dan ook in het oosten de grootste invloed hebben op de waterbeweging (Witteveen+Bos, 1999).

Naast de weerstand van de bodem speelt de vorm van het estuarium ook een belangrijke rol in de veranderingen van de waterstand en daarmee de getijslag. Van west naar oost gaand wordt het Schelde estuarium steeds smaller. Het zou globaal als een soort trechter beschouwd kunnen worden. In de buurt van Bath treedt een sterke vernauwing op waardoor de inkomende getijgolf deels kan reflecteren op de randen (Figuur 2.2-28). Hierdoor ontstaat er een teruglopende golf. Deze kan vervolgens interfereren met de inkomende golf. Wanneer er een versterking van de getijgolf ontstaat als gevolg van de interferentie wordt dit resonantie genoemd. Het voorkomen van resonantie is afhankelijk van de verhouding tussen de getijgolflengte en de lengte van het estuarium. Indien de getijgolflengte dicht bij een viervoud van de lengte van het estuarium ligt kan het zijn dat de amplitude van de getijgolf toeneemt. Er is dan sprake van resonantie. De lengte van het estuarium zal als gevolg van de verruiming zeer waarschijnlijk niet veranderen. De getijgolflengte zal zeer waarschijnlijk wel toenemen als gevolg van een toename in de voortplantingssnelheid van de getijgolf. Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat de getijgolflengte dichterbij een viervoud van de estuariumlengte komt waardoor er resonantie kan optreden. Bij Bath is er sprake van beide effecten. Hierdoor is de getijgolf bij Bath een samengestelde golf die ervoor zorgt dat de waterstand in Bath hoger is dan in Vlissingen.

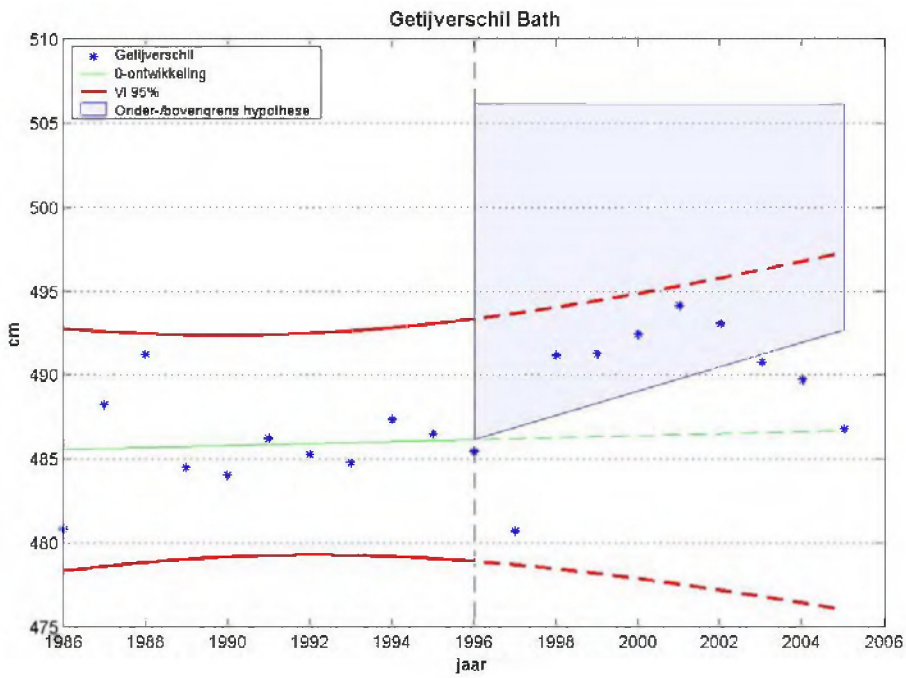


Figuur 2.2-26: Staande golf (naar Van Rijn, 1994)

Figuur 2.2-27: Jaargemiddeld getijverschil in Hansweert



Het getijverschil in Bath is circa 100 cm groter dan in Vlissingen. De ontwikkeling van het getijverschil in Bath (zie Figuur 2.2-28) laat na 1996 tot en met 2002 een stijging zien die binnen het hypothesebereik valt. In de evaluatie van 2003, op basis van metingen tot en met 2001, was dit de reden om aan te nemen dat het getijverschil verder zou gaan toenemen zoals verwacht in hypothese W2.



Figuur 2.2-28: Jaargemiddeld getijverschil bij Bath. De onder-/bovengrens is resp. 10 cm stijging in 15 jaar extra op de 0-ontwikkeling en 20 cm stijging t.o.v. T_0.

Echter na 2001 lijkt het getijverschil in Bath weer te dalen. De meetpunten na 2001 liggen nog wel boven de nulontwikkeling maar van een groter wordend verschil zoals verwacht in de hypothese lijkt geen sprake te zijn. In de discussie zal deze ontwikkeling in Bath nog eens bekeken worden ten opzichte van de ontwikkeling in Vlissingen. In de volgende hypothesen wordt verder ingegaan op de ontwikkeling van het jaargemiddeld hoogwater (W4) en laagwater (W3) in Bath aangezien deze de getijslag bepalen.

HYPOTHESE W3: **De laagwaterstanden verlagen, als gevolg van de verdieping, t.o.v. de laagwaterstand bij Vlissingen bij normale getijomstandigheden vanaf Hansweert (0 cm) tot 5-15 cm bij Bath**
Toelichting: Door een snellere getijdoordringing en vergroting van het getijvolume in het oostelijk deel zullen de laagwaterstanden in het oostelijk deel van de Westerschelde verlagen (De Jong, 1997).

De hypothese gaat ervan uit dat de laagwaterstanden in de Westerschelde lager zullen worden als gevolg van de verruiming. Tevens wordt verwacht dat een eventuele verlaging vanaf Hansweert richting Bath zichtbaar zal worden. Hierbij wordt er van uitgegaan dat er in Hansweert nog geen verlaging te zien is.

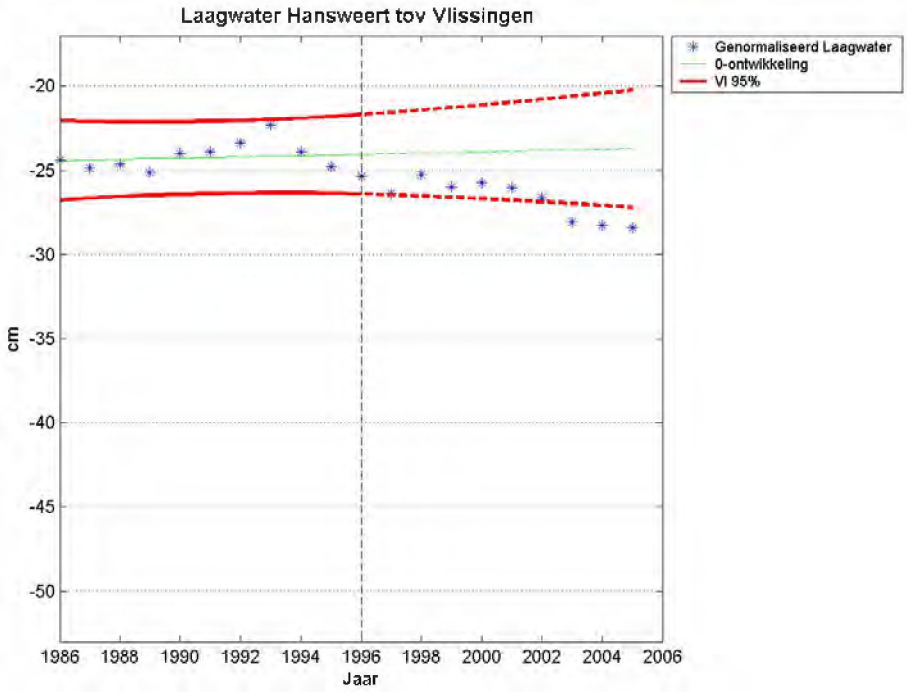
Voor het toetsen van deze hypothese wordt er gebruik gemaakt van de jaargemiddelde laagwaterstand bij Hansweert en Bath ten opzichte van de waterstand in Vlissingen. Op deze manier zijn de getijstations beter

te vergelijken. Voor de stations Hansweert en Bath is een nulontwikkeling (lineaire trend) en een 95% voorspellingsinterval bepaald aan de hand van de laagwaterstanden in de periode 1986-1996. Tevens zijn de laagwaterstanden in alle drie de stations gecorrigeerd voor de 18,6 jaar getijcyclus. De methode voor het verwijderen van de 18,6 jarige cyclus is beschreven in Bijlage C.

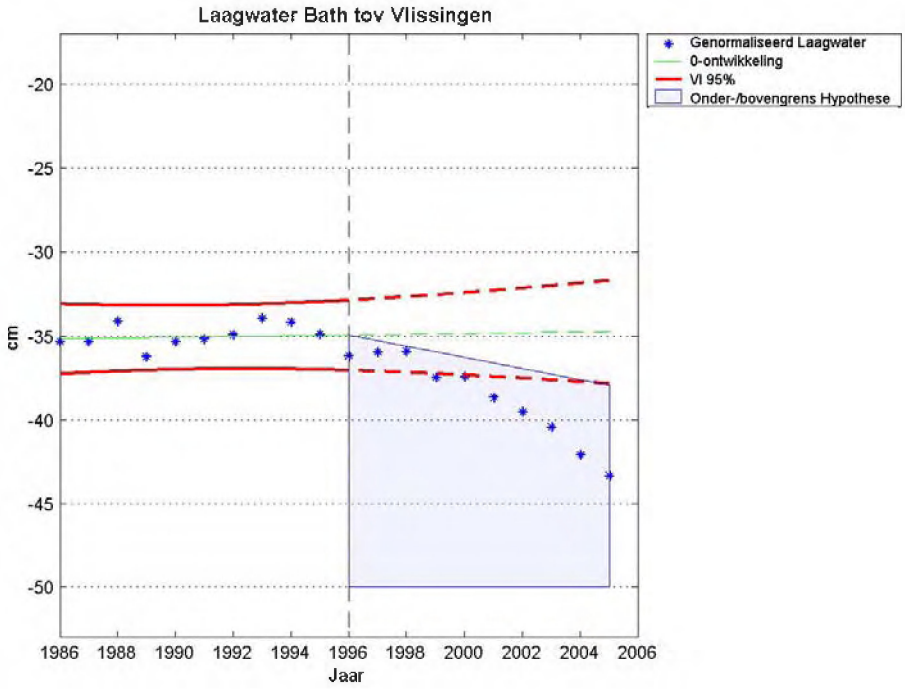
In Hansweert wordt geen verandering verwacht van de laagwaterstand zodat er ook geen hypothesebereik is bepaald. In Bath wordt een afname van de laagwaterstanden verwacht waarbij wordt uitgegaan van een gecombineerde ontwikkeling van, 1) het effect van de verruiming en 2) de nulontwikkeling. Dit betekent dat er in Bath een maximale afname van 15 cm ten opzichte van T_0 (=ondergrens van de afname) en een minimale geleidelijke afname van 5 cm ten opzichte van T_0 na een periode van 15 jaar (=bovengrens van de afname) wordt verwacht.

De laagwaterstand ten opzichte van Vlissingen in Hansweert wijkt na 1996 af van de nulontwikkeling (zie Figuur 2.2-29). Deze nulontwikkeling is een licht stijgende trend die sinds 1950 is vertoond. Tevens liggen de waarden na 2003 buiten het voorspellingsinterval. Dit betekent dat er rekening gehouden moet worden met de mogelijkheid dat het laagwater bij Hansweert significant is gedaald. Dit komt niet overeen met de verwachting in de hypothese. Berekeningen met Scalwest laten deze daling in Hansweert echter wel zien (Dekker, 1994).

Figuur 2.2-29: Jaargemiddeld laagwater bij Hansweert t.o.v. Vlissingen



De laagwaterstanden ten opzichte van Vlissingen zijn in Bath circa 10 cm lager dan in Hansweert. In Figuur 2.2-30 is te zien dat hier een significante daling na 1996 is opgetreden. De waarden na 1999 liggen buiten het voorspellingsinterval en binnen het hypothesebereik.



Figuur 2.2-30: Jaargemiddeld laagwater bij Bath t.o.v. Vlissingen. De onder-/bovengrens van het hypothesebereik is resp. een daling van 15 cm t.o.v. T_0 en een daling van 5 cm over 15 jaar t.o.v. T_0.

De jaargemiddelde laagwaterstanden in Bath ten opzichte van Vlissingen zijn na 1996 zeer duidelijk af genomen ten opzichte van de nulontwikkeling. Dit beeld komt overeen met Scalwest berekeningen (Dekker, 1994). Hiermee is het zeer waarschijnlijk dat er een verband bestaat tussen de verruiming en de afname van het laagwater in Bath. Dit verband komt ook naar voren in de statistische analyse van Baggelaar en van der Meulen (2006). In Bijlage E wordt deze statistische analyse nader toegelicht. Hierin wordt ook aangegeven dat de verlaging van de laagwaterstand in Hansweert ook een verband heeft met de verruiming.

HYPOTHESE **W4: De hoogwaterstanden nemen, als gevolg van de verdieping, bij normale getijomstandigheden toe vanaf Vlissingen (0 cm) tot 0-10 cm bij Bath**

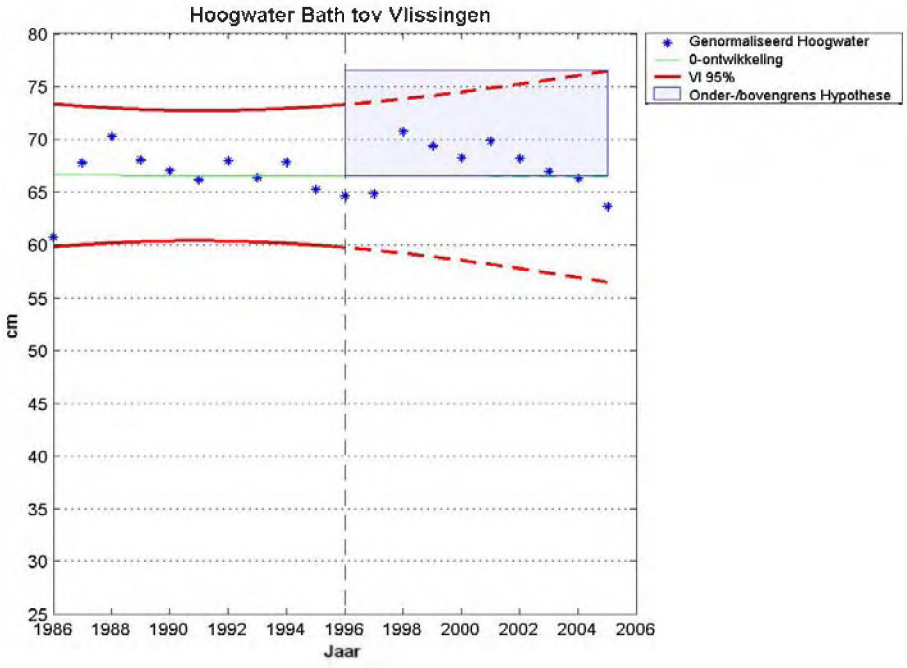
Toelichting: Door een snellere getijdoordringing en vergroting van het getijvolume in het oostelijk deel zullen de hoogwaterstanden in het oostelijk deel van de Westerschelde verhogen (De Jong, 1997).

De hypothese beschrijft de verwachting dat de hoogwaterstanden in de Westerschelde zullen gaan toenemen als gevolg van de verruiming. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat er in Vlissingen nog geen stijging plaatsvindt maar richting Bath wel. In de evaluatie van 2003 is de hypothese alleen aan de hand van de hoogwaterstanden bij de getijstations Vlissingen en Bath beschreven. In deze evaluatie is het station Hansweert toegevoegd zodat een beeld verkregen kan worden of de verwachte verhoging van de hoogwaterstanden al voor het station Bath optreedt. Verder zijn de hoogwaterstanden genormaliseerd ten opzichte van Vlissingen. Dit geeft een duidelijker beeld van de ontwikkeling in de hoogwaterstanden en maakt het mogelijk om de hoogwaterstanden te bekijken ten opzichte van de laagwaterstanden (W3). Het hypothesebereik voor het station Bath is niet gewijzigd. Een

verwachte verandering van 10 cm in de hoogwaterstanden tussen Bath en Vlissingen zal namelijk niet veranderen wanneer er genormaliseerd wordt ten opzichte van Vlissingen.
De hoogwaterstanden zijn voor alle stations gecorrigeerd voor de 18,6 jarige cyclus. De methode voor het verwijderen van de 18,6 jarige cyclus is beschreven in Bijlage C. Tevens is er voor alle stations een nulontwikkeling bepaald, een lineaire trend, en een 95% voorspellingsinterval, beide gebaseerd op de periode 1986-1996.

In Vlissingen wordt geen verandering verwacht zodat er ook geen hypothesebereik is bepaald. De ontwikkeling van de hoogwaterstanden in Vlissingen is weergegeven onder hypothese W1 in Figuur 2.2-21.
De hoogwaterstanden in Vlissingen laten een stijgende nulontwikkeling zien. Na 1996 verandert het verloop van de hoogwaterstanden niet. Tevens liggen alle waarden binnen het 95% voorspellingsinterval. Dit komt overeen met de verwachting vanuit de hypothese (W4).
Het hypothesebereik bij Bath is gebaseerd op een combinatie van 1) de nulontwikkeling en 2) een effect van de verruiming. Er wordt een maximale toename verwacht voor de hoogwaterstanden in Bath van 10 cm ten opzichte van T_0 (bovengrens) en een minimale toename die gelijk is aan de T_0 (ondergrens).

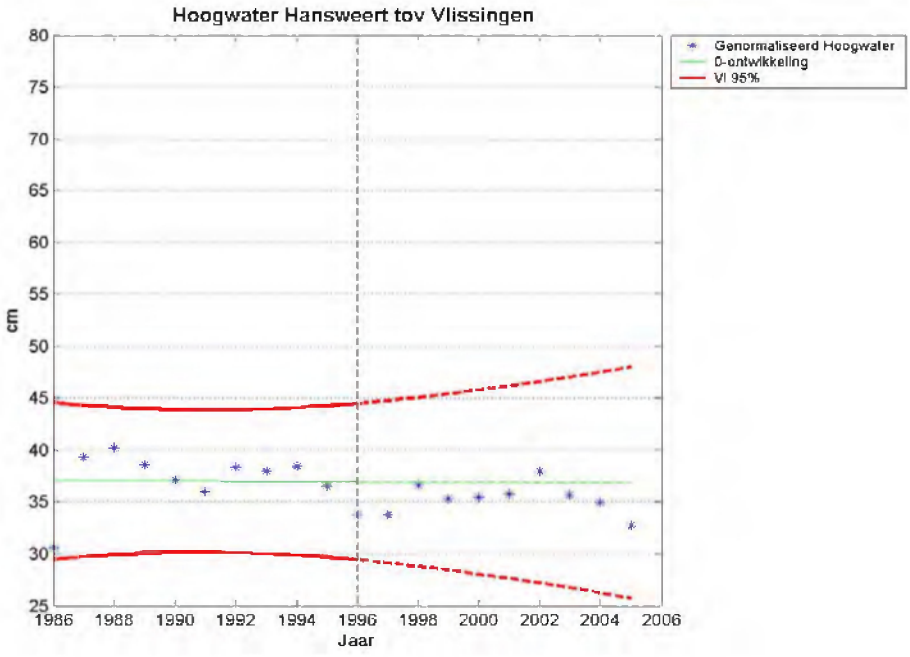
Bij Bath liggen de hoogwaterstanden circa 70 cm hoger dan bij Vlissingen. In Figuur 2.2-31 is te zien dat de nulontwikkeling van de hoogwaterstanden in Bath bijna gelijk is aan die van Vlissingen.



Figuur 2.2-31: Jaargemiddelde hoogwaterstanden bij Bath tov Vlissingen. De 0-ontwikkeling is een lineaire trend en net als het 95% VI gebaseerd op de periode 1986-1996. De onder-/bovengrens zijn resp. T_0 en de een verhoging van 10 cm t.o.v T_0.

De waarden liggen voor het grootste deel binnen het hypothesebereik van 0 tot 10 cm. Verder liggen alle waarden, ook na 1996, binnen het 95% voorspellingsinterval en zeer dicht bij de nulontwikkeling. Het hoogwater in Bath is niet duidelijk gestegen. Dit komt niet overeen met de modelberekeningen, deze laten na 1997 een extra verhoging van het hoogwater in Bath zien (Dekker, 1994).

Wanneer we in Hansweert kijken (zie Figuur 2.2-32) zien we dat de hoogwaterstanden nog maar circa 40 cm hoger liggen dan in Vlissingen.



Figuur 2.2-32: Jaargemiddelde hoogwaterstanden bij Hansweert tov Vlissingen. De 0-ontwikkeling is een lineaire trend en net als het 95% VI gebaseerd op de periode 1986-1996.

Ook in Hansweert liggen de waarden dicht bij de stijgende nulontwikkeling en lijkt er geen afwijking ten opzichte van de nulontwikkeling in Vlissingen te zijn opgetreden. Dit was te verwachten omdat er in Bath ook al weinig verandering ten opzichte van de nulontwikkeling te zien is.

HYPOTHESE **W5: De hoogwaterstanden bij extreme stormvloeden nemen, als gevolg van de verdieping, toe vanaf Vlissingen (0 cm) tot 0-5 cm bij Terneuzen 0-10 cm bij Hansweert en Bath**
Toelichting: Door een snellere getijdoordringing en vergroting van het getijvolume in het oostelijk deel zullen de hoogwaterstanden in het oostelijk deel van de Westerschelde verhogen en de laagwaterstanden verlagen (de Jong, 1997)

Extreme hoogwaters worden bepaald door de combinatie van het getij en het windveld. Het is erg lastig gebleken om voor hoogwaterstanden bij extreme stormvloeden trends te bepalen (Liek en Lefèvre, 2002). De stormen verschillen namelijk behoorlijk van elkaar en er zijn relatief weinig echt extreme stormen geweest. Er zijn een aantal middelbare stormen geweest in 1990, 1993 en 1994. Na de verruiming heeft er geen middelbare storm meer plaatsgevonden.

De hoogste hoogwaterstanden zijn in Vlissingen circa één meter lager dan in Bath. Dit komt voornamelijk door de vorm van het estuarium. De weersomstandigheden waaronder hoogste hoogwaterstanden optreden zijn zeer verschillend van elkaar maar bepalen wat de uiteindelijk hoogste hoogwaterstand voor een bepaald jaar is. Het is

daarom niet goed mogelijk uitspraak over de ontwikkeling van de hoogste hoogwaterstanden te doen.

INTERMEZZO Middelbare stormvloeden

	Samenvattingen uit de stormvloed verslagen	Hoogste waterstand
26 februari t/m 2 maart 1990 (SR63)	De combinatie van hoog springtij en een aantal achtereenvolgende stormen leidde in de week van 26 februari tot en met 2maart tot een uitzonderlijk aantal opeenvolgende stormvloeden. Er kwamen hoogwaters voor met een frequentie van eenmaal per 7 a 25 jaar. In Vlissingen traden 4 hoogwaters op de behoren tot de 20 hoogste van deze eeuw. De stormvloedkering in de Oosterschelde werd 4 maal gesloten. Het waarschuwingsbureau van de Stormvloed-waarschuwingsdienst (SVSD) is tijdens de stormvloed periode 94 uur bemand geweest. Uit de SVSD geschiedenis van de laatste 35 jaar is geen stormvloed periode te vinden die zo langdurig is geweest. De langste stormvloedduur stond met 85 uur op naam van de stormvloedperiode van 12 tot 15 november 1977. Over vrijwel de gehele kust trad – vaak sterke- duin afslag op. In de afgelopen 20 jaar was ongeveer 5 maal eerder sprake van vergelijkbare afslag, de laatste maand tijdens de jubileumstormvloed van 1 en 2 februari 1983. Duinafslag is overigens geen maat voor de structurele kustachteruitgang. Er treedt vaak ook een (gedeeltelijk) herstel van de afslag en de tijdelijke achteruitgang na een storm op.	+384 cm NAP
14 en 15 november 1993 (SR69)	Een actieve stormdepressie veroorzaakte met name in het zuidelijke en westelijke kustgebied aanzienlijke verhogingen van de waterstanden. Zodat daar vrij hoge waterstanden gemeten werden. Tijdens de stormvloed werden de Stormvloedkeringen in de Oosterschelde en de Hollandse IJssel twee maal gesloten. Het waarschuwingsbureau van de SVSD is bemand geweest van 14 november 06h30 tot 15 november 04h00. Gemiddeld genomen was de duinafslag over de gehele kust matig. De grootste afslag deed zich voor op Goeree.	+382 cm NAP
28 januari 1994 (SR71)	Een actieve stormdepressie veroorzaakte in het gehele kustgebeid aanzienlijke verhogingen van de waterstanden, zodat daar vrij hoge waterstanden gemeten werden. Tijdens het passeren van de stormvloed werd de Stormvloedkering in de Oosterschelde een maal en Stormvloedkering in de Hollandse IJssel tweemaal gesloten. Het waarschuwingsbureau van de SVSD is ebmaand geweest van 28 januari 00h00 tot 29 januari 01h00. Gemiddeld genomen was de duinafslag over de gehele kust groot. De grootste afslag deed zich voor aan de kust van Zuid-Holland.	+387 cm NAP

Uit model studies is gebleken, dat door zeespiegelstijging en ingrepen de stormvloedstanden in de Westerschelde verhogen. Als gevolg van de verdieping 48'/43' is een verhoging van de stormvloeden van circa 5 cm in de locaties Bath en Antwerpen berekend (Dekker, 1994).
De modelberekeningen met Scaldis100 moeten echter met reserve bekeken worden. De huidige bodem in de Westerschelde lijkt nog teveel op de bodem waarmee met het Scaldis100-model is gerekend voor het bepalen van de verwachting van hypothese W5.

HYPOTHESE **W6: Het faseverschil tussen Vlissingen en Bath wordt, als gevolg van de verdieping 10-20 minuten kleiner**

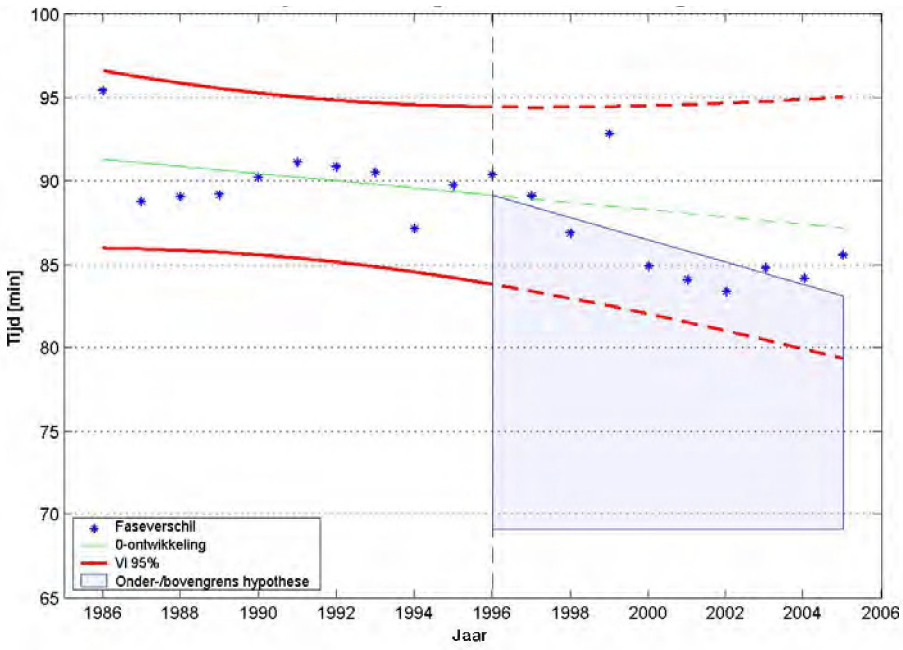
Toelichting: Door de verruiming van de vaargeul zal de weerstand die de getijgolf ondervindt afnemen. Dit resulteert in een snellere voortplanting van de getijgolf (De Jong, 1997).

De hypothese wordt getoetst aan de hand van door het jaargemiddelde faseverschil tussen Vlissingen en Bath die aan de hand van de hoog- en laagwaterstand in deze meetstations wordt bepaald. Voor het berekenen van het faseverschil wordt het verschil uitgerekend tussen de tijdstippen dat het op de verschillende locaties hoogwater of laagwater was. Er wordt dus een onderscheid gemaakt tussen faseverschil laagwater en faseverschil hoogwater.

Naar aanleiding van de discussie in de evaluatie van 2003 zijn de tijdverschillen gecorrigeerd voor de 18,6 jarige cyclus. In de discussie wordt aangegeven dat er wel degelijk een effect zichtbaar is van deze cyclus. De methode voor het verwijderen van de 18,6 jarige cyclus is beschreven in Bijlage C.

De verwachting is dat het faseverschil kleiner zal worden als gevolg van het sneller in en uitstromen van het water. Het hypothesebereik van het faseverschil laag- en hoogwater tussen Bath en Vlissingen is gebaseerd op de combinatie van 1) de nulontwikkeling en 2) een effect van de verruiming. Hierbij wordt een maximale afname van 20 minuten ten opzichte van T_0 (ondergrens) en een minimale afname van 10 minuten ten opzichte van T_0 na een periode van 15 jaar verwacht.

Als uitgangspunt voor de nulontwikkeling van het tijdverschil werd in de evaluatie van 2003 een periode van 1970 tot en met 1996 aangehouden. Het is logischer om een periode van 1986-1996 voor de nulontwikkeling aan te houden, aangezien het tijdsverschil bepaald wordt met behulp van de waterstandmetingen. In deze analyse wordt dan ook van deze periode uitgegaan. Deze periode is ook gebruikt voor het bepalen van een 95% voorspellingsinterval voor het tijdverschil tussen Vlissingen en Bath van het hoog- en laagwater.
Het faseverschil van het laagwater tussen Vlissingen en Bath heeft een licht dalende nulontwikkeling (zie Figuur 2.2-33). Na 1996 lijkt er een lichte extra daling van het faseverschil van het laagwater tussen Vlissingen en Bath ten opzichte van de nulontwikkeling te zijn opgetreden (circa 5 minuten ten opzichte van 1996). Dit komt enigszins overeen met de verwachting in de hypothese. De waarden liggen wel allemaal binnen het 95% voorspellingsinterval wat betekent dat er van een sterke verandering geen sprake is.

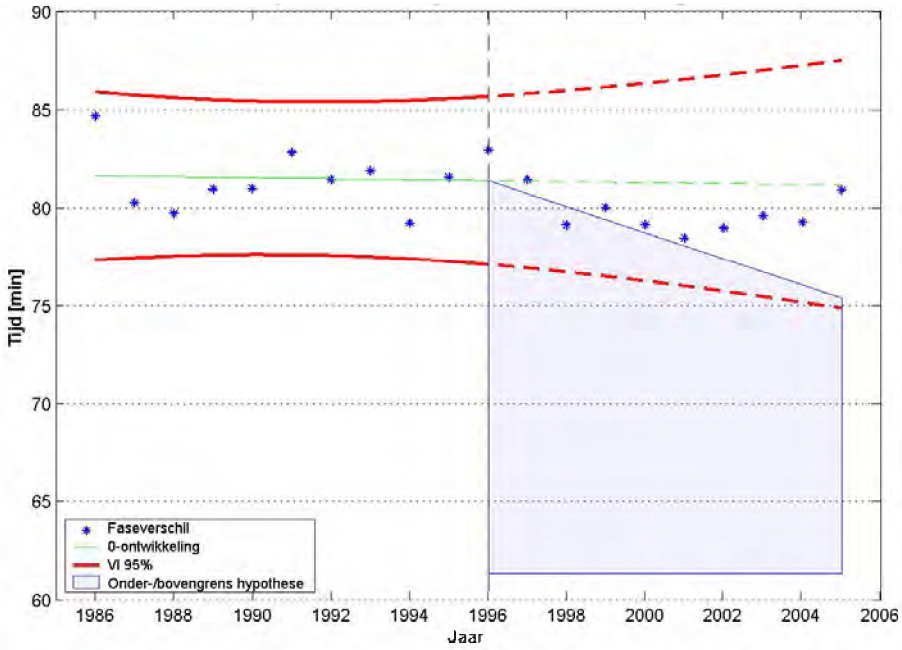


Figuur 2.2-33: Tijdverschil van het laagwater tussen Bath en Vlissingen. De boven- en ondergrens van de hypothese wordt bepaald door resp. een geleidelijke afname van 10 minuten na 15 jaar tov T_0 en een afname van 20 minuten tov T_0.

Het faseverschil van hoogwater tussen Vlissingen en Bath is in 1986 circa 10 minuten korter dan het faseverschil van de laagwaterstand

tussen Vlissingen en Bath. Dit laat zien dat het getij in Bath asymmetrisch is waardoor de ebduur langer is dan de vloedduur. Dit komt doordat de getijgolf zich tijdens hoogwater sneller verplaatst dan tijdens laagwater, omdat er bij een grotere waterdiepte minder bodemweerstand is.

Het faseverschil van de hoogwaterstand tussen Vlissingen en Bath is na 1996 iets gedaald met één stap van circa 3 minuten (zie Figuur 2.2-34). De daling lijkt niet door te zetten maar neemt rond 80 minuten de loop van de nulontwikkeling weer aan. Tevens liggen de waarden binnen het voorspellingsinterval. Er is geen grote verandering is opgetreden.



Figuur 2.2-34: Tijdverschil hoogwater tussen Bath en Vlissingen. Het hypothesebereik wordt bepaald door een boven- /ondergrens van resp een geleidelijke afname van 10 minuten over een periode van 15 jaar t.o.v. T_0 en een afname van 20 minuten t.o.v. T_0.

De verwachting dat het faseverschil van zowel het laagwater als het hoogwater tussen Vlissingen en Bath af zal nemen komt niet overeen met de resultaten. Alleen het faseverschil van de laagwaterstand is iets (5 minuten) afgenomen. Hierdoor is het faseverschil van zowel de hoogwaterstand als de laagwaterstand ongeveer 80-85 minuten. Hierdoor is het getij is meer symmetrisch geworden. De veranderingen zijn echter klein (slechts enkele minuten).

2.2.5. Conclusie waterstanden en getijverschillen

Aan de hand van vooraf gestelde hypothesen is een beeld verkregen van de ontwikkelingen in de waterstanden en getijverschillen in de Westerschelde. In Tabel 2.2-2 is een overzicht gegeven van de resultaten van de hypothesen. Op een aantal punten zijn de hypothesen niet toereikend gebleken, hier is extra informatie toegevoegd of wordt er in de discussie verder op ingegaan.

Er is voornamelijk naar de verandering van de waterstanden ten opzichte van de nulontwikkeling gekeken. Dit betekend dat wanneer er gesproken wordt over "geen verandering" er wel sprake kan zijn van

een stijgende of dalende ontwikkeling. Er wordt dan alleen niet van deze ontwikkeling afgeweken.

Tabel 2.2-2: Conclusie hypothesen: Waterstanden en getijverschillen

Hypothese		Nulontwikkeling	Binnen Voorspellingsinterval?	Hypothese			Opmerkingen
				Binnen hypothesebereik?	Ontwikkeling in richting van hypothese?	Verwerpen?	
W1	Monding	HW vlak LW vlak GW stijgend	Ja	n.v.t.	n.v.t	Nee	Geen veranderingen
W2	Getijverschil	Stijgend	Ja	Deels	Ja	Nee	Toename vanaf Hansweert wordt sterker richting Bath
W3	Laagwater	Stijgend	Deels	Ja	Ja	Nee	Afname vanaf Hansweert wordt sterker richting Bath
W4	Hoogwater	Vlak	Ja	Deels	Ja	Nee	Geen veranderingen
W5	Stormvloed	n.v.t.	n.v.t	n.v.t	n.v.t.	Niet toetsbaar	Na 1996 geen stormvloeden
W6	Faseverschil	Dalend	Ja	Deels	Ja	Nee	Het faseverschil tussen het laagwater in Vlissingen en Bath is afgenomen

De getijkenmerken van de stations Westkapelle, Cadzand en Vlissingen zijn niet veranderd. De jaargemiddelde laagwaterstanden voor deze stations liggen na 1996 iets boven de nulontwikkeling wat betekent dat de laagwaterstanden in de monding hoger zijn geworden. Deze ontwikkeling is echter ook in het station Scheveningen waargenomen. Dit geeft aan dat deze ontwikkeling niet specifiek is voor de Westerschelde. De overige getijkenmerken (hoogwaterstand, gemiddelde waterstand en getijverschil) zijn niet gewijzigd ten opzichte van de nulontwikkeling.

Het is gebleken dat het getijverschil bij Bath is toegenomen als gevolg van een afname in de laagwaterstanden. De toename van het getijverschil is als eerste te zien in Hansweert en neemt richting Bath verder toe. De toename in het getijverschil wordt veroorzaakt door een afname van het laagwater vanaf Hansweert welke richting Bath sterker wordt. De hoogwaterstanden in de Westerschelde zijn niet verandert.

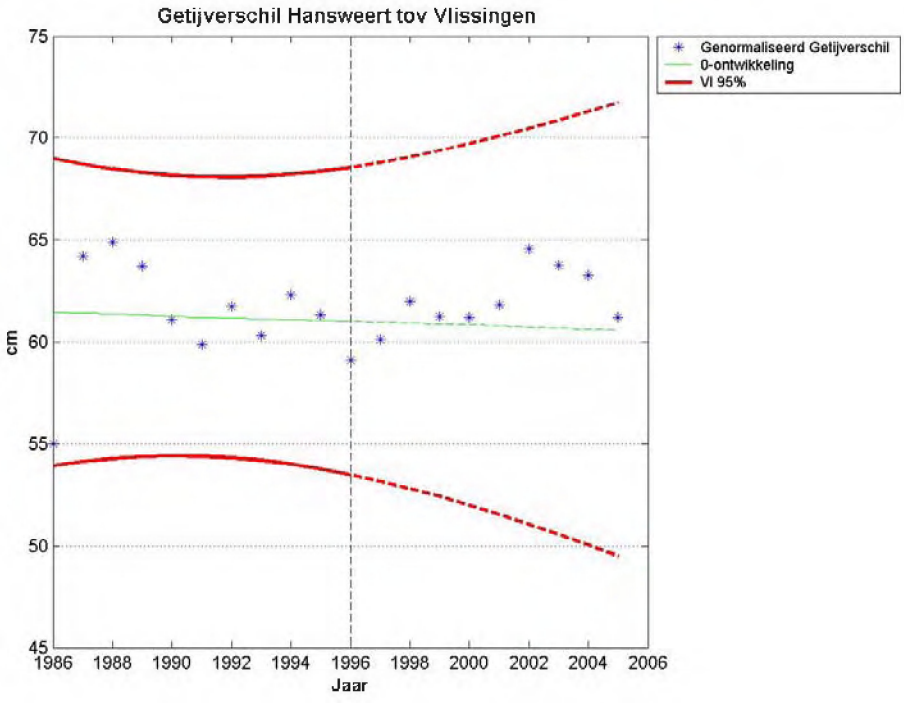
De tijd tussen laagwater in Vlissingen en laagwater in Bath is afgenomen. Terwijl de tijd tussen hoogwater in Vlissingen en hoogwater in Bath gelijk gebleven is. Hierdoor is het getij meer symmetrisch geworden.

2.2.6. Discussie en aanbevelingen

Het toetsen van de hypothesen alleen is niet voldoende omdat met de hypothesen de getijkenmerken afzonderlijk worden bekeken. Terwijl er juist sprake is van een sterke samenhang tussen de getijkenmerken maar ook tussen de gemeten waarden op de meetstations.
Tevens moet de samenhang met de morfologie, ontwikkelingen van buiten de Westerschelde en de ingrepen in de Westerschelde niet

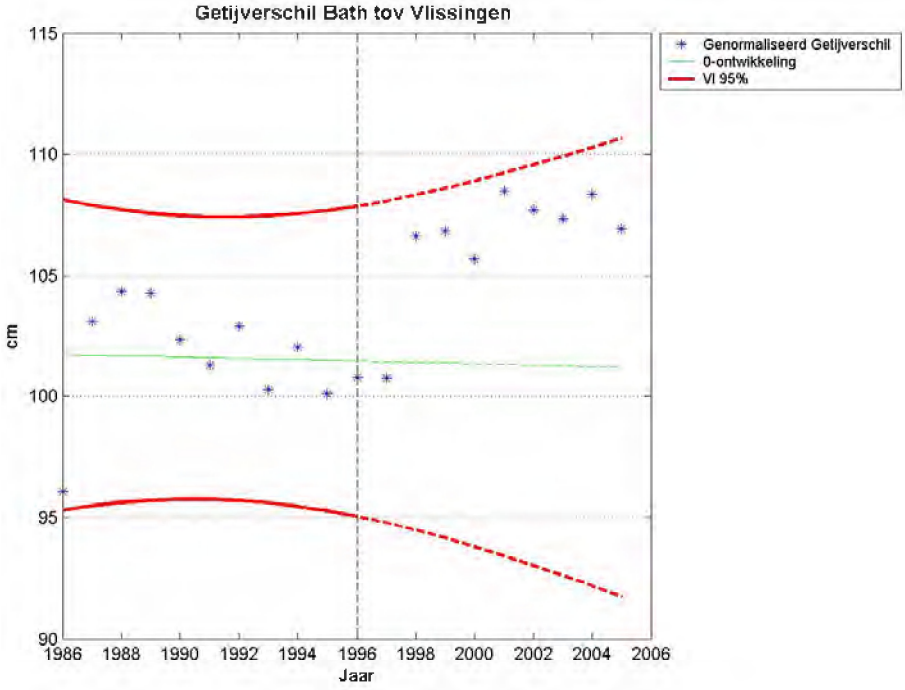
vergeten worden. Het water uit de Noordzee komt met het getij binnen in de monding van de Westerschelde waarna de getijgolf het estuarium binnen loopt. Veranderingen op de Noordzee in het getij werken door in de waterbeweging van de Westerschelde. Belangrijke veranderingen zijn er door de getijslag van de Noordzee en de zeespiegelstijging. Dit zorgt ervoor dat het water makkelijker in en uit het estuarium kan stromen. Hierdoor kan het getijvolume maar ook de hoog- en laagwaterstand en daarmee de getijslag veranderen. We zien daarom een stijgende 'natuurlijke' nulontwikkeling in de getijslag.
De vorm van de Westerschelde zorgt ervoor dat de amplitude van de getijgolf richting Bath groter wordt. Dit zorgt ervoor dat de getijslag in Bath groter is dan in Vlissingen.

Menselijke ingrepen kunnen ervoor zorgen dat de vorm van het estuarium verandert. Door baggeren en storten verandert de diepte en ondervindt de getijgolf meer of minder wrijving van de bodem waardoor het getijverschil kan veranderen.
In Bath (in mindere mate ook in Hansweert) zien we na 1996 een extra stijging van het getijverschil (Figuur 2.2-28). Deze stijging is ook verwacht als gevolg van de verruiming. Verruimen betekent een grotere diepte en minder weerstand van de getijgolf van de bodem zodat de getijslag kan toenemen. Een detail is dat het getijverschil na 2002 niet verder toeneemt maar daalt tot net boven de nulontwikkeling. Deze ontwikkeling is ook te zien in Vlissingen (Figuur 2.2-24). In de onderstaande figuren is het getijverschil in Hansweert (Figuur 2.2-35) en Bath (Figuur 2.2-36) ten opzichte van Vlissingen weergegeven. Hieruit blijkt dat het getijverschil vooral in Bath na 1996 is toegenomen.



Figuur 2.2-35: Getijverschil in Hansweert tov Vlissingen

Figuur 2.2-36: Getijverschil in Bath tov Vlissingen



Naast het gebruik van meetstations in de Westerschelde wordt het gebruik van een referentiestation buiten de Westerschelde aanbevolen. Hiermee kunnen ontwikkelingen gescheiden worden naar specifieke ontwikkelingen van de Westerschelde en globale ontwikkelingen.

2.3 Getijvolume

2.3.1. Inleiding

Getijvolumes[8] zijn van belang voor de ontwikkeling van de morfologie van de Westerschelde. Grote veranderingen hierin kunnen morfologische grootschalige lange termijn veranderingen teweeg brengen. Bij Vlissingen stroomt ongeveer 1,1 miljard kubieke meter water de Westerschelde in en uit. Het getijvolume is de som van het eb- en vloedvolume. Dit betekent dat het getijvolume bij Vlissingen ongeveer 2,2 miljard kubieke meter is. Deze hoeveelheid water wordt tijdens de eb- en vloedperiode verdeeld over de verschillende geulen en het intergetijdengebied van het estuarium. De totale hoeveelheid water die tussen hoog- en laagwater geborgen wordt in het estuarium wordt de komberging genoemd. De komberging van de Westerschelde is groter dan het getijvolume. Dit heeft te maken met het feit dat het op een zelfde tijdstip niet overal hoog- of laagwater is. De Westerschelde is dus niet tegelijkertijd overal even vol of leeg.
De verdeling van het getijvolume over de geulen wordt voornamelijk bepaald door de grootte van het doorstroomprofiel van de geul. Maar de hoeveelheid water die door een geul stroomt, bepaalt op zijn beurt ook de grootte van het doorstroomprofiel van de geulen.
Veranderingen in het getijvolume van een geul zullen dus in de regel worden gevolgd door een verkleining of vergroting van het doorstroomprofiel. Andersom, door (lokale) veranderingen in het doorstoomprofiel van één geul, kan het totale getijvolume in de Westerschelde zich wijzigen. Tevens kunnen de verhoudingen tussen getijvolumes in de eb- en vloedgeulen zich wijzigen, doordat door een geul meer of minder water gaat stromen.
Door de verruiming van de vaargeul kan het water makkelijker de Westerschelde in en uit stromen. Voor het getijvolume betekent dit dat zowel het totale getijvolume als de verdeling over de geulen (ene geul trekt meer water dan andere) kan veranderen. Met het oog op de ontwikkeling van het morfologisch systeem is het dus belangrijk om deze parameters goed te volgen. Zo kan, bij een steeds groter wordend getijvolume in de ene geul en een kleiner wordend getijvolume in de andere geul, het meergeulenkarakter mogelijk veranderen. Het meergeulensysteem is karakteristiek voor de Westerschelde en moet behouden blijven (LTV2030).

2.3.2. Rapporten en studies

In het rapport van de Technische Scheldecommissie (TSC, 1984) wordt de verwachting geuit dat het totale getijvolume van de Westerschelde als gevolg van de verruiming niet zal veranderen. De verdeling over de hoofd- en nevengeulen zou wel kunnen veranderen. Deze verandering zal zich naar verwachting vooral in het oostelijk deel van de Westerschelde manifesteren omdat de verruiming vooral dit deel zal beïnvloeden en dit gebied het ondiepst is. Zo wordt er ten oosten van Terneuzen een toename van het getijvolume in de hoofdgeul verwacht

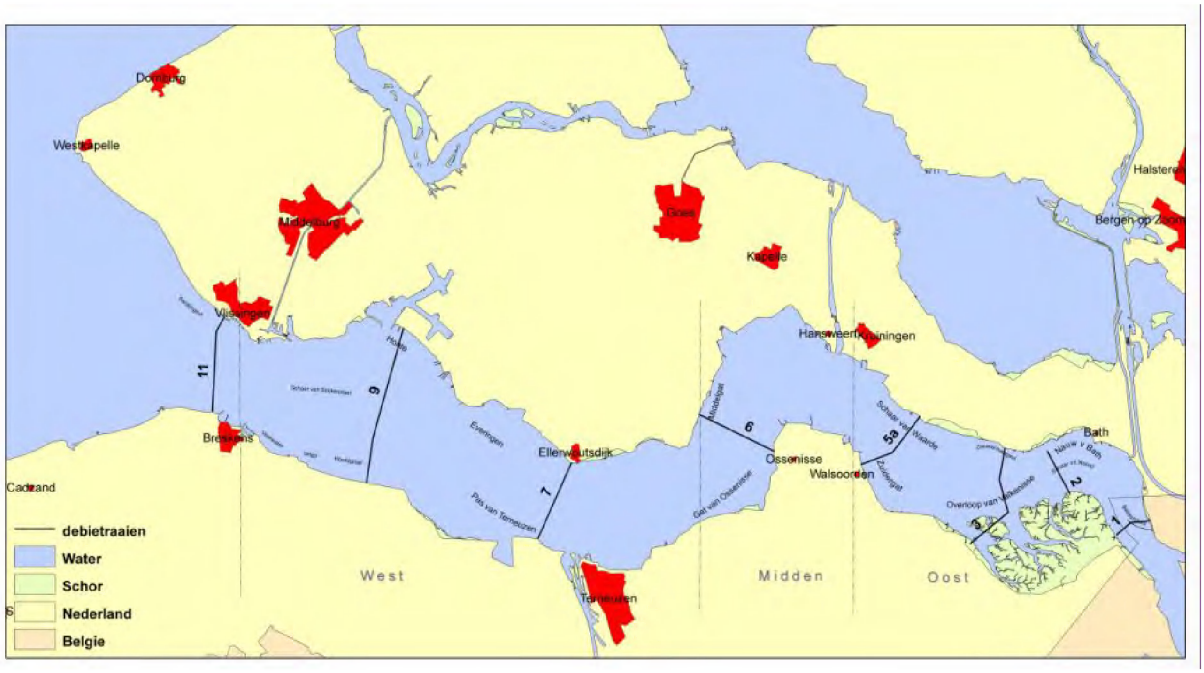
[8] Getijvolume: som van het vloedvolume en het ebvolume

ter grootte van 5 tot 15 procent van het totale getijvolume in dit gebied. De toename van het getijvolume in de hoofdgeul zal ten koste gaan van het getijvolume in de nevengeul waardoor het totale getijvolume van de Westerschelde gelijk blijft (Technische Scheldecommissie, 1984).
Deze verwachting komt overeen met de resultaten van het Scaldis100-model (Dekker, 1994). Daarnaast laat het Scaldis100-model ook een verandering van het totale getijvolume zien van ongeveer 3% en vindt deze plaats in het oostelijk deel van de Westerschelde. Dit komt niet overeen met de verwachting van de Technische Scheldecommissie.

2.3.3. Datagebruik

Het getijvolume wordt bepaald uit de sommatie van de vermenigvuldiging van het debiet met het tijdsinterval[9] waarover gevaren is. Het debiet wordt bepaald door de stroomsnelheid te vermenigvuldigen met het bijbehorende doorstroomoppervlak. Vervolgens worden alle debieten behorende bij een raai gesommeerd, wat het debiet [m^3/s] in de gemeten raai oplevert. De stroomsnelheden worden met behulp van een ADCP-meter[10] op verschillende locaties in de horizontaal en verticaal gemeten op verschillende raaien in de Westerschelde.

Figuur 2.3-1: Raaien waarover de debiet metingen worden uitgevoerd. Raai 3 en 5a worden voor de hypothesen gebruikt.



De ADCP-meter wordt sinds 1995 gebruikt, vóór die tijd is er gebruik gemaakt van een Ott-molen[11]. De raaien liggen loodrecht op de stroomrichting en meestal zo, dat er een verdeling aanwezig is tussen

[9] Een volledige debiet meting duurt ongeveer 13 uur

[10] ADCP = Acoustic Doppler Current Profiler vanaf 1995 in gebruik

[11] Molentje dat in de waterkolom geplaatst wordt om de stroomsnelheid te meten.

de verschillende geulen (zie Figuur 2.3-1). De bepaalde getijvolumes worden tot slot herleid naar gemiddeld getij[12] van het betreffende jaar. De opzet is zo dat gemiddeld eens in de 5 jaar het debiet gemeten wordt in een raai. In de monding van de Westerschelde liggen 2 raaien (12, 14) die gemiddeld eens in de 10 jaar gemeten worden. In het westelijk deel van de Westerschelde liggen de raaien 7, 9,10 en 11. Raai 7 wordt in het kader van MOVE extra gemeten. De andere raaien in het westelijk deel worden gemiddeld eens in de 5 jaar gemeten. In het midden deel van de Westerschelde ligt alleen raai 6 welke eens in de 5 jaar gemeten wordt. De raaien 1,2,3 en 5(a) liggen in het oostelijk deel van de Westerschelde. Raai 5(a) is in het kader van MOVE extra gemeten terwijl de overige raaien een meetfrequentie van eens in de 5 jaar hebben. De meetjaren van de raaien zijn weergegeven in Tabel 2.3-2.

Het getijvolume in raai 5 is voor het jaar 1988 onnauwkeurig omdat de verdeling tussen de hoofd- en nevengeul toen niet meer aanwezig was. In 1990 is raai 5 verlegd naar raai 5a, zodat de raai weer meer loodrecht op de geulen staat en de verdeling van de hoofd- en nevengeul hersteld is.

Tabel 2.3-1: Jaren waarvoor gemeten is in de verschillende raaien.

Jaar	raai	Jaar	raai	Jaar	raai	Jaar	raai
1932	6, 11	**1968**	6	**1982**	1, 2, 7, 10	**1996**	1, 3, **5a**, 7, **9**
1933	3	**1970**	5	**1983**	6	**1997**	**5a**, **7**, 10, 11
1960	9	**1971**	1, 10	**1985**	11	**1998**	2, **5a**, 7
1963	3	**1972**	2, 6	**1986**	9	**1999**	5a, **7**
1937	5	**1974**	7	**1988**	3, 5, 6	**2000**	1, **5a**, **7**, 11
1957	5, 6	**1975**	1, 5, 11	**1989**	2, 6, 7, 10	**2001**	3, **5a**, 6, **7**, 9
1958	10	**1978**	6	**1990**	3, 5a	**2002**	**5a**, **7**, 10
1961	7	**1979**	9	**1991**	1, 9	**2003**	5a, 7
1964	5	**1980**	3	**1994**	2, 6	**2004**	2, 6
1966	11	**1981**	5	**1995**	3, 5a, 11	**2005**	11*

* nog geen gegevens binnen

NB.De vetgedrukte raaien geven aan dat de raai extra voor MOVE gemeten is.

Er zit een grote onnauwkeurigheid in de gemeten waarden. Als regel wordt aangenomen dat door integratie van de stroomsnelheden in tijd en ruimte en meetfouten rekening moet worden gehouden met een onnauwkeurigheid van ±5% in de waarden als gevolg van de meting, omrekening en bewerking.

In de evaluatie van 2003 is alleen naar de raaien 3 en 5a gekeken. Dit geeft een beperkt beeld van wat er in de hele Westerschelde gebeurt. Daarnaast is gebleken dat raai 3 ver in de uitloop van de vloedgeul (Zimmermangeul) ligt en daarom geen goed beeld kan geven van eventuele ontwikkelingen omtrent het meergeulensysteem in de Westerschelde. Raai 2 geeft een beter beeld maar heeft maar twee meetwaarden na 1996. Om die reden is er gekozen om voor het toetsen van hypothese V1 alleen te kijken naar raai 5a. Daarnaast

[12] Met behulp van de verhouding tussen het gemeten getijverschil en het gemiddeld getijverschil (getijcoëfficiënt) wordt er herleid naar gemiddeld getij

worden de resultaten afkomstig van de overige raaien in het oostelijk deel wel globaal beschreven.

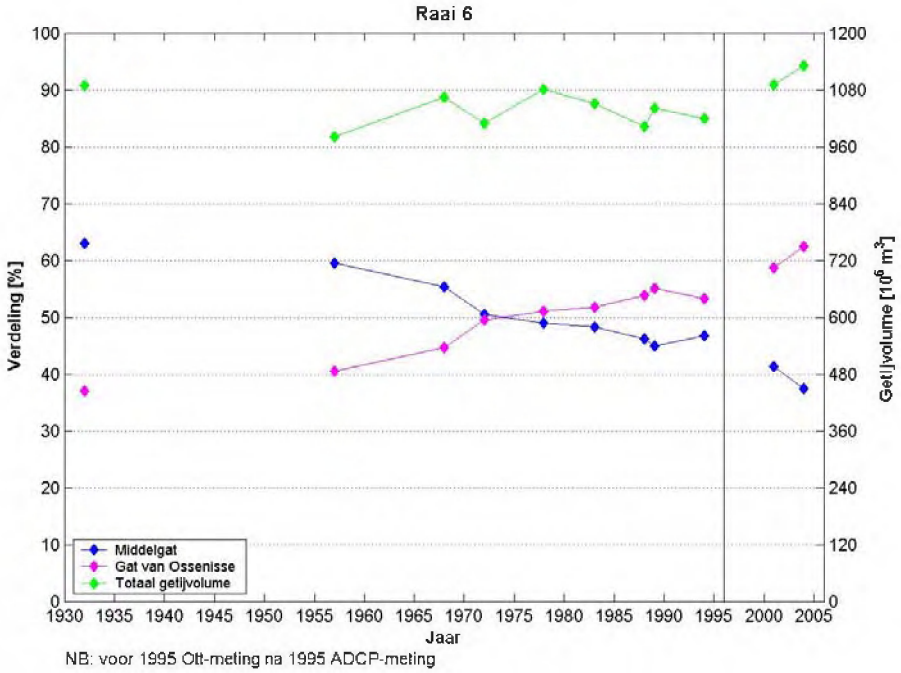
De hypothesen richten zich vooral op het oostelijke deel van de Westerschelde. Om een beeld te krijgen van de ontwikkeling van het getijvolume in de gehele Westerschelde is er ook naar de raaien 6, 7, 9 en 11 gekeken. Hiervoor is het totale getijvolume en de verdeling van dit volume over de verschillende geulen weergegeven. De eb- of vloeddominantie[13] van een geul bepaalt of de geul een ebgeul of vloedgeul is. In de meeste gevallen is de hoofdgeul gelijk aan de ebdominante geul. De hoofdgeul van west naar oost bestaat uit de Wielingen (ebgeul), Honte en de Schaar van Spijkerplaat (ebgeul), Pas van Terneuzen (ebgeul), Gat van Ossenisse (vloedgeul), Zuidergat (ebgeul), Overloop van Valkenisse (ebgeul), Nauw van Bath (ebgeul) en het Vaarwater bij Bath (ebgeul).

Westelijk deel
In het westen ligt het totale getijvolume van de raaien tussen de 1,4 en 2,3 miljard kubieke meter. Waarbij in de richting van de monding het doorstroomprofiel groter wordt en het totale getijvolume in de raaien toeneemt. De verdeling van het getijvolume over de geulen van de raaien laat zien dat in raai 11 en 9 het grootste volume (90%) door respectievelijk de Wielingen (ebgeul) en de Honte en Spijkerplaat (vloedgeul) gaat. In raai 7 is de verdeling over de geulen minder verschillend. Hier gaat ongeveer 55 procent via de Everingen (vloedgeul) en 45 procent via de Pas van Terneuzen (ebgeul). Het totale getijvolume in het westen van de Westerschelde en de verdeling van dit getijvolume over de geulen is na 1996 niet veranderd.

Middendeel
In het middendeel van de Westerschelde ligt raai 6 met een totaal getijvolume van circa 1 miljard kubieke meter (Figuur 2.3-2). De verdeling van het getijvolume over de geulen laat vanaf 1970 een interessante ontwikkeling zien. Voor 1970 werd het grootste percentage van het getijvolume door het Middelgat verwerkt, na 1970 is dat het Gat van Ossenisse. Ook na 1996 is er een stijging van het getijvolume in het Gat van Ossenisse te zien. Het totale volume in raai 6 is niet duidelijk gestegen. Er moet rekening gehouden worden met de nieuwe meetmethode vanaf 1995 zodat de meetreeks niet zomaar doorgetrokken kan worden.

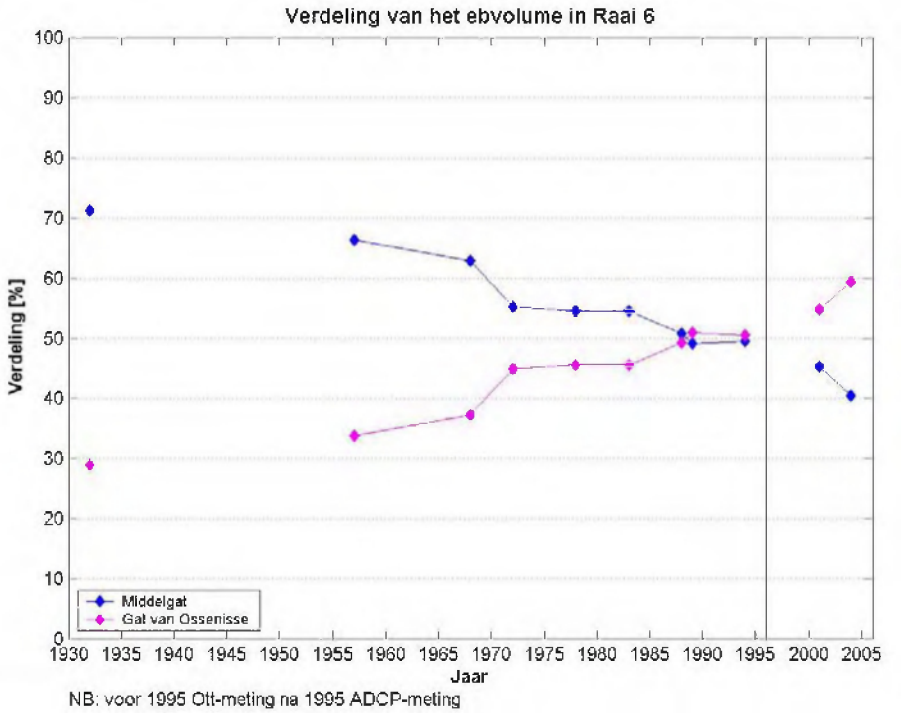
[13] Eb- en vloeddominantie wordt bepaald uit de verhouding ebvolume/vloedvolume van een betreffende geul. Ebdominant is >1 en vloeddominant is <1.

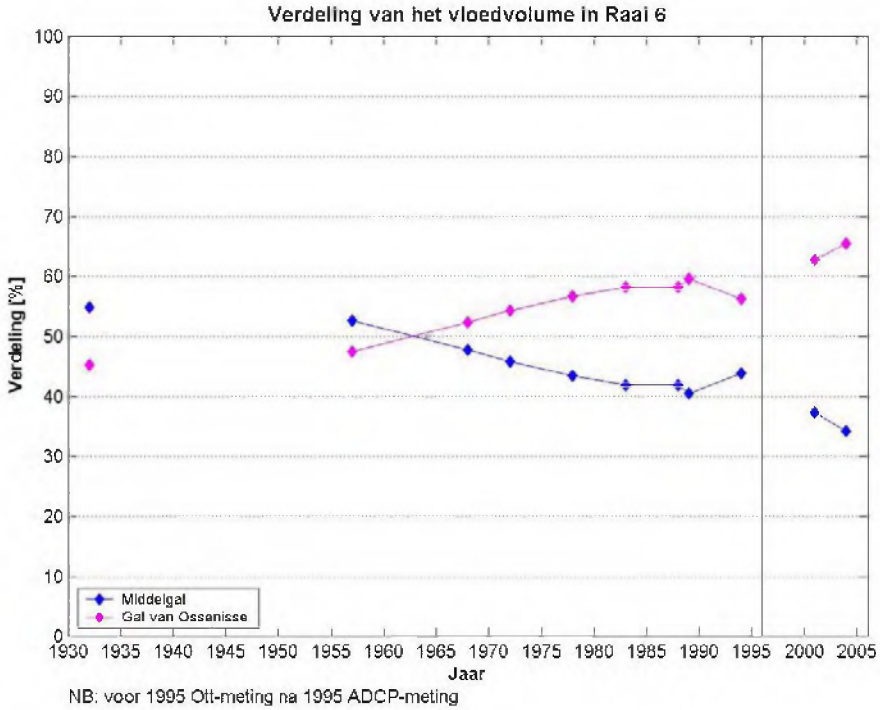
Figuur 2.3-2: Totaal getijvolume in Raai 6 en de verdeling van dit volume over de ebgeul en de vloedgeul.



De verdeling van het eb- en vloedvolume laat zien welk percentage van het totale ebvolume door het Middelgat (ebgeul) of het Gat van Ossenisse (vloedgeul) gaat (Figuur 2.3-3). Waar eerst circa 60 procent van het ebvolume door het Middelgat ging, gaat er nu nog maar 40 procent van het ebvolume door het Middelgat.

Figuur 2.3-3: Verdeling van het ebvolume over het Middelgat en het Gat van Ossenisse in het middendeel van de Westerschelde, raai 6





Figuur 2.3-4: Verdeling van het vloedvolume over het Middelgat en het Gat van Ossenisse in het middendeel van de Westerschelde, raai 6

Dit is ook weergegeven voor het vloedvolume (Figuur 2.3-4). De hoeveelheid van het getijvolume die er tijdens vloed door het Middelgat stroomt is afgenomen.

2.3.4. Hypothesen

Bij het opstellen van de hypothesen met betrekking tot de veranderingen van het getijvolume in de Westerschelde is uitgegaan van de nieuwe bagger- en stortstrategie (De Jong, 1996). Deze strategie houdt in dat het zand[14] dat gebaggerd wordt in het oostelijk deel, voornamelijk gestort wordt in het westelijk deel van de Westerschelde. Hierdoor neemt de totale hoeveelheid zand in het oostelijk deel af. Door de afname in weerstand als gevolg van verruiming kan het water makkelijker de Westerschelde in- en uitstromen. Dit zorgt voor een efficiëntere vulling van het bekken en daarmee ook voor een toename van de getijslag en toename van het getijvolume. Dit vindt voornamelijk plaats in het oostelijk deel van de Westerschelde wat resulteert in een toename van het getijvolume in de hoofdgeul aldaar.

Het getijvolume wordt bepaald aan de hand van gemeten en berekende stroomsnelheden en debieten op verschillenden raaien in de Westerschelde. Het getijvolume in een raai wordt per geuldeel (hoofd-, nevengeul) beschouwd zodat ook de veranderingen op kleinere tijd- en ruimteschaal kunnen worden waargenomen. Bij gelijkblijvend getijvolume van de totale dwarsraai, kan immers de verdeling over de geulen wel veranderen. Tevens zal het zo zijn dat na de verruiming de drempels in de geul op diepte gehouden moeten worden. Het

[14] Gemakshalve wordt er over zand gesproken. Feitelijk is het sediment dat 95-98% zand bevat (fractie >63 µm)

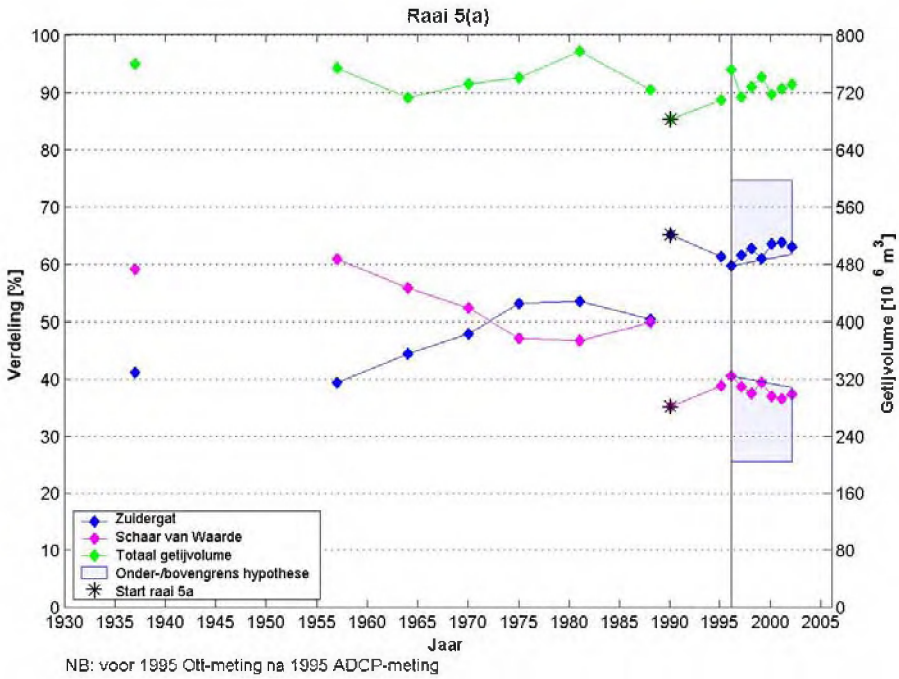
getijvolume past zich aan aan de geuldelen maar op hun beurt passen de geuldelen zich ook aan aan het getijvolume.

HYPOTHESE **V1: Het getijvolume in de hoofdgeul zal ten oosten van Hansweert met 5-15% van het totale getijvolume toenemen. Deze toename gaat ten koste van de nevengeulen.**
Toelichting: Door de verdieping van de drempels in de hoofdgeul wordt de weerstand minder. Hierdoor gaat er relatief meer water door de hoofdgeulen, ten koste van de nevengeulen (De jong, 1997).

Naar aanleiding van de discussie in de evaluatie van 2003 is de hypothese aangepast. Ter verduidelijking is toegevoegd dat het gaat om een toename van 5-15% van het "totale getijvolume". Dit gaat ten koste van het getijvolume in de nevengeul zodat het totale volume gelijk blijft. De grenzen van het hypothesebereik voor de neven- en hoofdgeul hangen hierdoor nauw met elkaar samen. De bovengrens van de hoofdgeul wordt bepaald door een toename van het getijvolume in de hoofdgeul met 15 procent van het totale getijvolume ten opzichte van T_0. Dit betekent een gelijke afname van het getijvolume in de nevengeul zodat het totale getijvolume uiteindelijk niet toeneemt. De ondergrens voor de hoofd- en nevengeul wordt op een gelijke manier bepaald maar dan met een toename van 5 procent van het totale getijvolume ten opzichte van T_0 over een periode van 15 jaar.

De hypothese beschouwt de totale verandering ten oosten van Hansweert, dus de huidige trend én de gevolgen van de verruiming. Hiervoor worden alle aanwezige raaien ten oosten van Hansweert bekeken. Dit zijn de raaien 5/5a, 3, 2 en 1.
De raaien 1, 2 en 3 worden niet gebruikt voor het toetsen van de hypothese (V1) omdat voor deze raai slechts een of twee metingen na 1996 beschikbaar zijn. Deze raaien worden alleen globaal weergegeven.

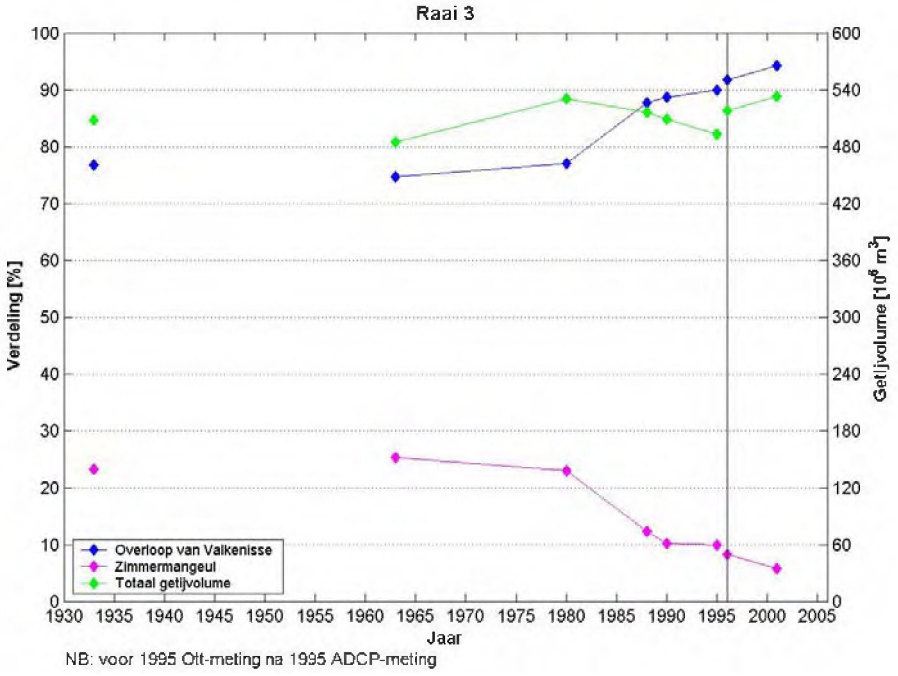
In het oostelijk deel van de Westerschelde neemt het totale getijvolume af van circa 0,7 (raai 5a) tot 0,3 (raai 1) miljard kubieke meter in oostelijke richting.
Voor het toetsen van de hypothese (V1) wordt de verdeling van het getijvolume over de hoofdgeul en de nevengeul in raai 5/5a bekeken (Figuur 2.3-5). In deze raai zijn er na de verruiming vijf metingen uitgevoerd. De hoofdgeul in raai 5/5a is het 'Zuidergat' (ebgeul) en de nevengeul is de 'Schaar van Waarde' (vloedgeul).
Net als in raai 6 zien we een verschuiving van de volumeverdeling, maar nu van de vloed gedomineerde geul naar de eb gedomineerde geul. In deze raai moet er rekening gehouden worden met het feit dat de raai in 1990 verlegd is waardoor er over de periode 1980-1990 weinig te zeggen valt.



Figuur 2.3-5: Het getijvolume in raai 5/5a en de verdeling over de geulen. Het hypothesebereik voor de hoofdgeul (Zuidergat) is gegeven door een onder-/bovengrens van resp. T0 + 5% van het totale getijvolume over een periode van 15 jaar en T0 + 15% van het totale getijvolume. Het hypothesebereik van de nevengeul (Schaar van Waarde) volgt hier uit.

Wanneer we naar de ontwikkeling van het getijvolume vanaf 1990 kijken is er een lichte stijging van het getijvolume in de ebgeul, het Zuidergat (hoofdgeul), te zien die bijna gelijk is aan het verloop van de ondergrens van de hypothese. De vloedgeul, Schaar van Waarde (nevengeul), laat een daling van het getijvolume zien die ook binnen het hypothesebereik valt. Het totale getijvolume is niet veranderd.

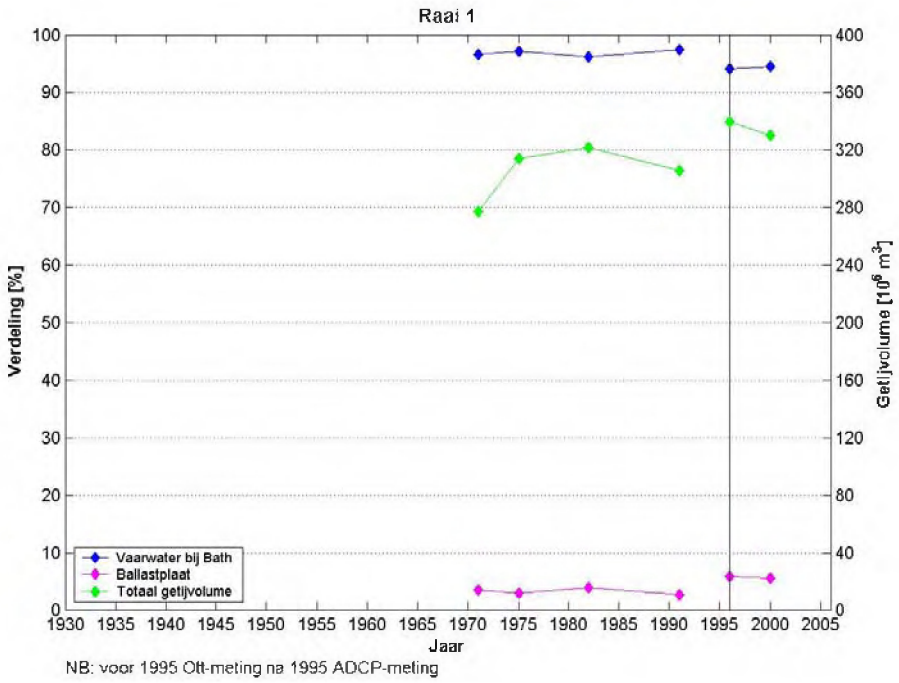
In raai 3 gaat ongeveer 90 procent via de hoofdgeul de Overloop van Valkenisse (ebgeul) (Figuur 2.3-6).



Figuur 2.3-6: Totaal getijvolume in raai 3 en de verdeling van dit getijvolume over de Overloop van Valkenisse (ebgeul) en de Zimmermangeul (vloedgeul)

Dit is een stijging van ongeveer 10 procent ten opzichte van 1980 toen er ongeveer 80 procent van het totale getijvolume via de Overloop van Valkenisse stroomde en 20 procent via de nevengeul de Zimmermangeul (vloedgeul).
Na de verruiming in 1996 is er voor deze raai nog maar 1 meting uitgevoerd. Deze waarde laat een lichte toename van het getijvolume in de Overloop van Valkenisse (hoofdgeul) welke ten koste gaat van het getijvolume in de Zimmermangeul (nevengeul). Het totale getijvolume in raai 3 is niet veranderd.
Hoewel de hypothese V1 niet voor raai 3 getoetst is, vanwege het feit dat er maar één meting na 1996 uitgevoerd is, is uit Figuur 2.3-6 op te maken dat het onmogelijk is dat het getijvolume in de hoofdgeul met 15% van het totale getijvolume toeneemt, ten koste van de nevengeul. Het getijvolume in de nevengeul wordt dan negatief.

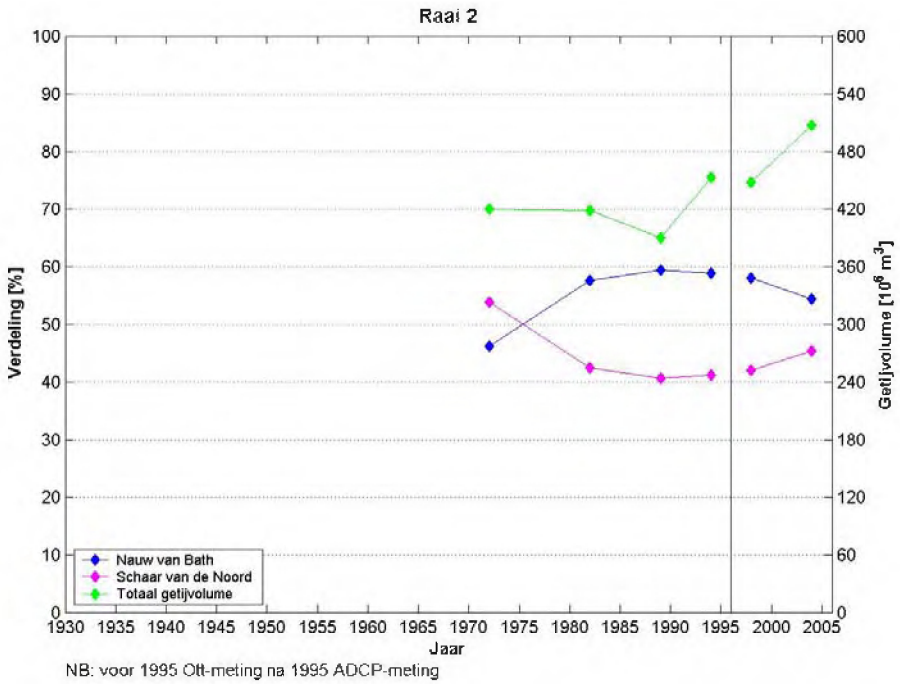
In raai 1 gaat een nog groter percentage, ongeveer 98 procent, via één geul, het Vaarwater van Bath (ebgeul) (Figuur 2.3-6). Ook hier is een afname van het getijvolume in de nevengeul met 15% van het totale getijvolume niet mogelijk. Opvallend is de toename van het getijvolume in de Ballastplaat wat ten koste gaat van het getijvolume in het Nauw van Bath. Deze verschuiving van het getijvolume van de hoofdgeul naar de nevengeul is tegengesteld aan de ontwikkelingen in het midden en westen van de Westerschelde.
Veel veranderingen in het totale getijvolume of de verdeling van dit volume over de verschillende geulen na 1996 zijn in de raaien 1 en 3 niet te zien.



Figuur 2.3-7: Totaal getijvolume in raai 1 en de verdeling over het Vaarwater bij Bath (ebgeul) en de Ballastplaat (vloedgeul)

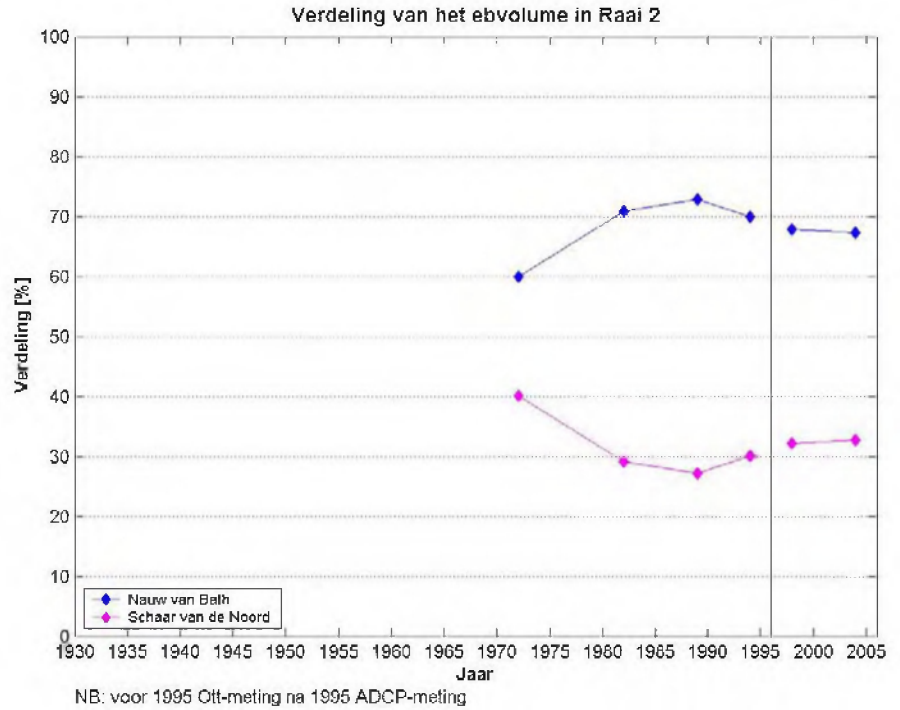
In raai 2 gebeurt echter meer (Figuur 2.3-8). De verdeling van het getijvolume over de twee geulen verandert in de loop van de jaren. Sinds 1970 tot en met 1989 is het getijvolume in het Nauw van Bath steeds groter geworden, daarna is het weer gaan afnemen. Dit terwijl

er juist een toename van het getijvolume in de hoofdgeul verwacht wordt. De verdeling van het getijvolume over de geulen verandert dus maar ook het totale getijvolume lijkt iets te zijn gestegen.



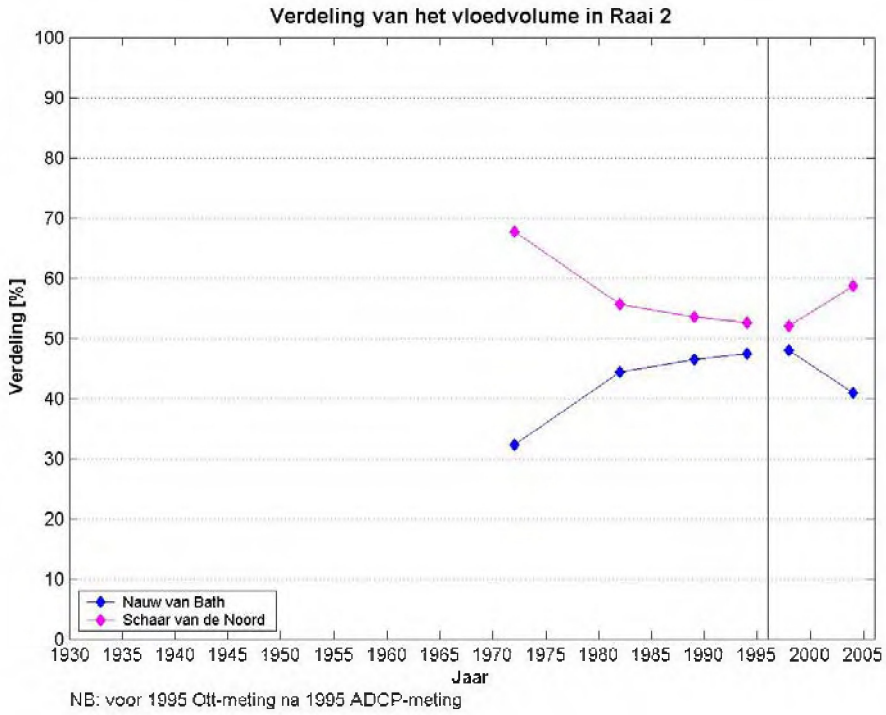
Figuur 2.3-8: Getijvolume in raai 2en de verdeling van dit volume over het Nauw van Bath (ebgeul) en de Schaar van de Noord (vloedgeul)

Wanneer we naar de verdeling van het ebvolume over de geulen kijken zien we een stijging tot en met 1989 gevolgd door een lichte daling en een mogelijke stabilisatie na 1998 in het volume dat er tijdens eb via het Nauw van Bath gaat (Figuur 2.3-9).



Figuur 2.3-9: Verdeling van het ebvolume over het Nauw van Bath (ebgeul) en de Schaar van de Noord (vloedgeul)

De verdeling van het vloedvolume over de geulen laat een iets ander beeld zien (Figuur 2.3-10). Het grootste deel van het vloedvolume gaat via de Schaar van de Noord. Dit volume is echter afgenomen tot en met het jaar 1998 waarna er weer een lichte stijging te zien is. Het ziet er naar uit dat de lichte toename van het totale getijvolume (Figuur 2.3-8) zich vooral uit in een toename van het vloedvolume via de Schaar van de Noord.



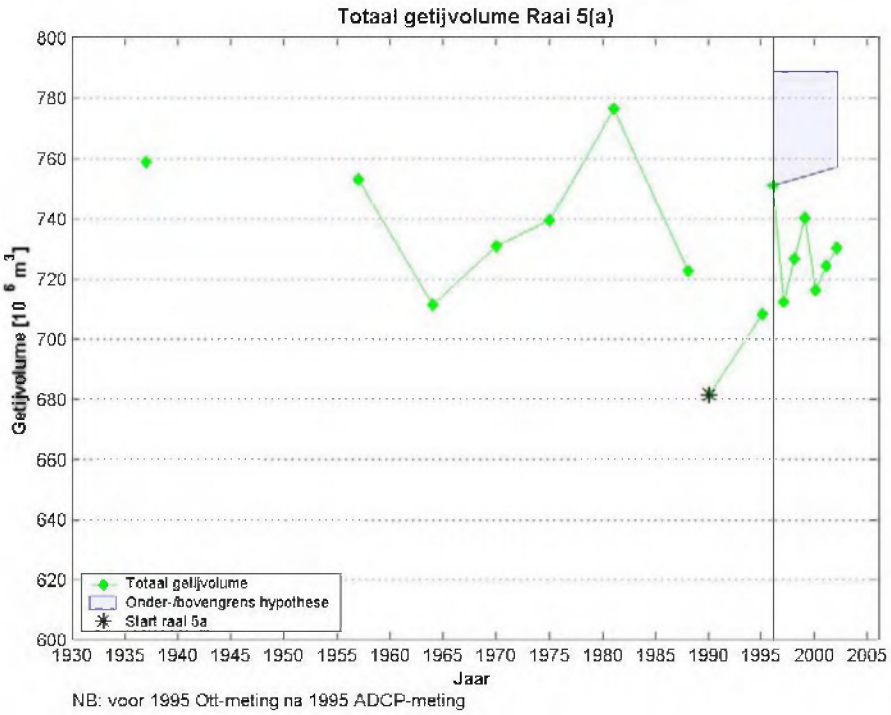
Figuur 2.3-10: Verdeling van het vloedvolume over het Nauw van Bath (ebgeul) en de Schaar van de Noord (vloedgeul)

Het totale getijvolume ten oosten van Hansweert is niet duidelijk gestegen. Al zijn er op enkele plaatsen wel duidelijke verschuivingen van de verdeling van het getijvolume over de geulen te zien. De verschuiving van het getijvolume in de hoofdgeul richting de nevengeul in raai 1 en 2 is hierbij zeer opvallend. Deze ontwikkeling is terug te vinden in de zandbalans (Haecon, 2006).

HYPOTHESE V2: Het getijvolume in de raai Schaar van Waarde-Zuidergat (raai 5a) zal 2-5% toenemen.

Toelichting: Door de verlaging van de platen en vergroting van de getijslag zal de komberging in het oostelijk deel toenemen. Door deze grotere komberging in het oostelijk deel zal het getijvolume in raai 5a toenemen (De Jong, 1997).

In de voorgaande hypothese (V1) is reeds naar de verdeling van het getijvolume in raai 5a gekeken. Voor het toetsen van deze hypothese (V2) wordt het totale getijvolume van raai 5(a) bekeken (Figuur 2.3-11). De bovengrens van het hypothesebereik wordt bepaald door een toename van 5% van het getijvolume in de raai ten opzichte van T_0. De ondergrens wordt bepaald door een toename van het getijvolume van 2% ten opzichte van T_0 verspreid over een periode van 15 jaar.



Figuur 2.3-11: Het totale getijvolume in raai 5/5a. De onder-/boven grens zijn resp. T0 + 2% over een periode van 15 jaar en T0 + 5 %.

Het totale getijvolume in raai 5/5a is niet veranderd. Ten opzichte van 1930 is het getijvolume iets gedaald maar er moet rekening gehouden worden met inpolderingen en de verlegging van de raai in 1990. Vanaf 1996 is het totale getijvolume ongeveer gelijk gebleven. Hiermee lijkt de verwachting uit de hypothese, dat er een stijging van 2 tot 5% zou optreden in het totale getijvolume van raai 5/5a, niet uit te komen.

2.3.5. Conclusie getijvolume

Aan de hand van vooraf gestelde hypothesen is een beeld verkregen van het getijvolume in de Westerschelde. In Tabel 2.3-2 is een overzicht gegeven van de resultaten van de hypothesen. Op een aantal punten zijn de hypothesen niet toereikend gebleken, hier is extra informatie toegevoegd of wordt er in de discussie verder op ingegaan. Gezien het geringe aantal metingen is er voornamelijk naar de globale verandering van het getijvolume in zijn geheel gekeken.

Tabel 2.3-2: Conclusie hypothese: Getijvolume

Hypothese		Hypothese			Opmerkingen*
		Binnen hypothese -bereik?	Ontwikkeling in de richting van hypothese?	Verwerpen?	
V1	Verdeling getijvolume	Ja*	Ja, behalve raai 2.	Nee*	Getijvolume in de hoofdgeul is toegenomen ten koste van de nevengeul.
V2	Totaal getijvolume	Nee*	Nee, behalve raai 2	Ja*	Het totale getijvolume is na 1996 gelijk gebleven.

*Alleen raai 5(a) is getoetst.

Het totale getijvolume in de Westerschelde vertoont weinig veranderingen, behalve dat er in raai 6 (midden) en raai 2 (oosten) een lichte stijging waarneembaar is. Deze ontwikkeling zal sterk in de gaten

gehouden moeten worden. De verdeling van het getijvolume in de Westerschelde over de geulen laat een tendens zien waarbij het getijvolume in de hoofdgeul toeneemt en in de nevengeul afneemt.

2.3.6. Discussie en aanbevelingen

In de toelichting van de hypothesen wordt gesteld dat als gevolg van het verlagen van de platen en de vergroting van de getijslag de komberging in het oostelijk deel zal toenemen. Het is echter de vraag of de platen daadwerkelijk zijn verlaagd. De platen zijn immers tot 1999 gestegen en zijn daarna stabiel gebleven. In het hoofdstuk over de arealen wordt hier nader naar gekeken.

Bij het bekijken van de ontwikkeling van het getijvolume moet er rekening gehouden worden met de 18,6 jarige cyclus. Als gevolg van deze cyclus kunnen er variaties in het getijvolume van ongeveer 8% optreden. Dit houdt in dat er maxima in het getijvolume rond 1940, 1960, 1980 en 2000 optreden (Mol *et al*, 1997). Hieruit komt meteen naar voren dat het aantal debiet metingen erg weinig is. Hierdoor kunnen effecten van o.a. de 18,6 jarige cyclus niet goed waargenomen worden. Tevens bemoeilijkt dit het doen van uitspraken over de ontwikkelingen van het debiet in de Westerschelde.

Als gevolg van het verwijderen van de drempels neemt de wrijving, die de getijgolf ondervindt van de bodem, af. Hierdoor kan het water makkelijker in en uitstromen waardoor de getijslag en daarmee het getijvolume zou kunnen toenemen. Uit het vorige hoofdstuk over de waterstanden is gebleken dat het getijverschil ter hoogte van Hansweert in oostelijke richting is toegenomen. Het getijvolume ten oosten van Hansweert is ook iets toegenomen. Zo zien we in raai 2, vlak bij Bath, een lichte stijging van het totale getijvolume, maar niet in de overige raaien in het oosten van de Westerschelde. Ook in het middendeel van de Westerschelde, hier weergegeven aan de hand van raai 6, is er een lichte stijging van het totale getijvolume opgetreden welke niet direct is terug te voeren op een verandering in de getijslag.

Vanwege de continuïteit zou een toename van het getijvolume in het oosten ook een toename van het getijvolume in het westen moeten betekenen. Modellen zoals Scalwest laten dit wel zien. Het getijvolume in het westen is echter veel groter dan in het oosten zodat procentueel een mogelijke toename van het gemeten getijvolume in het westen niet waargenomen wordt. Een analyse van de kombergingsinhoud zou hier meer inzicht kunnen verschaffen.

Naast het doorstroomprofiel hangt het getijvolume sterk samen met de stroomsnelheid. Het debiet wordt immers bepaald uit het doorstroomprofiel en de stroomsnelheid. Op dit moment wordt de stroomsnelheid bekeken aan de hand van een model. Dit geeft een goed beeld van de ontwikkeling van de stroomsnelheid in de gehele Westerschelde. Echter op het detailniveau van de raaien is het wenselijk om de gemeten stroomsnelheid naast het bepaalde debiet te analyseren.

2.4 Stroomsnelheid

2.4.1. Inleiding

De stroomsnelheid is afhankelijk van het doorstroomoppervlak, het getijvolume en varieert met de getijperiode. De complexe geometrie veroorzaakt diverse locale effecten. Toename van de stroomsnelheid kan leiden tot een grotere erosie en grotere sedimenttransporten. In ondiepe gebieden kunnen wind en golven de stroomsnelheden tijdelijk beïnvloeden.

In de context van de evaluatie gaat het om de verandering op hoofdlijnen in de hoofd- en nevengeulen. Het is de verwachting dat de geuldelen, die grenzen aan de drempels, na de verdieping van deze drempels zich zullen aanpassen aan de grotere getijvolumes. Tijdens dit aanpassingsproces speelt de stroomsnelheid een belangrijke rol, wat tegelijk een indicator is voor de morfologische ontwikkelingen.

Voorbeeld:
Als de stroomsnelheden in een hoofdgeul toenemen (door baggeren van de drempels in de hoofdgeul en het als reactie daarop uitruimen van de aangrenzende geuldelen) en tegelijkertijd in de nevengeul afnemen (door een combinatie van afname van de debieten in die nevengeul eventueel in combinatie met storten van baggerspecie), dan zal de nevengeul sedimenteren en de hoofdgeul eroderen.

Toename van de stroomsnelheid kan leiden tot extra erosie van de vooroever van de waterkeringen. Voor de ecologie betekenen hoge stroomsnelheden een hoogdynamische leefomgeving en minder kans op aanslibbing. Dit kan gevolgen hebben voor het voorkomen van bodemdieren, wat gevolgen heeft voor de vogels, die er op foerageren. Indien er door verandering van stroomrichting dwarsstromingen ontstaan, is er een verhoogde kans op scheepsaanvaringen.

De hypothesen S1 en S2 gaan inhoudelijk in op de verwachte ontwikkelingen in de stroomsnelheden in de Westerschelde.

2.4.2. Hypothesen

Er zijn twee hypothesen die de ontwikkelingen in de stroomsnelheden beschrijven; zoals eerder gezegd gaat het hierbij om de hoofdlijn:

HYPOTHESE S1: **De maximum stroomsnelheden in de hoofdgeul oostelijk van Hansweert nemen na de verdieping toe met 10-20%. Na 15 jaar zullen de snelheden weer op het oude niveau zijn teruggekeerd.**
Toelichting: De hoofdgeulen zijn nog niet aangepast aan de verhoogde getijvolumes. Hierdoor zullen de stroomsnelheden toenemen met een maximum direct na afloop van de verdieping. Na verloop van tijd heeft de geul zich aangepast aan de nieuwe getijvolumes, waardoor de snelheden na 15 jaar weer teruggekeerd zijn naar het oude niveau. De veranderingen zullen lineair in de tijd verlopen (De Jong, 1997).

HYPOTHESE S2: **De maximum stroomsnelheden westelijk van Hansweert nemen niet toe.**
Toelichting: In het westen vindt geen grootschalige verruiming van de geulen plaats. Hierdoor zullen het getijvolume en daarmee de stroomsnelheden niet toenemen (De Jong, 1997).

2.4.3. Methode

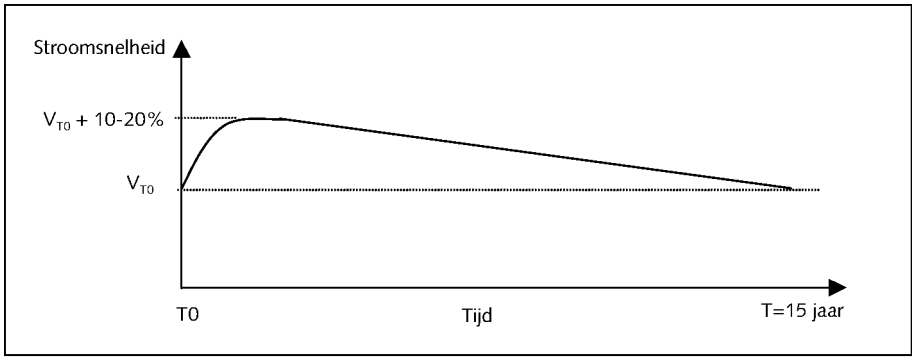
Interpretatie van hypothesen
In de hypothesen wordt een onderscheid gemaakt naar de ontwikkelingen waarvan ten oosten van Hansweert en ten westen van Hansweert, verondersteld wordt dat de stroomsnelheden niet toenemen.

De hypothesen hebben als achtergrond het denkmodel van MOVE. Dit denkmodel stelt dat, als gevolg van het verlagen van de drempels en het verruimen van de hoofdgeul, de getijgolf minder weerstand ondervindt, waardoor meer water door de hoofdgeul kan stromen. Door deze herverdeling van water, zal er een groter debiet en dus een groter getijvolume door de hoofdgeul gaan. Voorts stelt het denkmodel dat de geuldelen die grenzen aan de drempels, door dit grotere debiet zullen verdiepen en verbreden, totdat er een nieuw dynamisch evenwicht is ontstaan.

Er is bij de hypothesen van uitgegaan dat direct na het verlagen van de drempels de aangrenzende geuldelen morfologisch nog niet zijn aangepast aan het grotere debiet. Wanneer een groter debiet door een onveranderd geuldeel wordt gedwongen, zal de stroomsnelheid toenemen. Dit veroorzaakt dan weer grotere sedimenttransporten, waardoor dit geuldeel zal verruimen. Verwacht wordt dat de drempelverlaging en vaargeulverruiming in het oostelijke deel van de Westerschelde zullen leiden tot uitruiming van de aangrenzende geuldelen. In dat deel van de Westerschelde wordt namelijk de meeste baggerinspanning geleverd op de drempels, zodat de veranderingen in weerstand daar relatief de grootste uitwerking zullen hebben op de waterbeweging.

Naast de herverdeling van de getijvolumes over de geulen heeft ook het groter getijvolume door de hoofdgeul invloed op de stroomsnelheden. Het hiermee gepaard gaande proces van breder en dieper worden van de hoofdgeul zal niet instantaan plaatsvinden, maar een aantal jaren in beslag nemen. De hypothese stelt dan ook dat de snelheden in het oostelijke deel eerst toe zullen nemen, waarna ze na 15 jaar weer teruggekeerd zijn naar hun oude niveau.
Uit de hypothese is niet op te maken wanneer de stroomsnelheden in het oostelijke deel hun maximum zullen bereiken, om vervolgens lineair af te nemen naar het oude niveau. De in de hypothese geschetste ontwikkeling voor de stroomsnelheden in het oostelijke deel van de Westerschelde ziet er in een grafiek als volgt uit:

Figuur 2.4-1: De in de hypothese gestelde snelheidsverandering gevisualiseerd



Samengevat:
In het oostelijke deel van de Westerschelde is een herverdeling van hetzelfde getijvolume over de hoofd- en nevengeul (meer debiet door de hoofdgeul ten koste van de nevengeul) en een verandering in het totale getijvolume verantwoordelijk voor de tijdelijke toename van de stroomsnelheden in de hoofdgeul.

Verder is niet bekend of de hypothesen S1 en S2 uitgaan van het totaal van autonome ontwikkelingen en ingrepen, of enkel de verruiming. Dit is van belang omdat op basis van modelberekeningen bekend is dat de stroomsnelheden in de periode vóór de tweede verdieping iets zijn toegenomen. Resumerend wordt aangenomen dat de hypothesen doelen op het extra effect ten opzichte van de trend die vóór de verdieping al te zien was. Deze trend kan het gevolg zijn van vrij continu baggeren vanaf begin 20e eeuw, de eerste verdieping en zeespiegelstijging.

Data gebruikt voor toetsing
Er worden in het kader van MOVE, behalve debietmetingen, geen specifieke stroommetingen uitgevoerd. De berekende debieten zouden natuurlijk gedeeld kunnen worden door het doorstroomprofiel, dat ook gemeten wordt, waardoor een diepte- en breedtegemiddelde snelheid gevonden wordt. Van al deze bewerkingen zou dan een tijdreeks gemaakt worden en de ontwikkeling bekeken kunnen worden. Nadeel van deze methode is dat er een beperkt aantal debietraaien in de Westerschelde ligt, waardoor er geen ruimtelijk beeld kan worden verkregen. Een ander nadeel is dat de debietmetingen steeds bij andere meteorologische condities opgenomen worden. Daarnaast zit op deze metingen een grote foutenmarge.

De beschouwing met betrekking tot de stroomsnelheden in de Westerschelde in de periode 1988 -1996 - 2005 is gebaseerd op de Scalwest[15] simulaties. Het Scalwest model is een waterbewegingmodel voor de Westerschelde dat gebruikt is om de bodemveranderingen te vertalen naar veranderingen in waterstanden, getijvolumes en stroomsnelheden.

[15] het SCALWEST model is een numeriek waterbewegingsmodel van het Schelde-estuarium (inclusief monding), dat gebaseerd is op WAQUA in SIMONA. Het model strekt zich uit van het mondingsgebied van de Westerschelde tot en met de Zeeschelde in België. Het model is gekalibreerd en gevalideerd voor de grootschalige waterbeweging.

Het Scalwest model is geen morfologisch model: er zijn geen terugkoppelingen vanuit de (berekende) veranderde waterbeweging naar de bodem zodat daarmee opnieuw de waterbeweging kan worden berekend. Indien er een bodemliggingskaart van 2005 in het model wordt gebracht, kan met het model voor heel de Westerschelde berekend worden welke waterstanden, getijvolumes en stroomsnelheden hierbij horen op een bepaald moment in de getijperiode. De gegenereerde waterstanden, getijvolumes en stroomsnelheden zijn daarom sterk afhankelijk van de mate waarin de morfologie in 2005 reeds veranderd is.

De waterbeweging is berekend voor 1988, 1996 en 2005. De lodingen van die jaren zijn omgezet naar een bodemschematisatie t.b.v. het afgeregelde Scalwest 1996 model. Alle variabelen, behalve de bodem, worden in de verschillende modelberekeningen constant gehouden. Hierdoor is het mogelijk de ontwikkelingen in de periode na de verdieping tot de eindevaluatie (1996-2005) te vergelijken met de ontwikkelingen die in de stroomsnelheden aanwezig waren in de periode vóór de verdieping (1988-1996). De resultaten van deze Scalwest berekeningen[16] zijn samengevat in verschilkaarten van de stroomsnelheden tussen de verschillende jaren bij maximale vloed- en ebstroom ter plaatse van Hansweert.
Voor de toetsing zal het verschil tussen 1996 en 2005 beschouwd worden. De ontwikkelingen in de periode vóór de verdieping zullen gebruikt worden om aanvullend iets te zeggen over het extra effect van de verdieping t.o.v. de autonome ontwikkelingen zoals die voor de verdieping reeds plaatsvonden.

Methode van toetsing
In de stroommetingen (op basis van debiet metingen) zijn veel van de met Scalwest bepaalde veranderingen (nog) niet te zien, enerzijds vanwege te korte meetreeksen na de verdieping en anderzijds omdat slechts op een beperkt aantal locaties stroomsnelheden gemeten worden. Voor de toetsing wordt dan ook bekeken hoe de stroomsnelheden in de hoofdgeulen zich hebben ontwikkeld, voornamelijk middels de resultaten van de Scalwest simulaties. Deze simulaties laten eigenlijk puur de veranderingen zien als gevolg van. een andere bodemgeometrie. De stroomsnelheid is hierbij altijd aangepast aan de bodemgeometrie. Tijdelijke verhoogde stroomheden kunnen hiermee niet tot uitdrukking worden gebracht.
Aangezien hypothese S1 een nogal kwantitatief karakter heeft, en aan de hand van de modelberekeningen moeilijk iets te zeggen valt over de stroomsnelheidontwikkelingen in heel de hoofdgeul ten oosten van Hansweert (stroomsnelheden hebben een sterk lokaal karakter), zal de toetsing meer een kwalitatief dan een kwantitatief karakter hebben. Dit laatste past tegelijkertijd het beste bij het beschouwen van modelresultaten.

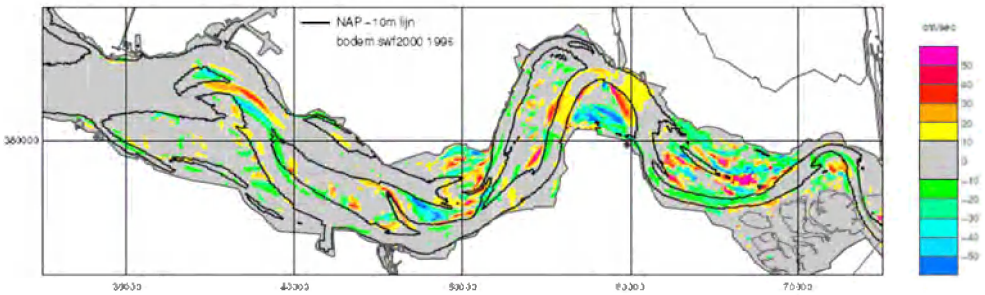
[16] De resultaten van Scalwestberekeningen worden voor het eerst beschreven in de datarapportage fysica uit 2001 (Liek, 2001) en zijn vervolgens in Liek & Lefevre (2002) weergegeven in de vorm zoals ze ook hier gepresenteerd zijn.

2.4.4. Resultaten

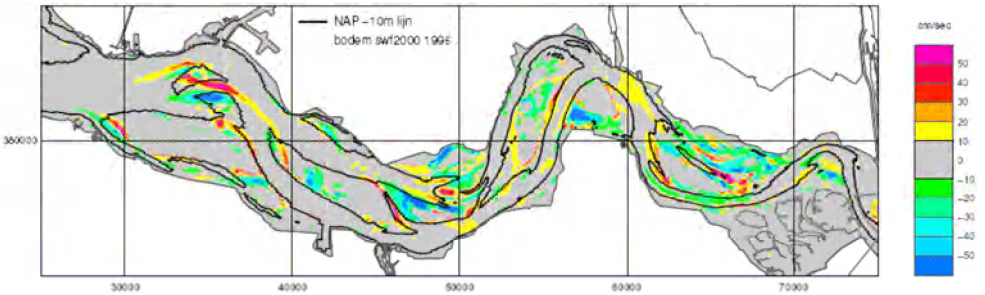
De resultaten worden besproken op basis van Figuur 2.4-2 en Figuur 2.4-3 en welke de stroomsnelheidsveranderingen in de periode 1988 – 1996 en 1996 – 2005 voor afzonderlijk maximale vloed- en maximale ebstroom (gedefinieerd als 1 u voor HW, resp. LW Hansweert)[17] weergeven. Hierbij dient te worden bedacht dat deze veranderingen gaan over vergelijkbare perioden qua tijdsinterval en dus vergelijkbaar zijn. Na een algemene beschouwing komen achtereenvolgens het westelijk deel (Vlissingen tot Baarland), midden deel (Baarland tot Kruiningen) en oostelijk deel (Kruiningen tot de grens) met wat nadere detaillering aan bod.

Veranderingen stroomsnelheden vóór de verruiming 1988 – 1996

Tijdens maximale vloedstroom



Tijdens maximale ebstroom

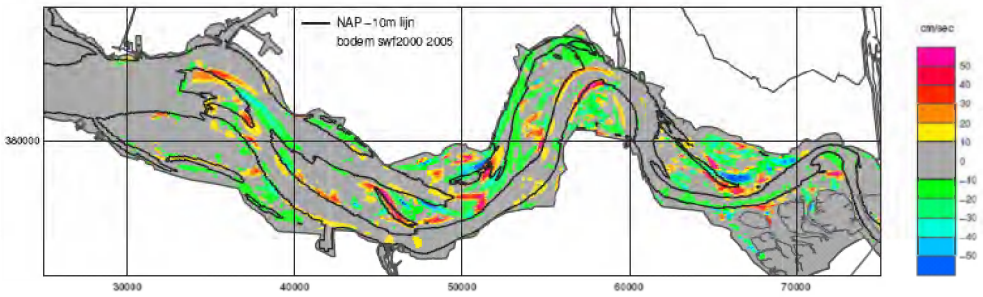


Figuur 2.4-2: Stroomsnelheidsverschil 1988-1996 (voor de verruiming) bij maximale vloed- en ebstroom ter plaatse van Hansweert

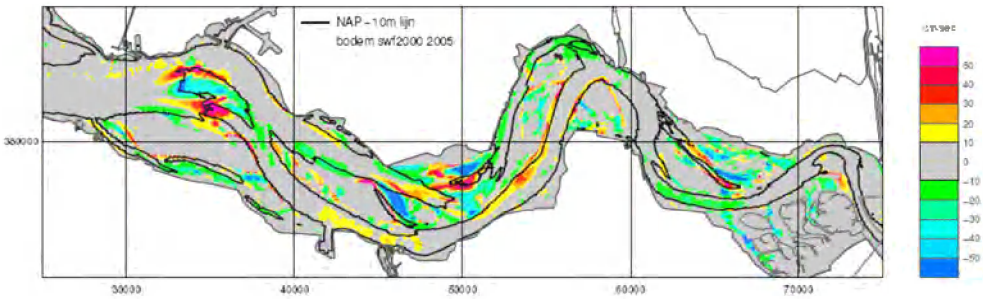
[17] De plaatjes zijn een momentopname uit de berekening. Het is niet zo dat de maximale eb- of vloedstroom in de gehele Westerschelde tegelijkertijd optreedt. De weergegeven verschilkaarten zijn bepaald voor het moment dat de stroomsnelheden ter plaatse van Hansweert (dat vrij centraal gelegen is in de Westerschelde) maximaal zijn. Extra inzoomen op het moment van maximale stroomsnelheid bij Vlissingen of Bath levert nauwelijks een ander beeld en is daarom achterwege gelaten.

Veranderingen stroomsnelheden vanaf de verruiming tot heden 1996 – 2005

Tijdens maximale vloedstroom



Tijdens maximale ebstroom



Figuur 2.4-3: Stroomsnelheidsverschil 1996 (voor de verruiming) – 2005 bij maximale vloed- en ebstroom ter plaatse van Hansweert

Algemeen

De veranderingen die vanaf 1988-1996 en vanaf 1996 tot heden op de Westerschelde zijn opgetreden zullen deels toe te schrijven zijn aan de natuurlijke migratie van de geulgebieden (Dekker, 2006). Dit komt onder meer door de toename van het doorstroomprofiel van de hoofdvaargeul ten koste van de nevengeul.
In de hoofdvaargeul zijn de stroomsnelheden sinds 1996 niet wezenlijk veranderd (veranderingen <10 cm/s), met uitzondering van een klein gebied in de overgang van Honte naar Drempel van Borssele en met name aan de plaat/noordzijde van Gat van Ossenise/Overloop van Hansweert. De stroomsnelheidtoename in de raai Gat van Ossenisse-Overloop van Hansweert bedraagt maximaal ca. 40 cm/s bij vloed en hangt samen met de toename van het getijvolume.

Voorts nemen, net zoals in de periode van vóór de verruiming (1988-1996), de stroomsnelheden in het Zuidergat/Overloop van Valkenisse nog steeds af.
Uit Figuur 2.4-2 en Figuur 2.4-3 kan geconcludeerd worden dat in de hoofdgeul de verandering in stroomsnelheden eigenlijk zowel ten oosten als ten westen van Hansweert gering is. De grootste veranderingen zijn zeer lokaal en voornamelijk in de buurt van plaatranden en stortgebieden. Dit stemt ook overeen met stroommetingen die speciaal nabij deze gebieden zijn verricht. Opvallend is wel dat juist ten westen van Hansweert de meeste veranderingen in stroomsnelheden te zien zijn, maar ook hier niet zo zeer in de hoofdgeul als wel in de buurt van plaatranden.

Westelijk deel
Vóór de verruiming neemt door migratie de betekenis van de Honte toe ten kosten van de Schaar van Spijkerplaat, wat zal zijn versterkt door het storten van specie langs de Spijkerplaat. Na de verruiming zet deze ontwikkeling zich voort.
Er is een toename van stroming langs de zuidwestelijke punt van de Hooge Platen, wat lijkt op migratie in samenhang met de ontwikkeling van de Honte en het Schaar van Spijkerplaat[18].
De westelijke migratie van de Zuid Everingen richting de Pas van Terneuzen en Gat van Ossenisse heeft zich voortgezet, terwijl het Straatje van Willem in betekenis is afgenomen. Vermoedelijk is er ook een relatie met de stortingen in de Everingen.

Midden deel
Na de verruiming zijn de stroomsnelheden in het Middelgat verder afgenomen. Tegelijkertijd zijn de stroomsnelheden in het Gat van Ossenisse en de Overloop van Hansweert met name langs de Rug van Baarland duidelijk toegenomen, wat wijst op een versterking van het Gat van Ossenisse en de Overloop van Hansweert als hoofdgeul. Het storten van baggerspecie in het Middelgat en in het Gat van Ossenisse nabij de Platen van Hulst heeft deze ontwikkeling waarschijnlijk gestimuleerd. Beeld is dat de Rug van Baarland wat migreert in noordwestelijke richting, wat door de verruiming.extra lijkt te zijn versterkt. Het lijkt erop dat door deze ontwikkeling de stroomsnelheden in het vaarwater langs Ossenisse verder zijn afgenomen, welke tendens zich na de verruiming heeft doorgezet.

Vóór de verruiming was bij vloed sprake van een sterke toename van de stroomsnelheden langs de noordoostelijke rand van de Platen van Ossenisse, vermoedelijk mede onder invloed van de ontwikkelingen in het vaarwater langs Ossenisse. Deze ontwikkelingen zijn waarschijnlijk verder een gevolg van baggeren langs deze rand en tegelijkertijd omvangrijke speciestortingen in de Schaar van Waarde. Na de verruiming is er minder sprake meer van deze ontwikkeling; mogelijk doordat geen specie meer is gestort in de Schaar van Waarde. Wel is opvallend dat de stroomsnelheden tijdens vloed langs de noordwestelijke rand zijn toegenomen, maar waarschijnlijk is dit het gevolg van de hiervoor beschreven ontwikkeling van het Gat van Ossenisse en de Overloop van Hansweert.

Oostelijk deel
De stroomsnelheden in de vloedschaar van Valkenisse blijven na de verruiming toenemen. Het niet meer terugstorten in de Schaar van Waarde laat toe dat deze geul zich verder kan ontwikkelen naar een natuurlijke situatie. Onder invloed hiervan nemen de stroomsnelheden in de Zimmermangeul verder af.

De vloed- en ebsnelheden in de Overloop van Valkenisse blijven verder afnemen, zij het de vloedsnelheden in wat mindere mate (opvallend is

[18] Feitelijk zou moeten worden bezien hoe deze hele ontwikkeling past in de lange termijn cyclus van de ontwikkeling van dit geulengebied.

ook dat de stroomsnelheden in de geulen van het Land van Saeftinge na de verruiming afnemen, met uitzondering van de IJskelder tijdens vloed).

De stroomsnelheden nabij de Schaar van de Noord kunnen eveneens door het niet meer terugstorten van baggerspecie verder toenemen, waardoor de Platen van de Noord na de verruiming mogelijk wat in noordelijke richting zijn gemigreerd. Het lijkt interessant te bezien hoe het Schaar van de Noord zich op natuurlijke wijze verder zou kunnen ontwikkelen met het oog op de betekenis van het Nauw van Bath.

2.4.5. Conclusie stroomsnelheid

Hypothese S1 wordt verworpen, want uitgezonderd enkele zeer lokale toenames nabij plaatranden en stortlocaties buiten de hoofdgeul, is geen sprake van een significante toename in snelheden in de hoofdgeul ten oosten van Hansweert. De resultaten laten juist zien dat er over een aanzienlijk deel een geringe afname van de maximale snelheid in de hoofdgeul optreedt. Bovendien is het met de gevolgde methodiek niet toetsbaar over welke periode na de verruiming de voorspelde stroomsnelheidtoename op zou moeten treden.

Hypothese S2 lijkt te kloppen en wordt dus niet verworpen, omdat de stroomsnelheden in de hoofdgeul ten westen van Hansweert, op enkele zeer lokale toenames nabij plaatranden en stortlocaties na, niet significant veranderd zijn.

2.4.6. Discussie en aanbevelingen

Uit de resultaten is gebleken dat de stroomsnelheden lokaal zeer kunnen variëren, terwijl de hypothese S1 zeer globaal is opgesteld: de stroomsnelheden in de hoofdgeul ten oosten van Hansweert zullen met 10-20 % toenemen. Uit de resultaten van de Scalwest simulaties valt niet op te maken dat ze globaal in de hoofdgeul als geheel zijn toegenomen. Uit de resultaten is gebleken dat eerder sprake is van afname. Verder zou de veronderstelde snelle snelheidstoename zeer tijdelijk kunnen zijn. Het valt te betwijfelen of de gevolgde monitoring geschikt was om dit te kunnen vaststellen.

Dat er ten oosten van Hansweert minder veranderingen in stroomsnelheden zijn te zien dan in het westen komt met name omdat de nevengeulen daar al 10 jaar aan het eroderen zijn en meer debiet trekken. Daarnaast zijn de aangrenzende geuldelen verruimd door baggeren (zie ook Jeuken *et. al.*, 2003)

Hypothese S2 zegt dat, doordat het getijvolume in het westen niet toeneemt, de maximale stroomsnelheden westelijk van Hansweert ook niet toenemen. Dit is echter niet juist, want het totale getijvolume neemt wel wat toe (absoluut *minstens* evenveel als in het oosten). Daarnaast kan door verdiepen van de drempels en grote stortingen in de nevengeulen ook een herverdeling plaatsvinden. Hypothese I4 bevestigt dit ook door te zeggen dat de geulinhouden in de

hoofdgeulen in het westen iets uitruimen na 1996. Hiervoor is ook erosie en dus een toename van de stroomsnelheden noodzakelijk. Daarbij geldt dat de verandering in stroomsnelheden afhankelijk zijn van de grootte van de absolute toename ten opzichte van het totale getijvolume en de herverdeling.

Verder worden voor de toetsing van de resultaten voornamelijk de resultaten van modelberekeningen gebruikt. Alhoewel deze berekeningen wel goed de ontwikkelingen in de stroomsnelheden laten zien ten gevolge van alleen een bodemverandering, zit er natuurlijk altijd een onnauwkeurigheid in de berekening en zullen de werkelijke stroomsnelheden altijd iets afwijken. Wanneer je echter de resultaten voor de verschillende perioden relatief t.o.v. elkaar beschouwt, zoals in de toetsing gedaan is, zal de invloed van de meetfouten voor een deel verdisconteerd worden.

De beschreven ontwikkeling van de Overloop van Hansweert. (versterking als hoofdgeul) wordt bevestigd door de analyse van de debietmetingen in raai 6 Overloop van Hansweert - Middelgat. Tegelijkertijd neemt het Middelgat verder in betekenis af. Dit bevestigt tevens dat de modelresultaten goede overeenkomst vertonen met wat in de praktijk wordt gemeten.

2.5 Zout

2.5.1. Inleiding

Een karakteristiek van een estuarium is de zoutgradiënt. Vooral voor de natuurwaarden is deze gradiënt van belang. Veel organismen zijn gebonden aan een bepaalde bandbreedte in het zoutgehalte. De getijbeweging op de Noordzee en de zoetwaterafvoer van de Schelde leveren de energie voor het mengen van zout- en zoetwater. Hierdoor ontstaat een gradiënt in het zoutgehalte. De belangrijkste variaties in het zoutgehalte worden veroorzaakt door de afvoer van de Schelde. De Westerschelde wordt hierbij gekenmerkt als een goed gemengd systeem. De vorm en ligging van de zoutgradiënt worden naast de energie van het getij en de afvoer bepaald door mengingsprocessen veroorzaakt door de geometrie van de Westerschelde. Forse ingrepen in deze geometrie, zoals de bagger- en stortactiviteiten ten behoeve van de verruiming, zouden in principe gevolgen kunnen hebben voor de mate waarin het zoute zeewater en het zoete rivierwater worden gemengd. De mogelijkheid bestaat dat door de verruiming het getij verder de Westerschelde binnen kan dringen, waardoor het zoute water verder stroomopwaarts kan komen dan in de situatie vóór de verruiming. Dit zou gevolgen kunnen hebben voor de natuurlijkheid van de Westerschelde (LTV2030).
Om de eventuele gevolgen van genoemde baggeractiviteiten voor de zoutconcentraties in de Westerschelde ten behoeve van de verruiming aan te kunnen geven is één hypothese opgesteld. Deze wordt getoetst aan de gevonden ontwikkelingen van de zoutconcentraties in de Westerschelde.

2.5.2. Rapporten en studies

De verwachte ontwikkelingen van het zoutgehalte in de Westerschelde zijn beschreven aan de hand van een prognose (De Jong *et al*, 1996) welke vertaald zijn naar toetsbare hypothesen in het plan van aanpak (De Jong *et al*, 1997). De situatie voor de verruiming 48'/43' is beschreven door Mol (1997). De veranderingen worden verwacht op te treden in de eerste 25 jaar na de verruiming. Een kwalitatieve analyse van de hypothesen voor het zoutgehalte is beschreven door Liek *et al* (2002). Een tijdreeksanalyse geeft aan dat er geen statistische onderbouwing is voor veranderingen in het zoutgehalte als gevolg van de verruiming 48'/43', (Baggelaar en Van der Meulen, 2006).

2.5.3. Datagebruik

De zoutmetingen uit het meetnet ZEGE (HCM, directie Zeeland) en uit het meetnet Maritieme Schelde (België) worden gebuikt voor MOVE. Het zoutgehalte is gemeten vanaf 1988 op de locatie Vlakte van de Raan in de monding van de Westerschelde en op de locaties Hoofdplaat, Overloop van Hansweert en Baalhoek (Figuur 2.5-1). Echter op de Overloop van Hansweert is slechts gemeten vanaf 1996 en is sinds januari 2004 de meetpaal buiten werking. Daarom wordt voor Hansweert gebruik gemaakt van het meetpunt Hansweert Geul uit

het MWTL[19]-meetnet. Op de overige meetpunten wordt om de 10-minuten de temperatuur en de geleidendheid gemeten, waaruit het zoutgehalte wordt berekend. Voor het toetsen van de hypothese wordt gewerkt met decadegemiddelden.



Figuur 2.5-1: Meetlocaties voor het zoutgehalte in de Westerschelde en de monding van de Westerschelde.

De beschikbaarheid van de zoutgegevens wisselt sterk per locatie door uitval van apparatuur. Naast de afvoer gegevens van de Zeeschelde te Schelle vanaf 1980 zijn vanaf 1988 de afvoergegevens van de Antwerpse havendokken, het Bathse Spuikanaal, het Kanaal Gent-Terneuzen de afvoeren van het Kanaal door Walcheren en de polderlozingen beschikbaar. Deze worden echter vanwege hun geringe bijdrage aan het totaal niet meegenomen.

2.5.4. Hypothese

HYPOTHESE **Z1: De decadegemiddelde zoutconcentraties in de Westerschelde veranderen niet als gevolg van de verruiming.**
De verruiming zorgt voor een grotere geul en daardoor voor een sterkere getijdoordringing. Het zoute zeewater kan hierdoor verder stroomopwaarts doordringen, waardoor de brakke zone in dezelfde richting opschuift (De Jong, 1997).

Er is niet naar extreme zoutconcentraties gekeken aangezien deze slechts incidenteel voorkomen, maar naar de 10-daags gemiddelde zoutconcentratie. Extreme zoutconcentraties zijn namelijk veel meer het gevolg van geringe of zeer hoge rivierafvoeren dan van mogelijke gevolgen van de verruiming. Zowel extreem hoge als lage zoutconcentraties kunnen een negatieve invloed hebben op de biologie in de Westerschelde.

Voor de verruiming 48'/43' is gebleken dat bij zeer hoge afvoeren ter hoogte van Baalhoek volledig zoetwater voorkomt (Mol *et al.*, 1997). De zoutgradiënt loopt op richting de monding over een afstand van ca. 60 km (gemeten langs de rivieras), van 0 tot ca. 16,5 g Cl/L. Bij lage

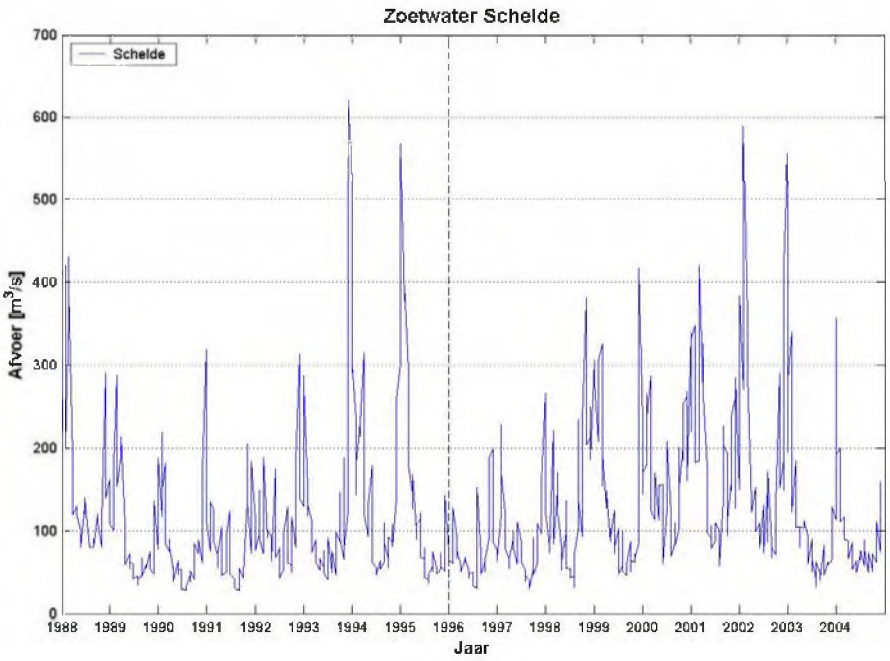
[19] MWTL = Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands

afvoeren bedraagt de verandering in zoutgehalte over hetzelfde traject slechts 5 a 6 g Cl/L. Deze variaties in de gradiënt hebben tot gevolg dat de ligging van het brakke gebied sterk kan variëren (Mol *et al*, 1997). In de monding is het gemiddelde zoutgehalte 18,5 g Cl/l. In een estuarium kunnen drie gebieden worden onderscheiden met de volgende kenmerkende zoutgehalten:

- een zout (marien) gebied, zoutgehalte > 10 g Cl/l, onder invloed van de Noordzee.
- een brak gebied, zoutgehalte tussen de 0,7 en 10 g Cl/l, als overgangsgebied tussen zout en zoet.
- een zoet gebied, zoutgehalte < 0,7 g Cl/l, onder grote, directe invloed van de zoete rivierafvoer.

Het zoutgehalte wordt voornamelijk beïnvloed door de rivierafvoer. Dit komt omdat er gemiddeld over een periode van een maand of langer geen werkelijke wijziging in de getijden optreedt. De verandering van de afvoer zorgt dan voor de meeste variatie in de zoutgradiënt in stroomopwaartse richting. De Schelde is een regenrivier met relatief lange periodes met een lage afvoer in de zomerperiode, afgewisseld met korte perioden met een hoge afvoer in de winter (Figuur 2.5-2).

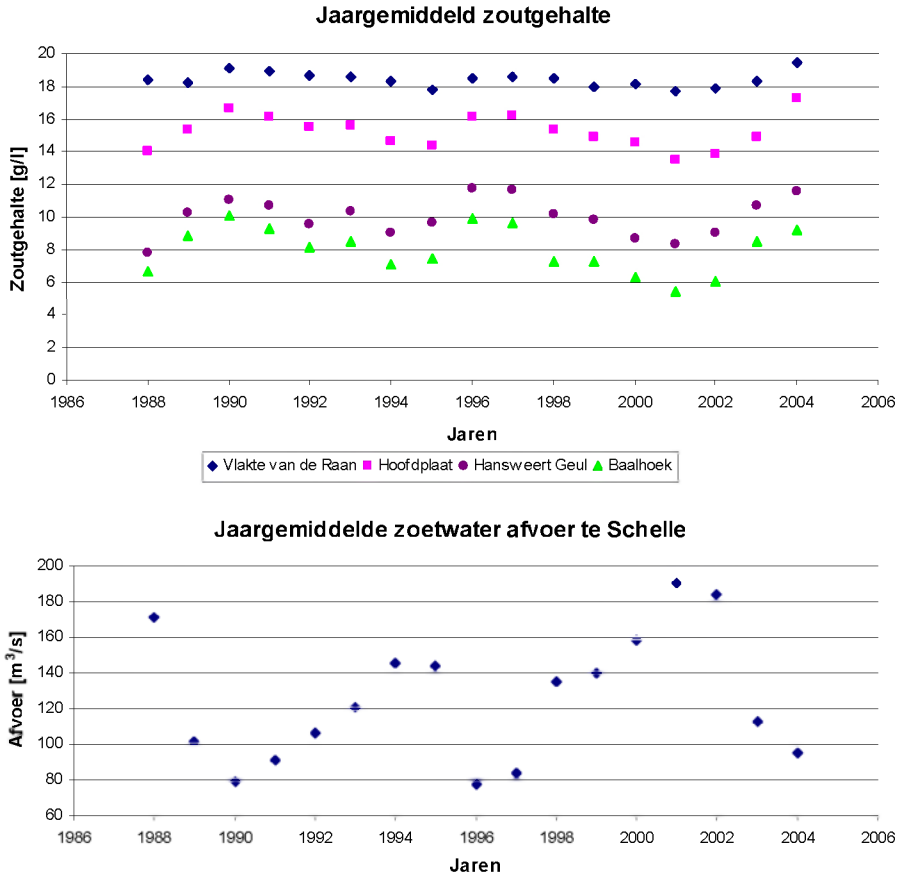
Figuur 2.5-2: Decadegemiddelde afvoer van de Schelde te Schelle



Het is met name het brakke gebied waarin de grote fluctuaties in het zoutgehalte voorkomen. Bij een lage rivierafvoer bevindt dit overgangsgebied zich verder landinwaarts dan bij een hoge rivierafvoer. Doordat ook de steilheid van de zoutgradiënt verandert, wijzigt ook de lengte van het brakke gebied onder invloed van de afvoer.

Het jaargemiddelde zoutgehalte voor de verschillende stations laat een duidelijke afname van het zoutgehalte in stroomopwaartse richting zien (Figuur 2.5-3). Tevens wordt opgemerkt dat er een sterke overeenkomst is tussen de zoetwater afvoer van de Schelde en het

zoutgehalte. Een lage afvoer komt overeen met een hoger zoutgehalte en andersom. Dit patroon is in alle stations zichtbaar.
Het jaargemiddelde zoutgehalte bij Baalhoek ligt over het algemeen beneden de 10 g Cl/l. Dit betekent dat het gebied bij Baalhoek voornamelijk brak is. De locatie Hansweert Geul geeft iets hogere jaargemiddelde zoutgehaltes, tussen de 8 en 12 g Cl/l. Er kan bij Hansweert Geul dus zowel sprake zijn van een brak gebied als een marien gebied, afhankelijk van de zoetwater afvoer van de rivier. Op de locaties Hoofdplaat en Vlakte van de Raan ligt het jaargemiddelde zoutgehalte altijd boven de 10 g Cl/l zodat daar altijd sprake is van een mariene omgeving.

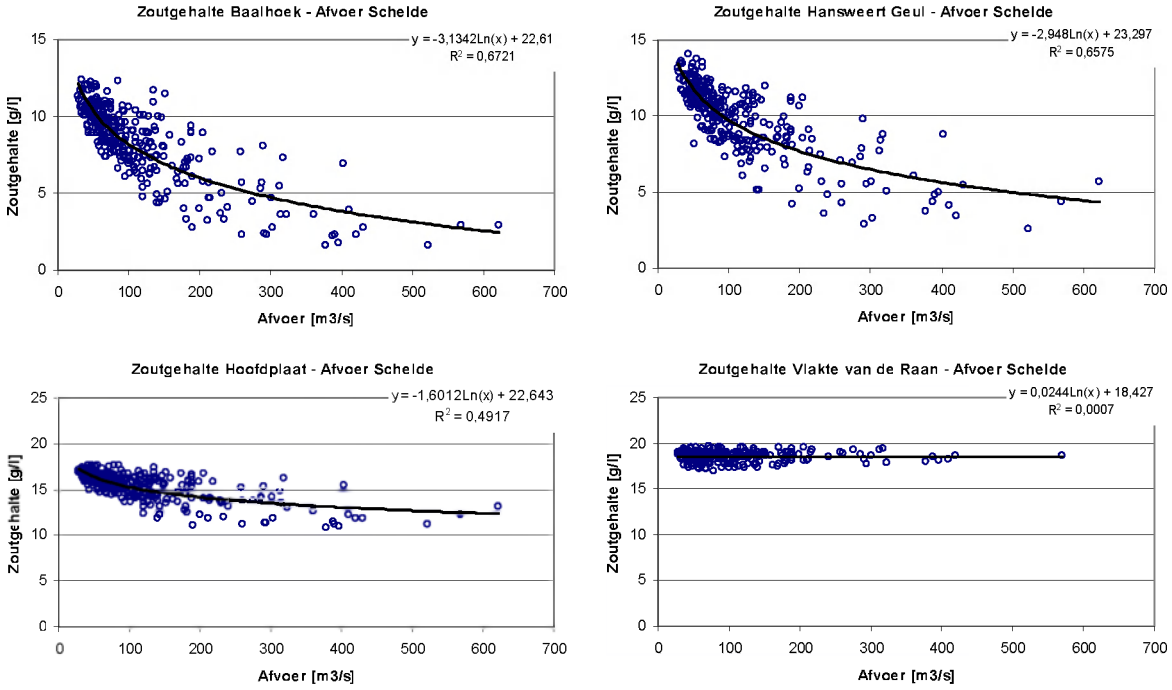


Figuur 2.5-3: Boven) Jaargemiddeld zoutgehalte voor De vlakte van de Raan, Hoofdplaat, Hansweert Geul en Baalhoek. Onder) Jaargemiddelde afvoer van de Schelde te Schelle

Voor het toetsen van de hypothese is voor elke meetlocatie de correlatie bepaald tussen het zoutgehalte en de afvoer van de Schelde. Om effecten van de verruiming uit te sluiten is de periode 1988 t/m 1996 genomen. Hieruit volgt logischerwijs dat de stations dichtbij de monding een zwakkere correlatie vertonen dan de stations in de buurt van de Schelde. In Figuur 2.5-4 zijn voor de verschillende stations de correlaties tussen het zoutgehalte en de zoetwater afvoer weergegeven.
Aan de hand van deze relatie is de invloed van de zoetwater afvoer van de Schelde verwijderd uit het signaal van het zoutgehalte voor de verschillende meetpunten. Van het overgebleven signaal is het jaargemiddelde bepaald zodat eventuele veranderingen in het gemiddelde zoutgehalte over de jaren heen zichtbaar zijn. Voor elk van

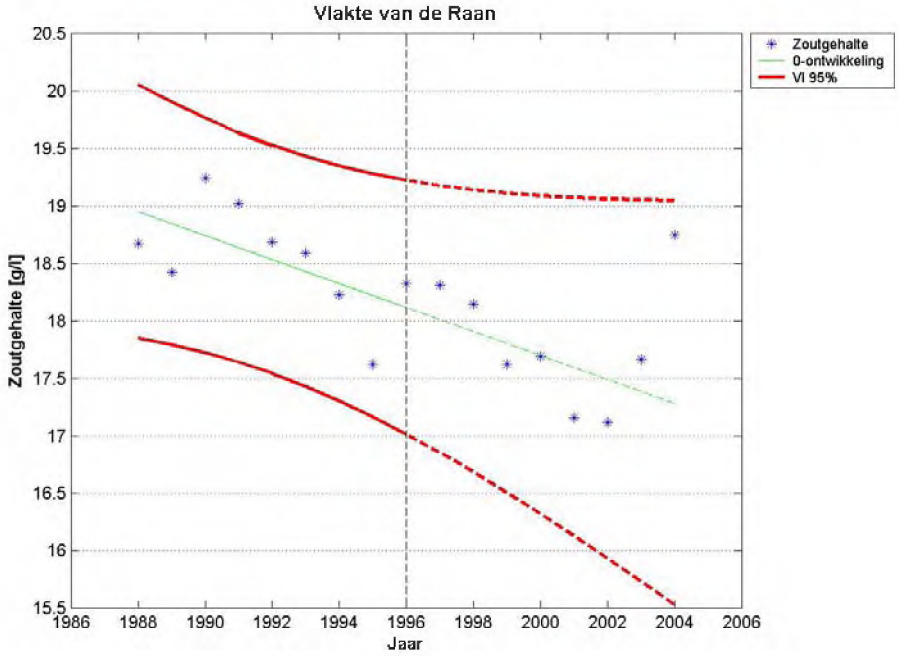
de vier meetstations is vervolgens een nulontwikkeling en een voorspellingsinterval op basis van de periode 1988-1996 bepaald.

Figuur 2.5-4: Relatie van het zoutgehalte met de afvoer van de Schelde voor de vier meetlocaties



Het zoutgehalte op de Vlakte van de Raan heeft een licht dalende nulontwikkeling (Figuur 2.5-5). Wanneer de periode voor 1996 vergeleken wordt met de periode erna zijn er geen duidelijke veranderingen zichtbaar.

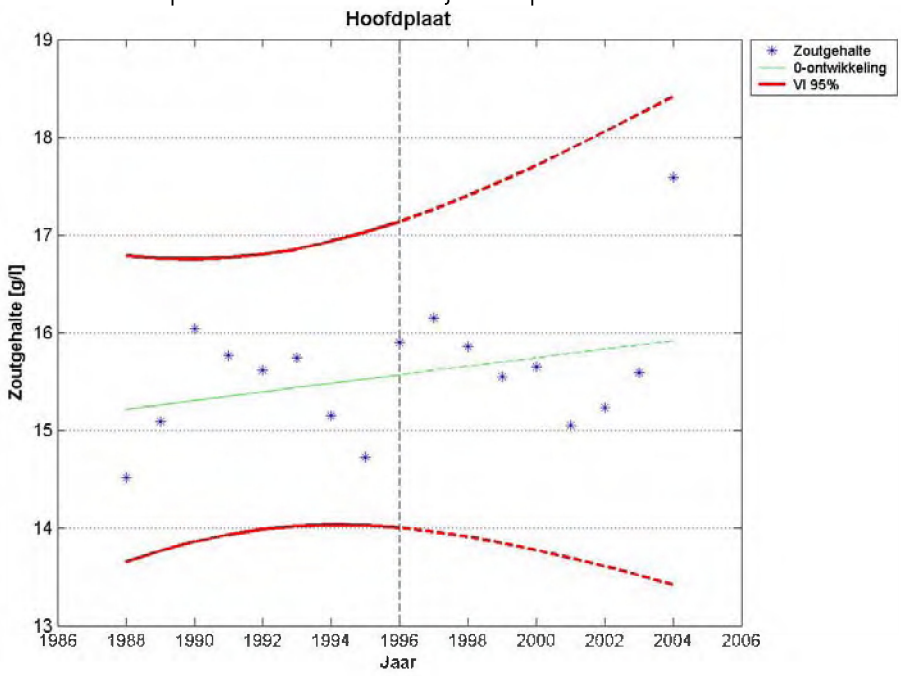
Figuur 2.5-5: Jaargemiddeld voor afvoer gecorrigeerd zoutgehalte op de Vlakte van de Raan



De waarden liggen allemaal dicht rond de nulontwikkeling, wat betekent dat er geen veranderingen in de ontwikkeling zijn opgetreden. De dalende trend van vóór 1996 zet zich voort. De waarde voor het

jaar 2004 ligt erg ver van de nullijn. In de toekomst zal blijken of dit een uitschieter betreft of niet.
Hoofdplaat ligt in het westelijk deel van de Westerschelde. Het zoutgehalte ondervindt hier al meer invloed van de Schelde afvoer en is dan ook lager dan in de monding van de Westerschelde bij de Vlakte van de Raan (Figuur 2.5-6). In tegenstelling tot de Vlakte van de Raan laat de nulontwikkeling een lichte stijging zien. De waarden voor en na 1996 wijken niet erg af van de nulontwikkeling zodat van een verandering niet gesproken kan worden. Ook hier valt de hoge waarde uit 2004 ten opzichte van de andere jaren op.

Figuur 2.5-6: Jaargemiddeld voor afvoer gecorrigeerd zoutgehalte bij Hoofdplaat



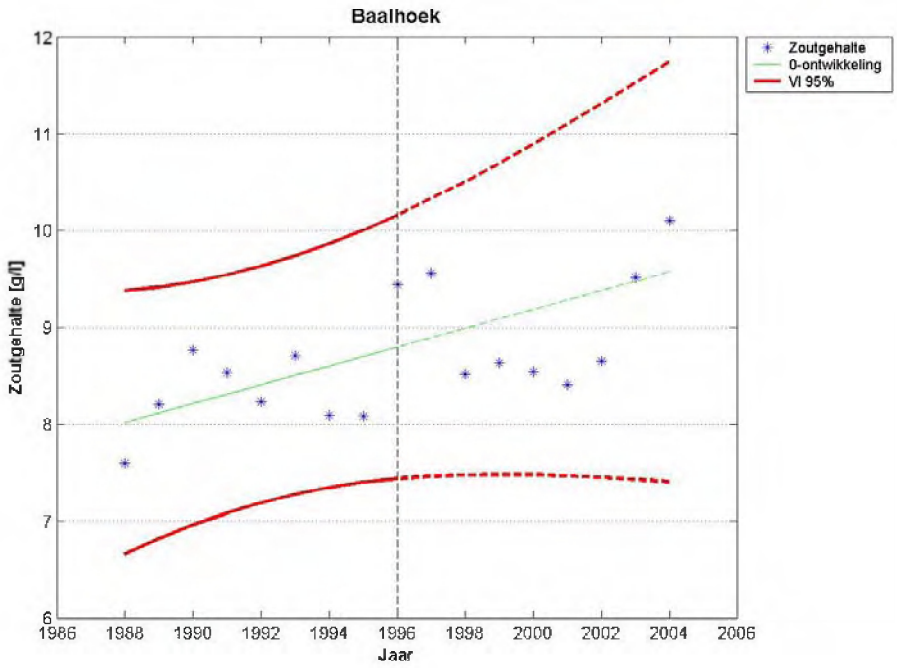
Voor Hansweert is gebruik gemaakt van data uit het MWTL-meetnet. De nulontwikkeling laat een stijgende trend zien (Figuur 2.5-7).

Figuur 2.5-7: Jaargemiddeld voor afvoer gecorrigeerd zoutgehalte bij Hansweert



Hoewel de stijgende trend wel doorzet na de verruiming lijkt deze minder snel te gaan dan in de periode voor 1996. De jaargemiddelde zoutgehalten liggen voornamelijk beneden de trendlijn van de nulontwikkeling wat zou kunnen duiden op een geringe (tijdelijke) afname.

Het meetpunt Baalhoek ligt het meest oostelijk van de vier meetpalen en heeft daarom ook het laagste zoutgehalte. Ook hier laat de nulontwikkeling een stijgende trend zien (Figuur 2.5-8).



Figuur 2.5-8: Jaargemiddeld voor afvoer gecorrigeerd zoutgehalte bij Baalhoek

De waarden in de periode direct na 1996 liggen evenals bij Hansweert iets beneden de trendlijn van de nulontwikkeling. Dit zou op een kleine verandering kunnen duiden. De jaren 2003 en 2004 laten echter weer een stijging zien. Het is onduidelijk of er wel echt sprake is van een verandering en zo ja of deze verandering dan toe te schrijven is aan de verruiming.

2.5.5. Conclusie zout

Aan de hand van de gestelde hypothese is een beeld verkregen van het jaargemiddelde zoutgehalte in de Westerschelde. In Tabel 2.5-1 is het resultaat van de toetsing van de hypothese weergegeven.

Tabel 2.5-1: Conclusie hypothese: Zout

Hypothese		Hypothese		Opmerkingen
		Ontwikkeling in de richting van hypothese?	Verwerpen?	
Z1	Zout	Ja	Nee	Er treedt geen verandering op

Het zoutgehalte is sterk afhankelijk van de zoetwater afvoer van de Schelde. Het jaar gemiddelde zoutgehalte zonder invloed van de rivier afvoer heeft vanaf hoofdplaat richting het oosten een stijgende nulontwikkeling welke niet is veranderd als gevolg van de verruiming.

Alleen bij Hansweert en Baalhoek is sprake van een geringe (tijdelijke) afwijking van de nulontwikkeling. Deze is echter klein en het is onduidelijk of deze toegeschreven kan worden aan de verruiming.

2.5.6. Discussie en aanbevelingen

Op dit moment is er uitgegaan van het decadegemiddelde zoutgehalte omgezet naar een jaargemiddeld zoutgehalte waar de invloed van de Schelde afvoer uit gefilterd is. Hierdoor is een beeld verkregen van de ontwikkeling van het gemiddelde zoutgehalte op lange termijn. Dit is op zich interessant. Zeker de periodiek die duidelijk te zien is in elk meetstation is interessant en vraagt nader onderzoek. Het is zeer goed mogelijk dat ook hier de periodiek veroorzaakt wordt via het getijvolume door de 18,6 jarige cyclus. Het getijvolume is de hoeveelheid water die het estuarium in- en uitstroomt. Het is zeer te verwachten dat veranderingen in de hoeveelheid zoutwater doorwerken in het zoutgehalte.

Echter de jaargemiddelde maar ook decadegemiddelde waarden zorgen ervoor dat extreme waarden worden uitgevlakt. Terwijl deze extremen juist erg belangrijk zijn voor de ecologie. Vooral in gebieden met een laag zoutgehalte (brakke gebieden) hebben zoutschommelingen een grote invloed op de bodemfauna. Extreem lage zoutgehaltes maar ook extreem hoge zoutgehaltes zorgen ervoor dat bepaalde ecotopen niet kunnen blijven bestaan. De tijd waarover zo'n extreem zoutgehalte optreedt is ook van groot belang. Een frequentie analyse van het optreden van deze extremen en de tijd waarover deze extremen optreden zouden zeker met betrekking tot de ecologie een beter beeld geven

2.6 Zandtransporten

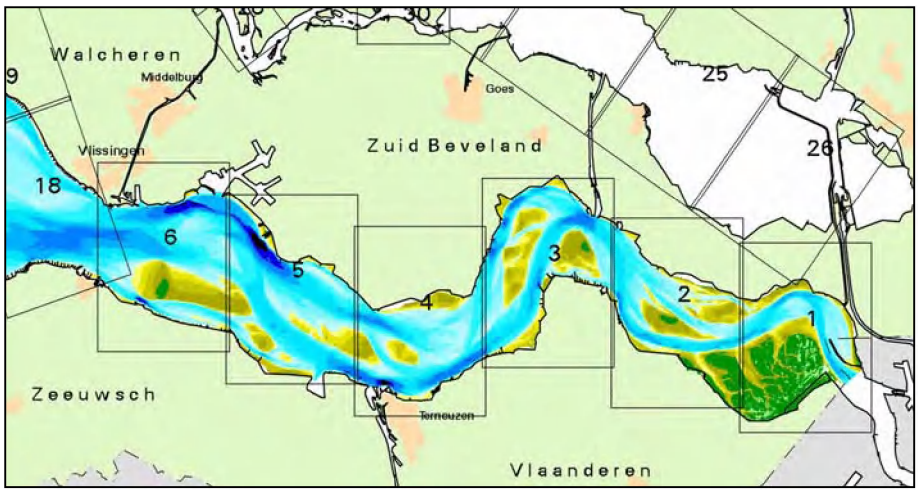
Er wordt een onderscheid gemaakt in de zogenaamde natuurlijke zandtransporten en de baggerwerken. Als natuurlijke zandtransporten worden de import/export van zand tussen de Noordzee en de Westerschelde en het zandtransport van het westelijke naar het oostelijke gedeelte van de Westerschelde gezien. De import/export vanuit de Noordzee wordt apart beschouwd omdat de zandimport/export van belang is voor de hoeveelheid zand die gewonnen mag worden uit de Westerschelde (Zand in de Hand, 2000).

Het stortbeleid is op basis van de studie OOSTWEST na 1997 veranderd (Vroon, 1997). Vanaf dan wordt het sediment dat in het oosten wordt gebaggerd verder weg van de baggerplaatsen teruggestort, voornamelijk in het westen en middengedeelte van de Westerschelde. De gedachte erachter is het terugbrengen van de morfologische dynamiek in het oostelijke deel. Daarnaast werd verwacht dat het onderhoudsbaggerwerk op deze wijze efficiënter zou zijn, omdat de stortlocaties verder van de drempels in het oosten liggen en de drempels daardoor minder snel zullen aanzanden.

De hypothesen die baggerwerken beschrijven bekijken in feite of de gerealiseerde baggerhoeveelheden (zowel aanleg als onderhoud) binnen het maximum vallen dat is gesteld in de baggervergunning (14 Mm^3/jaar).

2.6.1. Rapporten en studies

Om het zandtransport te kunnen bepalen is er een zandbalans opgesteld. Hiervoor is de Westerschelde opgedeeld in 6 vakken[20] (Figuur 2.6-1), waarin lodingen zijn verricht.



Figuur 2.6-1: Vakindeling voor de lodingen in de Westerschelde

Vak 1 en 2 vormen samen het oostelijke deel van de Westerschelde, vak 3 het midden en vak 4, 5 en 6 samen het westelijke gedeelte. De

[20] De zes vakken zijn precies 6 A0-tekeningen van 1:10.0000 die in de Westerschelde passen. Op deze manier is het werk in werkbare brokken opgedeeld.

westelijke grens van vak 6 is de lijn Vlissingen-Breskens. In de hypothese (T1) wordt deze grens gebruikt om het transport van Westerschelde naar de Noordzee of omgekeerd te berekenen.

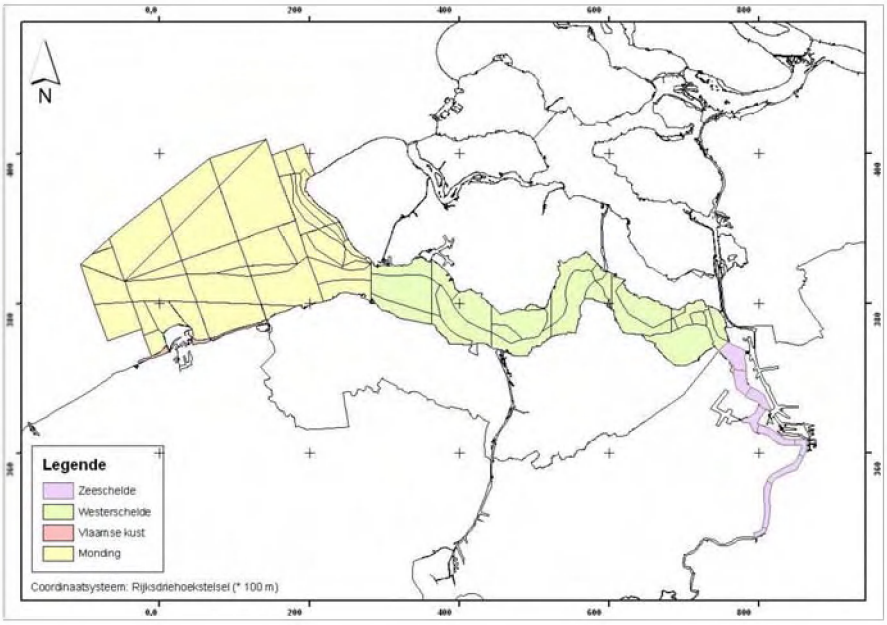
De zandbalans is de gemeten natuurlijke inhoudsverandering ten opzichte van het referentievlak 3,5 m NAP (met behulp van de vaklodingen en GIS bepaald) minus de gemeten ingreephoeveelheden (de som van baggeren, storten en zandwinning).
Deze natuurlijke inhoudsverandering wordt gegeven door volgende vergelijking:

$$\Delta V_{nat} = \Delta V_{tot} - \Delta V_i \qquad (1)$$

- ΔV_{nat} : de "natuurlijke" volumeverandering gedurende de beschouwde periode. Een positieve waarde duidt op sedimentatie terwijl een negatieve waarde wijst op erosie.
- ΔV_{tot} : de effectieve (gemeten) volumeverandering van een (deel)gebied bekomen op basis van de lodinggegevens.
- ΔV_i : de volumeverandering in een (deel)gebied veroorzaakt door menselijke ingrepen (baggeren, storten, zandwinningen, wrakopruimingen).

In Mol *et al.* (1997) wordt de zandbalans gepresenteerd die destijds als T_0 gebruikt werd. Vervolgens is De Jong (2000) met een andere en verbeterde methodiek voor het opstellen van de zandbalans gekomen, die in het MOVE-project is overgenomen. Sinds de evaluatie van 2003 is er een nieuwe zandbalans gemaakt waarin ook de monding en de Zeeschelde zijn verwerkt (Haecon, 2006).

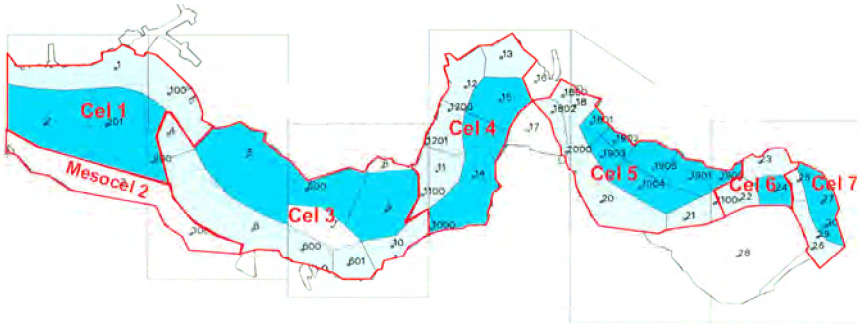
Figuur 2.6-2: Overzicht gebieden van de zandbalans (Heacon, 2006)



Het deel van de Zeeschelde strekt zich uit van de monding van de Rupel tot aan de Belgisch-Nederlandse grens (Figuur 2.6-2). Op basis

van praktische terreinkennis is aangenomen dat het transport ter hoogte van de opwaartse rand (Rupelmonding) klein tot verwaarloosbaar is. Het transport over de Belgisch-Nederlandse grens richting België is circa 1 Mm^3 per jaar.
Het mondingsgebied strekt zich uit vanaf de lijn Vlissingen-Breskens tot de haven van Zeebrugge. Aan de zeezijde rand is geen randvoorwaarde opgelegd.
Voor de zandbalans van de Westerschelde wordt aan de Belgisch-Nederlandse grens gebruik gemaakt van de gegevens voortvloeiend uit de zandbalans van de Zeeschelde. De uitwisseling ter hoogte van "Het Verdronken Land van Saeftinge" wordt constant verondersteld. Hier wordt aangenomen dat er jaarlijks een constant volume zand van 300.000 m^3 van de Westerschelde naar "Het Verdronken Land van Saeftinge" getransporteerd wordt.

De vakindeling van de zandbalans (Figuur 2.6-3) is gebaseerd op de ligging van morfologische cellen uit het cellenconcept (Jeuken *et al.*, 2002). De zandbalans bepaalt de uitwisseling tussen de morfologische cellen.



Figuur 2.6-3: Indeling van de Westerschelde in macrocellen, eenheden waarvoor de zandbalans is opgesteld.

2.6.2. Hypothesen
Bij het beschrijven van de hypothesen wordt in dit hoofdstuk alleen gekeken naar de natuurlijke zandtransporten en het aanlegbaggerwerk. De specifieke ingrepen zoals de hoeveelheid baggeren, storten en zandwinning in de loop van de tijd en per locatie zijn beschreven in hoofdstuk 2.12 Baggeren, storten en zandwinning.

2.6.2.1 Natuurlijke zandtransporten
Er zijn twee verschillende hypothesen die de ontwikkeling van de natuurlijke zandtransporten in de Westerschelde beschrijven. De oorspronkelijke gedachte achter de hypothesen is dat door de gewijzigde bagger- en stortstrategie, de zandtransporten in de Westerschelde zullen veranderen. Deze gewijzigde strategie houdt in dat de vrijgekomen baggerspecie uit het oosten voornamelijk teruggestort wordt in het westelijk deel van de Westerschelde en niet meer in het oostelijke deel. De extra zand vraag, die volgens de hypothesen verwacht zou mogen worden ten gevolge van de verdieping van de geulen, zou genivelleerd worden door de grotere stortingen in het westelijke deel van de Westerschelde. Tevens wordt vanuit de hypothese verwacht dat er een transport van west naar oost op gang komt.

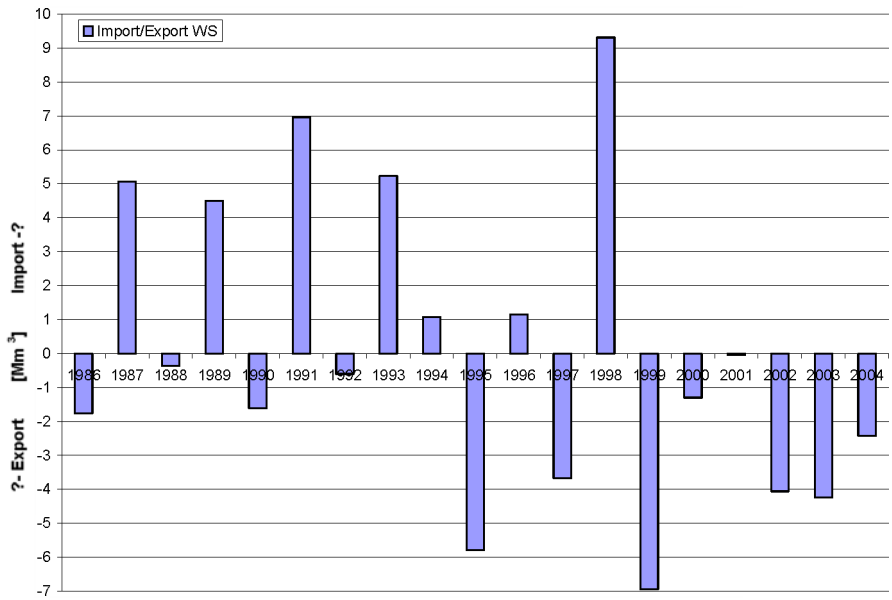
HYPOTHESE T1: De zandimport vanuit de Noordzee zal gelijk blijven

Toelichting: Momenteel treedt een geringe import op (0,3 Mm^3/j) (Mol et al, 1997). Door de verdieping zou dit kunnen toenemen. Door sterke toename van de stortingen in het westen wordt dit echter voorkomen. De import vanuit de Noordzee varieert tussen de –5 en +5 Mm^3. Als import wordt de hoeveelheid zand verstaan die de westelijke grens van vak 6 overschrijdt. Deze hoeveelheid wordt bepaald uit de zandbalans (De Jong, 1997).

In de toelichting van de hypothese wordt uitgegaan van een import van 0,3 Mm^3/j. Al in de voorgaande evaluatie (Stikvoort *et al.*, 2003) is aangegeven dat er tegenwoordig sprake is van export.

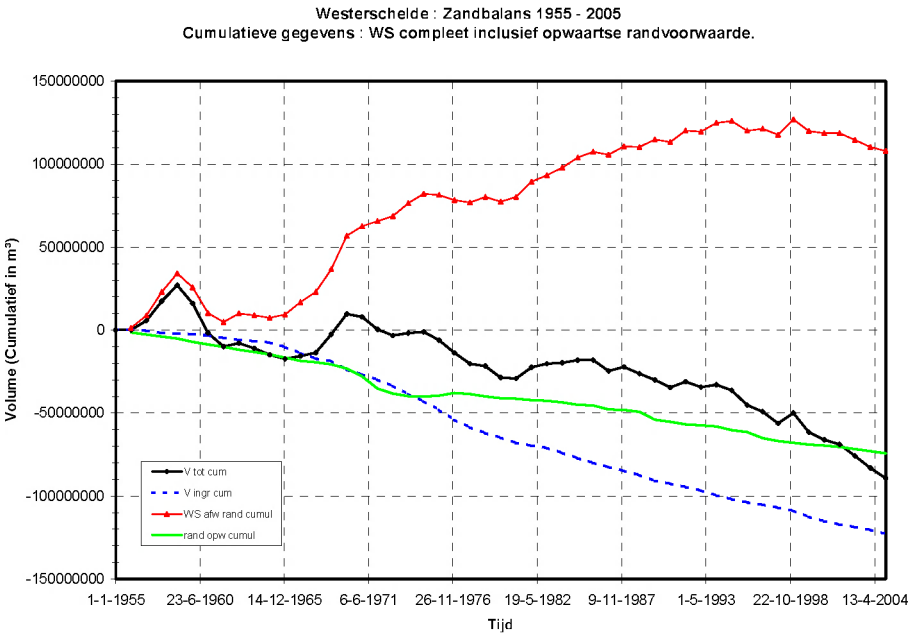
De zandverplaatsing tussen de monding en Westerschelde wordt weergegeven aan de hand van het jaarlijkse transport van Macrocel 1 en Mesocel 2 richting de monding (Figuur 2.6-4). Een negatieve waarde in de grafiek betekent zandexport en een positieve waarde zandimport. In de grafiek is te zien dat van 1986 t/m 1993 er voornamelijk sprake is van import en daarna is er vaker sprake van export. De grootte van de transporten ligt tussen –5 Mm^3/j en +5 Mm^3/j.

Figuur 2.6-4: Zand import/export vanuit de Westerschelde naar de monding (Heacon, 2006)



Naast de jaarlijkse import/export van de Westerschelde naar de monding zijn ook de cumulatieve zandbalanscomponenten voor de Westerschelde gegeven, inclusief de randvoorwaarden om tot een netto volumevariatie voor de Westerschelde te komen (Figuur 2.6-5). Hieruit blijkt dat tussen 1955 en 1970 de import/export vanuit de Westerschelde sterk schommelde rond een evenwichtstoestand. Tussen 1970 en 1982 was de import/export van zand eerder beperkt en over deze periode in evenwicht. Tussen 1986 en 1998 was er voornamelijk import terwijl sedert 1998 een hoeveelheid zand van de Westerschelde naar de monding verplaatst is. Deze "natuurlijke" import/export van zand in de Westerschelde is naar alle waarschijnlijkheid een natuurlijke reactie van het estuariene systeem op de verdere verdieping van de

vaargeul en de daarmee gerelateerde bagger- en stortactiviteiten in het estuarium (Haecon, 2006).



Figuur 2.6-5: Cumulatieve zandbalans van de Westerschelde inclusief de randvoorwaarden voor de monding en de Zeeschelde (Heacon,2006)

In deze figuur zijn vier datareeksen voorgesteld:

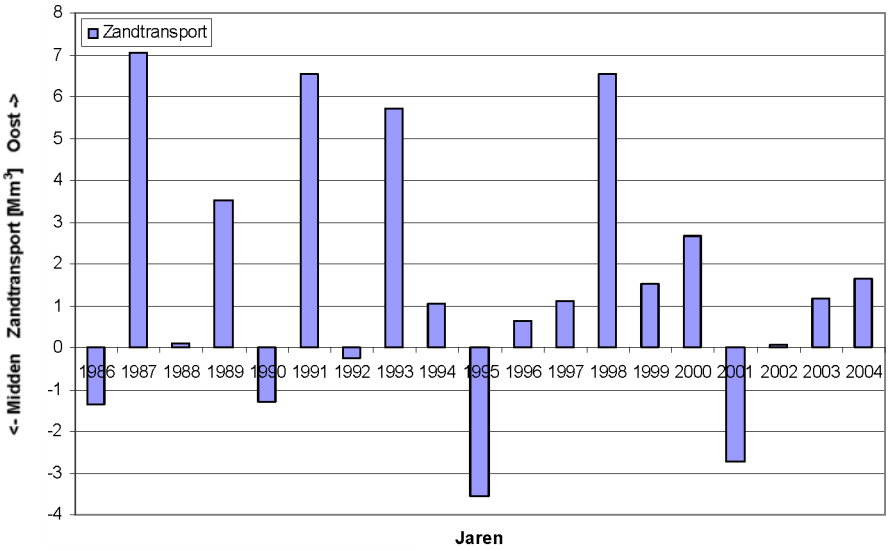
- De cumulatieve inhoudsveranderingen (ΔV_{tot}, zwarte lijn) ten opzichte van het referentievlak (3.50 m NAP). Een dalende lijn in de grafiek betekent een (gemiddelde) bodemdaling (erosie).
- Het saldo van de ingrepen (ΔV_i, blauwe stippellijn). Een dalende lijn betekent meer baggeren dan storten.
- De groene lijn is de opwaartse randvoorwaarde ter hoogte van de Belgisch/Nederlandse grens. In deze randvoorwaarde is zowel het transport naar de Zeeschelde als het transport naar "Het Verdronken Land van Saeftinge" begrepen. Een dalende lijn wijst op export vanuit de Westerschelde naar de Zeeschelde en Saeftinge.
- De rode lijn stelt de afwaartse randvoorwaarde voor (ter hoogte van de lijn Vlissingen-Breskens). Een stijgende lijn duidt op import in de Westerschelde vanuit het mondingsgebied een dalende lijn op export van de Westerschelde richting de monding.

HYPOTHESE T2: **Het netto sedimenttransport (getransporteerd door de natuur) van west naar oost neemt op lange termijn toe tot gemiddeld 4-6 Mm³/j**
Toelichting: Door het overschot aan sediment in het westelijk deel en een kleinere beschikbaarheid van sediment in het oostelijk deel, zal er transport van west naar oost (van vak 3 naar vak 2) plaatsvinden. Verwacht wordt dat het jaarlijkse zandtransport tussen de 2 en de 8 Mm³/j zal liggen (gemiddeld over langere periode 4-6 Mm³/j). Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de transporten zich ontwikkelen in dezelfde periode als de inhouden, en er dus een periode van 15 jaar bedoeld wordt, met 1996 als beginjaar (De Jong, 1997).

De getransporteerde hoeveelheden zand van midden (Macrocel 4) naar oost (Macrocel 5) is weergegeven in Figuur 2.6-6. Een positieve waarde betekent dat er zand van het midden deel naar het oostelijke deel

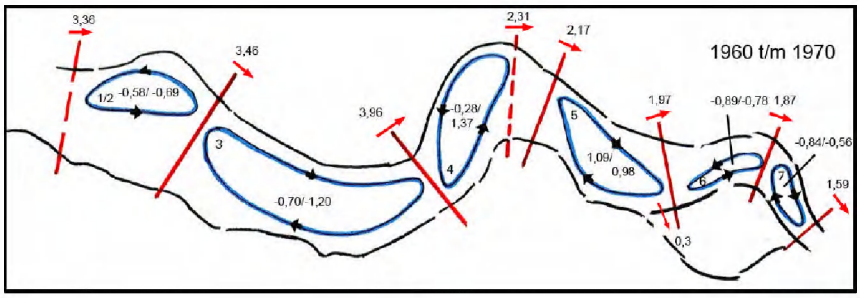
wordt getransporteerd, een negatieve waarde dat er van het oostelijk deel naar het midden deel wordt getransporteerd. Het is zeer duidelijk dat er voornamelijk transport van midden naar oost plaats vindt. De hoeveelheid transport van midden naar oost is voor de verruiming '48/'43 ongeveer gelijk aan het transport na de verruiming '48/'43.

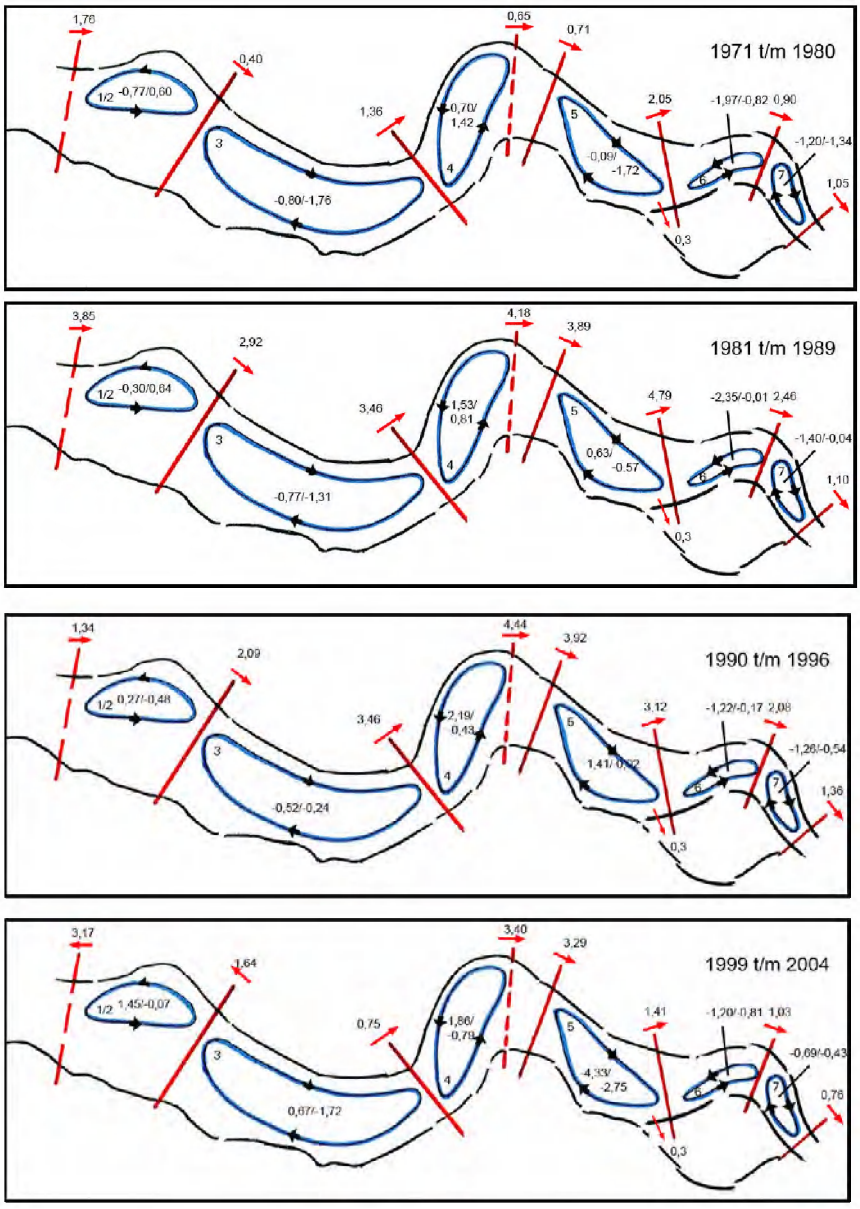
Figuur 2.6-6: Zandtransport van midden naar oost in de Westerschelde (Heacon, 2006).



Het zandtransport richting het oosten alleen geeft een eenzijdig beeld. Alle macrocellen zijn aan elkaar geschakeld. Op basis hiervan is voor verschillende periodes de zandbalans voor de gehele Westerschelde weergegeven (in Mm^3 per jaar) (Figuur 2.6-7). Op de scheidingslijnen is de uitwisseling tussen de opeenvolgende macrocellen aangeduid alsook de richting van het transport. In de cellen zelf is telkens het volume van de ingrepen weergegeven (linker waarde) samen met de volumewijziging van de cel (rechter waarde). Een negatieve waarde van de ingrepen betekent dat er per saldo zand uit de betreffende cel verdwijnt. Een negatieve waarde voor de volumewijziging van de cel geeft aan dat de bodem van de cel gemiddeld verlaagd is.

Figuur 2.6-7: ZandbaLans voor 6 periodes (Heacon, 2006).





Sinds 1997 is het transportgedrag in de Westerschelde gewijzigd. In de afwaartse zone (macrocel 1) is reeds transport in de richting van de monding. De omslag van import naar export verplaatst zich geleidelijk aan stroomopwaarts in de Westerschelde (Haecon, 2006).

Zoals ook onder hypothese T1 weergegeven, is de import tussen 1970 en 1990 vrij constant. Sinds 1994 is de import vanuit de mondingszone geleidelijk afgenomen en uiteindelijk omgeslagen naar een vrij aanzienlijke export gedurende de laatste jaren. Deze omslag heeft mogelijk te maken met de verdiepingen van de vaargeul en wijzigingen in het stort- en zandwinbeleid.

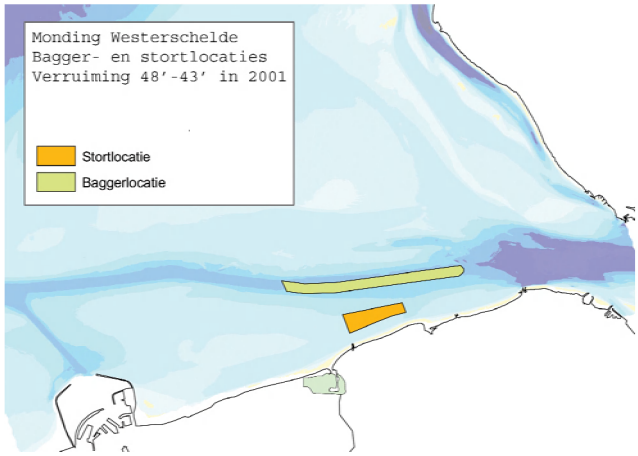
2.6.2.2 Baggerwerk

Er zijn twee verschillende hypothesen die de ontwikkeling van het aanleg- en onderhoudsbaggerwerk in de Westerschelde beschrijven. In de hypothese worden eigenlijk twee "verschillende" soorten kuubs

genoemd, de in situ kuubs ten westen van Vlissingen (ook wel profielkuubs genoemd) en de in de beun van het baggerschip gemeten kuubs ten oosten van Vlissingen (ook wel beunkuubs genoemd). De grootheden verschillen in de pakkingsgraad van het zand. Van het door een zuiger opgezogen bodemmateriaal (in situ kuubs) is de pakking minder dan van bodemmateriaal in het beun van een schip. Dit verschil wordt gesteld op 10%, 1 in situ kuub = 1,1 beunkuub. De baggergegevens worden veelal in beunkuubs aangeleverd[21].

HYPOTHESE T3: **Het aanlegbaggerwerk (op Nederlands grondgebied) bedraagt ten westen van Vlissingen maximaal 4 Mm^3 (in situ), ten oosten van Vlissingen maximaal 15 Mm^3 (in beun gemeten)**
Toelichting: Deze hoeveelheden zijn berekend uit een theoretisch profiel volgens het verdrag. In de praktijk kan een ander profiel ontstaan (De Jong, 1997).

De waarde van 4 Mm^3 in situ ten westen van Vlissingen (T3) moet omgerekend worden naar beunkuubs voor de toetsing, zodat alle waarden in de hypothesen beunkuubs bedragen. Dit betekent dat ten westen van Vlissingen het baggerwerk maximaal 4 * 1,1 = 4,4 Mm^3, gemeten in het beun mag bedragen.
In de monding van de Westerschelde is, in het kader van de verruiming 48'-43', in 2001 o.a gebaggerd in de Wielingen (Figuur 2.6-8). De baggerhoeveelheid bedroeg 1,3 Mm^3. Deze hoeveelheid is lager dan de 4 Mm^3 gesteld in de hypothese. Deze hoeveelheid is op de stortlocatie, aangegeven in de figuur, teruggestort.



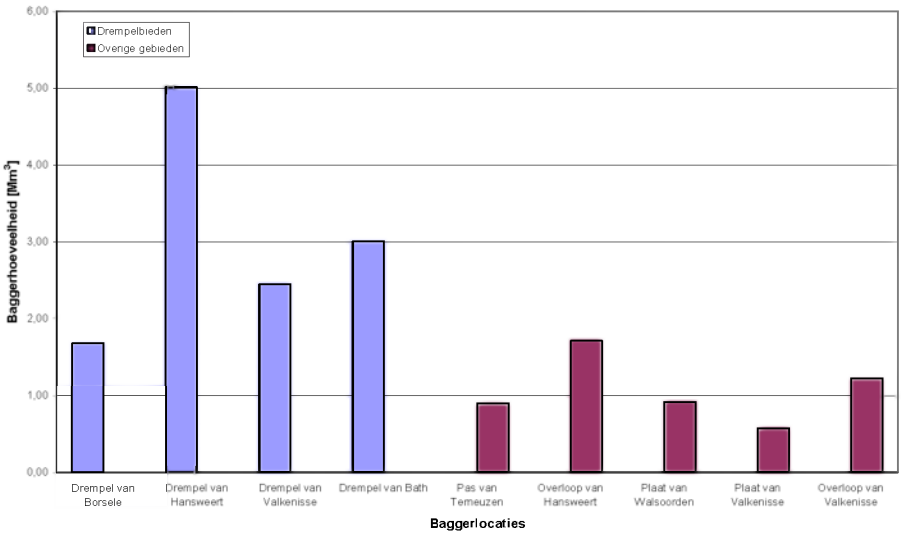
Figuur 2.6-8: Bagger – en stortlocatie (Wielingen) in de monding van de Westerschelde

Om de vaargeul ten oosten van Vlissingen op de gewenste diepte te brengen is in de periode juli 1997 tot en met juli 1998 gebaggerd op drempels en in overige gebieden. Dit zijn locaties waar voornamelijk gebaggerd is om de vaargeul te verbreden en niet per sé te verdiepen. In Figuur 2.6-9 zijn de hoeveelheden en locaties weergegeven. Er wordt hier alleen ingegaan op het aanlegbaggerwerk in de periode juli '97 tot

[21] Baggergegevens worden door de Dienstkring Noord en Midden Zeeland verkregen van de afdeling Maritieme Schelde van de Vlaamse Gemeenschap. De afdeling WVM van RWS Zeeland maakt de gegevens beschikbaar voor rapportage.

en met juli '98. Het overige baggerwerk is beschreven in hoofdstuk 2.12 Baggeren, storten en zandwinning. De totale hoeveelheid aanlegbaggerwerk heeft op de drempels 12,2 Mm^3 bedragen en in de overige gebieden 5,3 Mm^3. Hiermee is het aanlegbaggerwerk ten oosten van Vlissingen onder de 15 Mm^3 gebleven en komt dus overeen met de hypothese.

Figuur 2.6-9: Aanlegbaggerwerk voor de verruiming '48/'43 in de periode juli 1997 tot en met juli 1998.



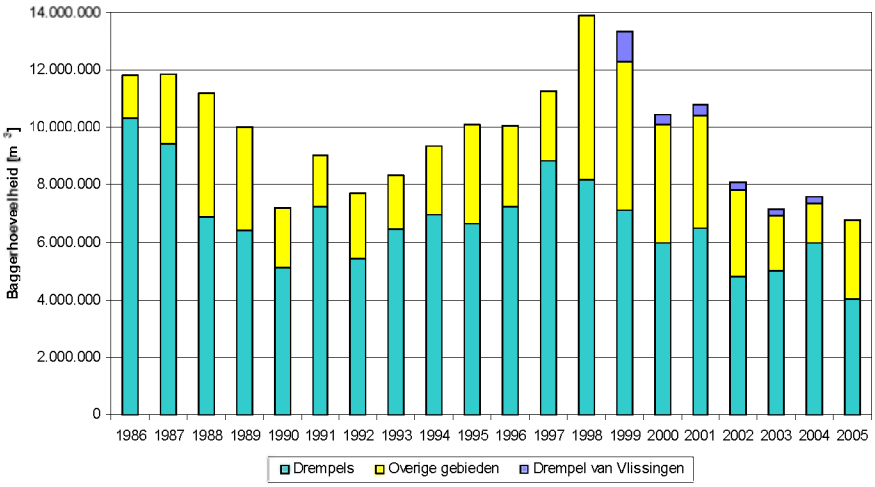
HYPOTHESE **T4: Het jaarlijks onderhoudsbaggerwerk na de verdieping (in beun gemeten) bedraagt ten westen van Vlissingen maximaal 1 Mm^3, ten oosten van Vlissingen maximaal 14 Mm^3.**
Toelichting: Deze hoeveelheden zijn gebaseerd op ervaringen uit de vorige verdieping (De jong, 1997).

De hypothese voor het onderhoudsbaggerwerk (T4) is gebaseerd op de gegevens van het onderhoudsbaggerwerk zoals die zijn waargenomen na de verdieping in de jaren '70. Voor het voorspellen van het onderhoudsbaggerwerk na de recente verruiming zijn de gemeten hoeveelheden onderhoudsbaggerwerk na de eerste verruiming (die behoorden bij een bepaalde aangebrachte verdieping van de vaargeul) geëxtrapoleerd naar baggerhoeveelheden behorend bij de verdieping die aangebracht is tijdens de verruiming '48/'43 (Technische Scheldecommissie, 1984). Voor een uitgebreidere beschrijving van de methodiek wordt verwezen naar De Jong (2000).

Het onderhoudsbaggerwerk op de drempels en in de overige gebieden is weergegeven in Figuur 2.6-10. Een specificatie van de baggerlocatie en de gebaggerde hoeveelheden is in hoofdstuk 2.12 Baggeren, storten en zandwinning verder weergegeven. In de jaren 1997 en 1998 is het aanlegbaggerwerk samen met het in die jaren uitgevoerde onderhoudsbaggerwerk weergegeven. Het onderhoudsbaggerwerk op de drempels blijkt voor en na de verruiming 48'/43' van dezelfde grootte te zijn (Kornman *et al.*, 2002). Deze constatering wat betreft het onderhoud op de drempels wordt ondersteund door een fysisch denkmodel. Uit een eerste verkennende toepassing is gebleken dat het onderhoudsbaggerwerk op de drempel niet meer zo zeer afhankelijk is

van de overdiepte maar meer van de verandering van het te onderhouden oppervlak (Wang en Jeuken, 2002).

Figuur 2.6-10: Onderhoudsbaggerwerk op de drempels, in de overige gebieden en bij Vlissingen



2.6.3. Conclusie zandtransporten

Tabel 2.6-1: Conclusies hypothesen: Zandtransporten

Hypothese		Opmerkingen
T1	Zandimport	Vanaf 1995 export richting de monding
T2	Zandtransport	Zandtransport richting oosten
T3	Aanlegbaggerwerk	Niet verwerpen
T4	Onderhoudsbaggerwerk	De hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk na de verruiming is gelijk aan de hoeveelheid ervoor.

In plaats van zandimport vindt er vanaf 1994 een zandexport naar de Noordzee plaats. Het zandtransport richting het oosten gaat onveranderd door. De zandbalans van de hele Westerschelde laat zien dat er een groter transport van het midden naar het oosten plaatsvindt dan van het westen naar het midden. Hierdoor treedt een tekort aan zand op in het midden.

Het aanlegbaggerwerk ten westen van Vlissingen is minder dan 4,4 Mm^3 en ten oosten van Vlissingen heeft het aanlegbaggerwerk op de drempels de 15 Mm^3 niet overschreden.
Het jaarlijkse onderhoudsbaggerwerk ten oosten van Vlissingen is niet hoger van 14 Mm3.

2.6.4. Discussie en aanbevelingen

Het zandwinbeleid is er op gericht om zoveel mogelijk de zandimport te volgen, m.a.w. er mag netto ongeveer net zo veel zand gewonnen worden als dat de Westerschelde van nature importeert. Dit idee gaat dus eigenlijk niet meer op. De gegevens laten zien dat de Westerschelde eigenlijk al sinds 1994 van een importerend naar een exporterend systeem is omgeslagen. Netto wordt er dus sediment uit de Westerschelde gehaald. Het zandwinbeleid wordt daarom ook aangepast.

In dit hoofdstuk is er gekeken naar het totale onderhoudsbaggerwerk. Hierdoor kunnen bepaalde morfologische ontwikkelingen over het hoofd gezien worden. In het hoofdstuk 2.12 Baggeren, storten en zandwinning wordt naar de afzonderlijke ontwikkeling van het onderhoudsbaggerwerk op de drempels alleen gekeken. Ontwikkelingen hierin zeggen meer over eventuele ontwikkelingen van het morfologisch systeem dan het totale onderhoudsbaggerwerk inclusief het werk langs de plaatranden. Verwacht wordt dat het onderhoudsbaggerwerk op de drempels, bij voortzetting van het huidige bagger- en stortbeleid, niet drastisch toe zal nemen. Het onderhoud langs de plaatranden kan daarentegen wel nog flinke fluctuaties vertonen.

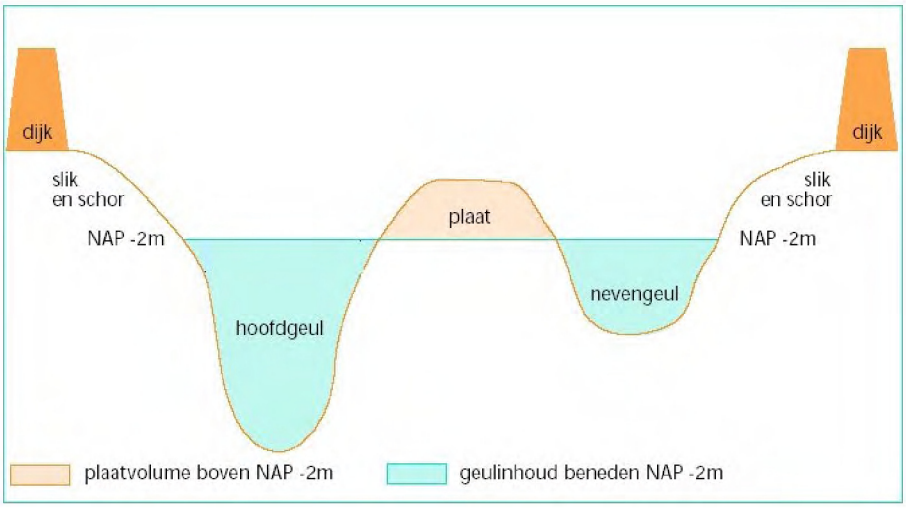
Uit de gegevens van volumes/inhouden, baggeren/storten en zandwinnen sinds 1955 is de conclusie getrokken dat vanaf enkele jaren vóór de verruiming, de Westerschelde netto sediment zeewaarts exporteert. Jarenlang onttrekken van zand aan het estuarium, direct door zandwinnen op de Westerschelde en indirect door continu export naar de Zeeschelde, zijn hier in belangrijke mate debet aan. Waarschijnlijk wordt dit transport versterkt door het westwaarts brengen van de gebaggerde specie. Deze ontwikkelingen zullen met het oog op behoud van het kustfundament nauwlettend moeten worden gevolgd.

2.7 Inhouden en volumes

In het plan van aanpak van de beoordeling van de effecten van verdieping 48'-43' is gesteld dat de ontwikkeling van de geul inhouden en plaat volumes van de diverse gebieden van belang zijn. De platen en geulen kunnen namelijk niet alleen in oppervlak (areaal) toenemen, maar ook in de hoogte respectievelijk diepte. De hypothesen doen uitspraken over de veranderingen van drie morfologische eenheden, het volume van platen en de inhoud van de hoofdgeul en de nevengeul. Voor de platen spreken we over volumeveranderingen; er wordt immers een verandering in de hoeveelheid zand boven NAP –2m bedoeld. Voor de geulen wordt gesproken over inhoudsveranderingen. Er wordt gekeken naar de inhoud onder NAP –2m van de geulen zelf en niet naar de hoeveelheid water.

De verschillende morfologische eenheden worden onderscheiden aan de hand van de ligging ten opzichte van NAP (Figuur 2.7-1)

- Plaat; boven NAP –2m omringd door geulen
- Hoofdgeul; onder NAP –2m
- Nevengeul; onder NAP –2m



Figuur 2.7-1: Schematische weergave van de morfologische eenheden waarvan de inhoud of het volume bepaald wordt.

De begrenzing tussen hoofdgeul en nevengeul is gebaseerd op de morfologische schematisatie die is opgesteld voor het maken van de zandbalans van de Westerschelde (Jeuken *et al*. 2002). In veel gevallen zijn de begrenzingen ontstaan door de hoogste ligging van de platen denkbeeldig met elkaar te verbinden. Soms zijn grenzen genomen door een loodrechte lijn op de oever. De gekozen schematisatie is een indeling met vaste begrenzingen. Het voordeel hiervan is dat bij het beschrijven van de morfologische ontwikkelingen deze altijd gebaseerd zijn op hetzelfde areaal. Het nadeel is dat door veranderingen in de morfologie hoofd- en nevengeulen in elkaar over kunnen gaan.

De inhoudsontwikkeling van de hoofd- en nevengeul is van belang voor de ecologie, scheepvaart en recreatie. De hoofdgeul die bevaarbaar is voor diepgaande schepen, bestaat uit: Pas van Rilland,

het Nauw van Bath, Overloop van Hansweert, het Zuidergat, het Gat van Ossenisse, de Pas van Terneuzen en de Honte. Dit is gezien vanaf de Belgische grens bij Bath in zeewaartse richting. De getijongebonden vaart heeft een maximale diepte van 11,6 m (rond –14 m NAP). De nevengeulen zijn alleen bevaarbaar voor kleinere schepen en afhankelijk van de diepgang zelfs soms onbevaarbaar.

De verwachting is dat de inhoudsveranderingen vooral worden veroorzaakt door het baggeren en storten. Zo wordt verwacht dat de nevengeulen waarin wordt gestort in inhoud zullen afnemen en dat de platen in de delen van de Westerschelde waar gestort wordt in volume zullen toenemen (dit geldt voor het westelijk – en middendeel van de Westerschelde). Uit de evaluatie van 2003 is reeds gebleken dat deze verwachting, wat betreft de platen in het westen, zeer waarschijnlijk niet juist is.
Tevens gaat men ervan uit dat de inhoud van de hoofdgeul door de verdieping 48'- 43' zal toenemen. Waarbij in het oostelijke deel het volume van de platen zal afnemen, aangezien in dat deel door het nieuwe stortbeleid nu juist minder gestort wordt. In het verlengde hiervan wordt van de nevengeulen in het oostelijk deel verwacht dat de inhoud toeneemt.

2.7.1. Data gebruik

De inhouden van de hoofdgeulen, nevengeulen en de volumes van de platen zijn voor de verschillende jaren m.b.v. een GIS-applicatie en de definitie van ondiepwater (-2 m tot –5 m NAP) berekend uit de vaklodingen van de Westerschelde en vervolgens in een database gezet. Zo nodig is geïnterpoleerd voor ontbrekende jaren en gebieden voor het verkrijgen van jaarlijkse gebiedsdekkende gegevens. De volumes en inhouden zijn vanuit de database ook weer geclusterd voor de drie systeemdelen, oost, midden en west.

De tijdreeks, die bij het opstellen van de hypothesen is gebruikt door Mol (1997) voor het beschrijven van de T_0 toestand, is aangepast. Deze aanpassing houdt in dat de gegevens zijn geconverteerd naar een schematisatie met vaste overgangen (-2 m en –5m). Dit is gedaan om de ontwikkelingen van de inhouden en volumes van de platen en de geulen beter te kunnen volgen. Aan de hand van de arealen is het effect van de herziening voor de opgestelde hypothesen bekeken. Hieruit is gebleken dat er geen grote verschillen optreden. Vanwege de relatie tussen arealen en inhouden en volumes is aangenomen dat deze conclusie ook geldt voor de inhouden en volumes.

2.7.2. Hypothesen

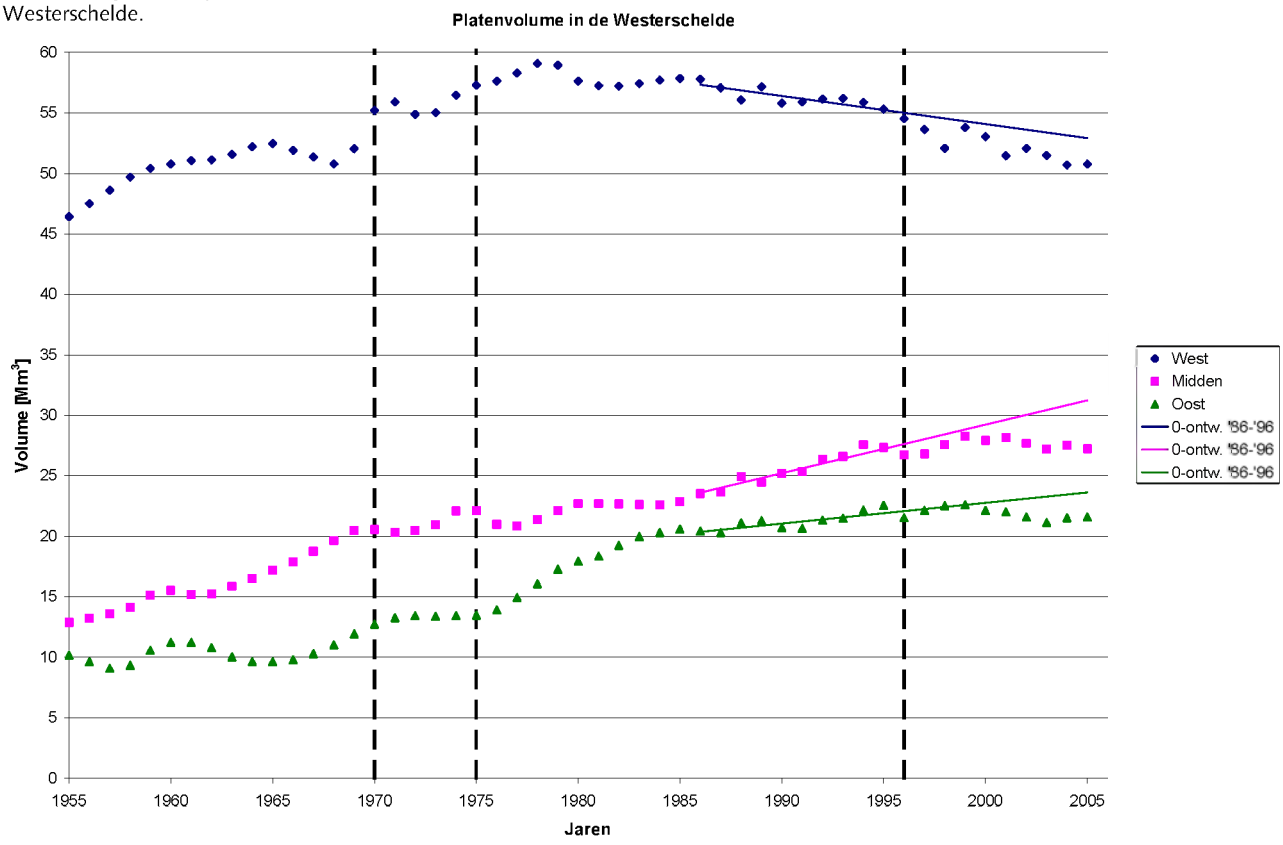
De hypothesen beschrijven de volumes van de platen en de inhouden van de hoofd- en nevengeulen. De volumes van de slikken en schorren zijn buiten beschouwing gelaten omdat hiervoor geen hypothese beschikbaar is. Dat wil niet zeggen dat in deze gebieden geen volumeveranderingen optreden. Ze zijn in deze beschouwing alleen niet meegenomen.

In de analyse wordt er vanuit gegaan dat de hypothesen de totale ontwikkeling ten opzichte van het referentiejaar (1996, T_0) voorspellen. De hypothesen zijn opgesteld voor de gebieden west, midden en oost (De Jong *et al*. 1997). Deze aanpak impliceert dat bij de toetsing een uitmiddeling plaatsvindt van de lokale veranderingen, waardoor de werkelijke absolute effecten zouden kunnen worden onderschat.

2.7.2.1 Volume platen

Er is een cluster van drie verschillende hypothesen dat de ontwikkeling van de inhoud van de platen (gebieden boven N.A.P. -2m en omringd door water) in het westelijk, midden en oostelijk deel van de Westerschelde beschrijft. Voor elk deelgebied is een nulontwikkeling bepaald van het volume van de platen op basis van de periode 1986-1996. De morfologische ontwikkelingen van de platen zijn echter langer dan de tien jaar waarop de nulontwikkeling gebaseerd is. Het is daarom belangrijk zowel de volumeontwikkelingen na de verruiming 48'/43' te vergelijken met de nulontwikkeling maar ook om lange termijn ontwikkeling vanaf 1955[22] in beschouwing te nemen.

Figuur 2.7-2: Lange termijn ontwikkeling van het plaat volume in de Westerschelde.



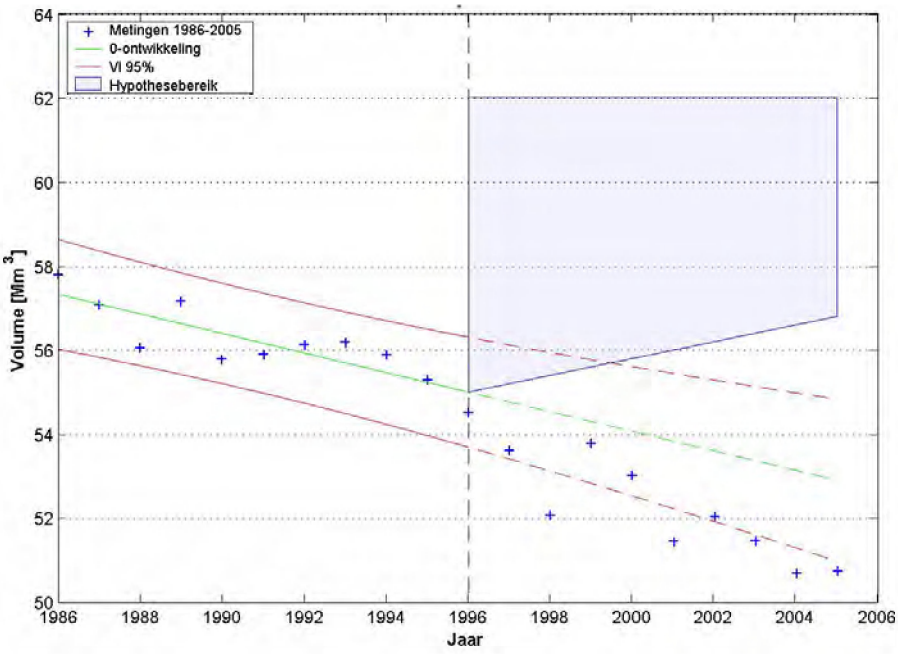
De lange termijn ontwikkeling van het plaatvolume in de Westerschelde is een toename (Figuur 2.7-2). In het midden en oosten van de Westerschelde komt de nulontwikkeling in deze gebieden zeer goed

[22] Vanaf 1955 zijn er voldoende gegevens beschikbaar om het volume van de platen te bepalen.

overeen met de lange termijn ontwikkeling, terwijl in het westen deze toename van het plaatvolume lijkt te zijn doorbroken. Deze is eind jaren '70 overgegaan in een daling. De nulontwikkeling van het plaatvolume is gebaseerd op de periode 1986-1996 en komt daarom overeen met de dalende ontwikkeling die sinds 1970 al zichtbaar is in het westen.

HYPOTHESE I1: Het plaatvolume (boven N.A.P. -2m) in het westelijk deel van de Westerschelde zal toenemen met 3-7 Mm^3.
Toelichting: Door de toename van de stortingen in het westelijke deel wordt hier een toename van het plaatvolume verwacht (De Jong, 1997).

De volumeontwikkeling van de platen in het westelijk deel van de Westerschelde laat in de periode 1986-1996 geringe schommelingen rond een dalende lineaire trend zien, welke aangenomen wordt als nulontwikkeling (Figuur 2.7-3).

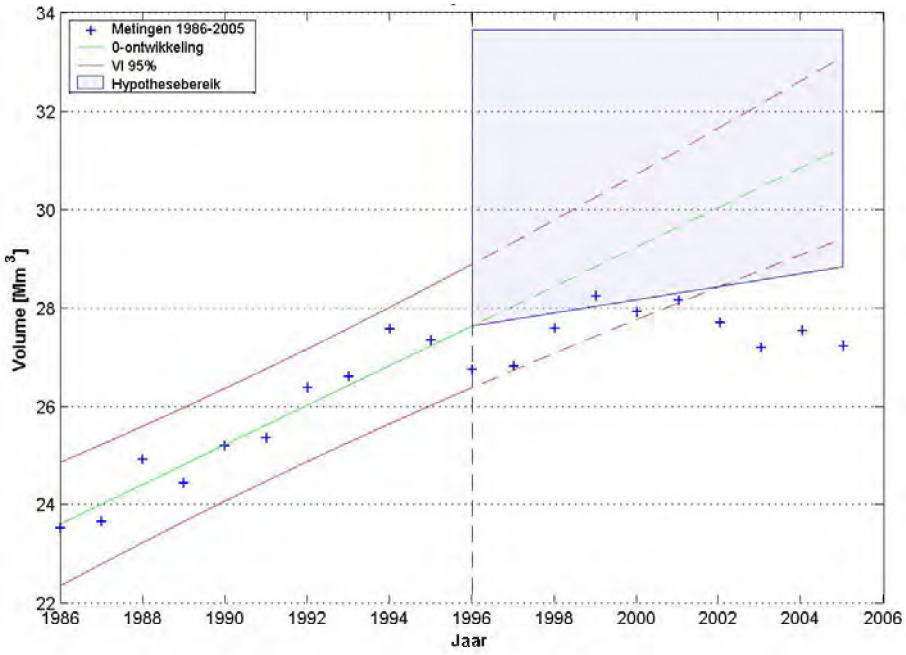


Figuur 2.7-3: Volumeontwikkeling van de platen in het westelijk deel van de Westerschelde. De onder- en bovengrens van de hypothese zijn resp. een toename van 3 Mm^3 over een periode van 15 jaar t.o.v. T_0 en max. 7 Mm^3

De hypothese voorspelt een toename van het plaatvolume. De boven- en ondergrens zijn respectievelijk gesteld op een toename van maximaal 7 Mm^3 en toename van 3 Mm^3 over een periode van 15 jaar ten opzichte van T_0. De metingen na 1996 laten juist een daling zien en liggen zelfs enigszins onder de nulontwikkeling. De metingen vallen tevens buiten het hypothesebereik. Er mag geconcludeerd worden dat de verhoogde stortingen in het westen niet geleid hebben tot een toename van het volume van de platen in het westelijk deel van de Westerschelde. De afname van het plaatvolume dient in de gaten gehouden te worden.

HYPOTHESE I2: Het plaatvolume (boven N.A.P. -2m) in het midden deel van de Westerschelde zal toenemen met 2-6 Mm³.
Toelichting: Deze toename is het gevolg van de verhoogde stortingen in het middendeel (De jong, 1997).

De nulontwikkeling, bepaald voor het plaatvolume in het midden van de Westerschelde, is een lineaire stijgende trend. Rond de nulontwikkeling zijn wat schommelingen te zien (Figuur 2.7-4). De metingen laten zien dat de toename van het plaatvolume na 1996 achter blijft bij de nulontwikkeling.



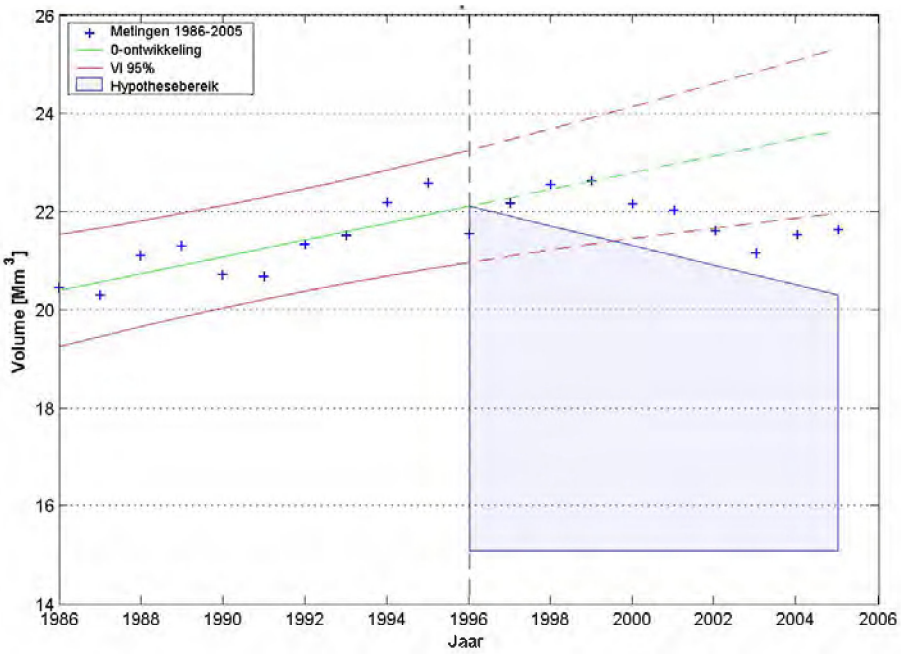
Figuur 2.7-4: Volumeontwikkeling van de platen in het midden van de Westerschelde. De onder- en bovengrens van de hypothese worden beschreven door resp. een toename van 2 Mm³ over een periode van 15 jaar t.o.v. T_0 en maximaal 6 Mm³.

De hypothese voorspelt een stijging van maximaal 6 Mm³ en minimaal 2 Mm³ over een periode van 15 jaar ten opzichte van T_0. De meetpunten liggen op één na onder de ondergrens van het hypothesebereik. Tevens wijken de metingen na 1996 af van de nulontwikkeling. Het ziet er naar uit dat de stijgende ontwikkeling in het volume onderbroken is en dat het volume vanaf 1996 enigszins constant blijft in de tijd.

HYPOTHESE I3: Het plaatvolume (boven N.A.P. -2m) in het oostelijk deel van de Westerschelde zal afnemen met 3-7 Mm³.
Toelichting: De verruiming van de geulen in het oostelijk deel zal leiden tot grotere erosie van de plaatranden (De Jong, 1997).

In het oostelijk deel van de Westerschelde wordt verwacht dat als gevolg van het verruimen van de hoofdgeul, door baggerwerkzaamheden en het verminderd storten in de nevengeulen, de stroomsnelheden in de geulen zullen toenemen. Hierdoor kunnen de plaatranden sneller eroderen waardoor het plaatvolume af zal nemen. De nulontwikkeling voor het plaatvolume in het oostelijk deel van de Westerschelde laat een stijging zien. Na 1996 neemt het plaatvolume af

en is er een duidelijke verandering ten opzichte van de nulontwikkeling te zien (Figuur 2.7-5).

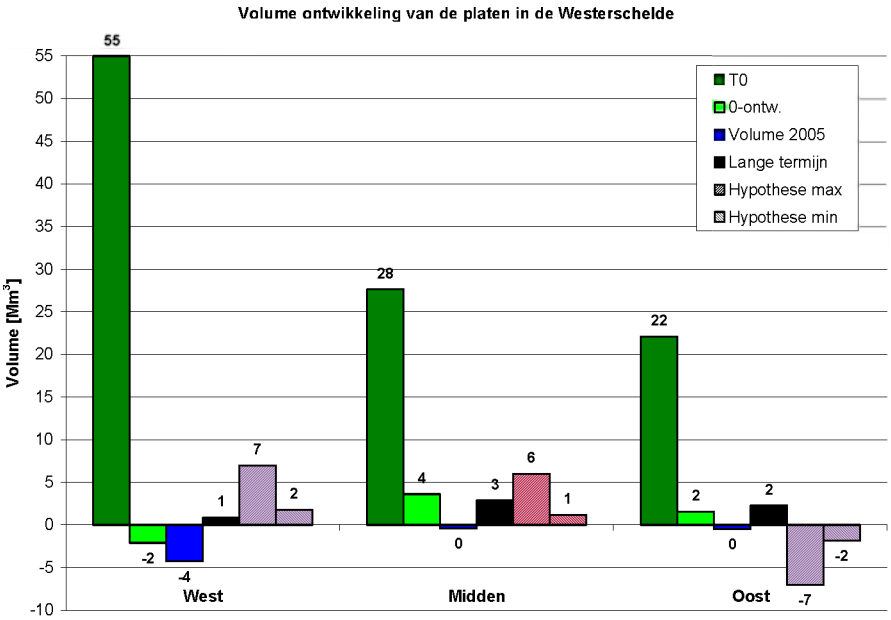


Figuur 2.7-5: Volumeontwikkeling van de platen in het oosten van de Westerschelde. De onder- en bovengrens van het hypothesebereik wordt bepaald door resp. een afname van 7 Mm^3 en een afname van 3 Mm^3 over en periode van 15 jaar t.o.v. T_0

De hypothese voorspelt een afname van maximaal 7 Mm^3 en minimaal 3 Mm^3 over een periode van 15 jaar ten opzichte van T_0. De voorspelde afname in het volume van de platen in het oosten is na 1996 wel opgetreden maar is minder groot dan verwacht. Hierdoor liggen alle metingen na 1996 net buiten het hypothesebereik. Daarnaast lijkt de afname niet door te zetten maar op een constant niveau te blijven, ongeveer gelijk aan het niveau rond 1996.
In de evaluatie van 2003 (Stikvoort *et al.*, 2003) werd geconcludeerd dat het onttrekken van sediment uit het oostelijk deel niet heeft geleid tot extra erosie van de platen. Er is nu, met 4 jaar extra gegevens, echter wel degelijk een verandering van het plaatvolume in het oosten van de Westerschelde te zien. De waarden na 2002 liggen ook buiten het 95% voorspelinterval.

Een overzicht van de ontwikkeling van het volume van de platen is weergeven in Figuur 2.7-6. Hieruit komt naar voren dat in het westen het volume in 2005 met 2 Mm^3 meer is afgenomen ten opzichte van 1996 dan vanuit de nulontwikkeling verwacht zou kunnen worden. In het midden en oosten is het volume ongeveer gelijk gebleven aan dat van 1996. Terwijl vanuit de nulontwikkeling en de lange termijn ontwikkeling een toename verwacht zou kunnen worden. Er is zowel in het midden als het oosten een verandering in het plaatvolume opgetreden al komt deze verandering in beide gebieden niet overeen met de hypothesen.

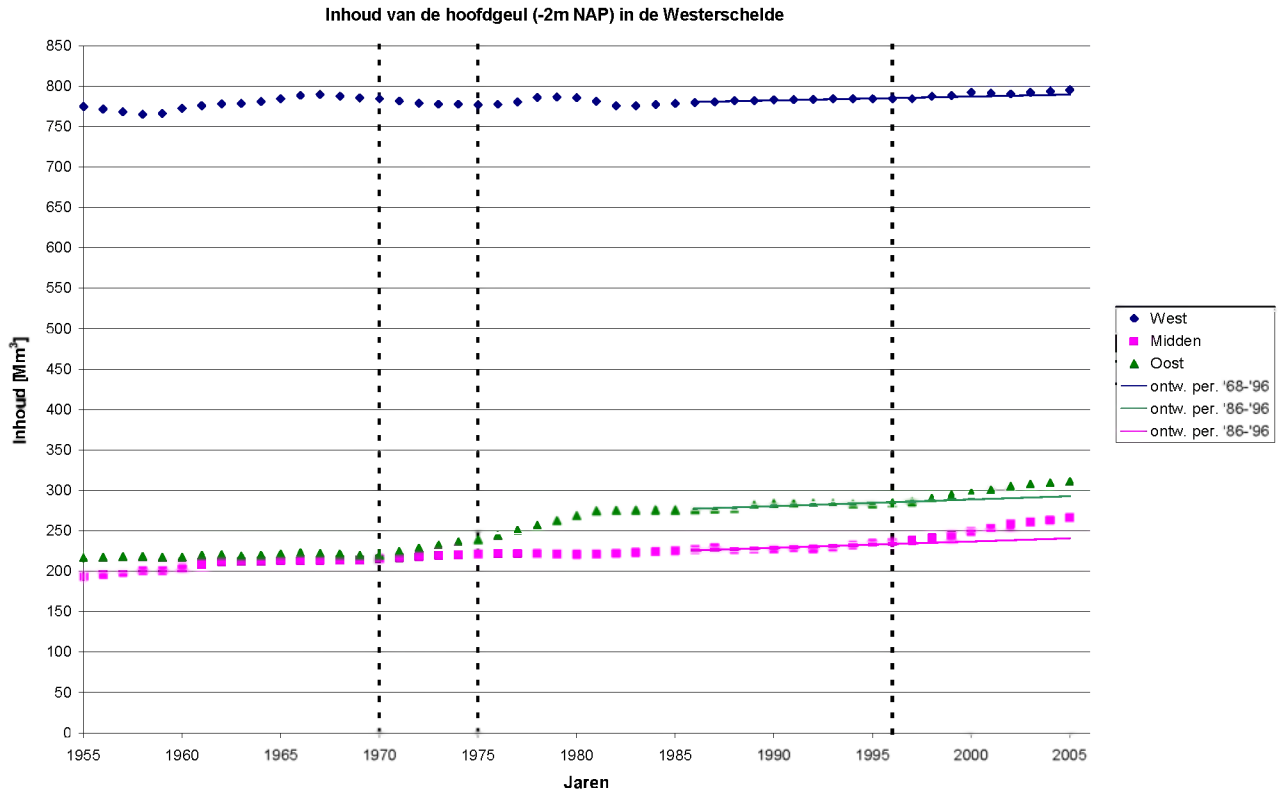
Figuur 2.7-6: Samenvatting van de verwachte en opgetreden volume ontwikkelingen van de platen in de Westerschelde ten opzichte van de T_0.



2.7.2.2 Inhoud hoofdgeulen

Er is een cluster van drie verschillende hypothesen die de ontwikkeling van de inhoud van de hoofdgeulen (gebieden onder N.A.P. -2m) voor het westelijk, midden en oostelijk deel van de Westerschelde beschrijven. Voor elk deelgebied is een nulontwikkeling bepaald van de inhoud van de hoofdgeul op basis van de periode 1986-1996.

Figuur 2.7-7: Lange termijn ontwikkeling van de inhoud van de hoofdgeulen in de Westerschelde

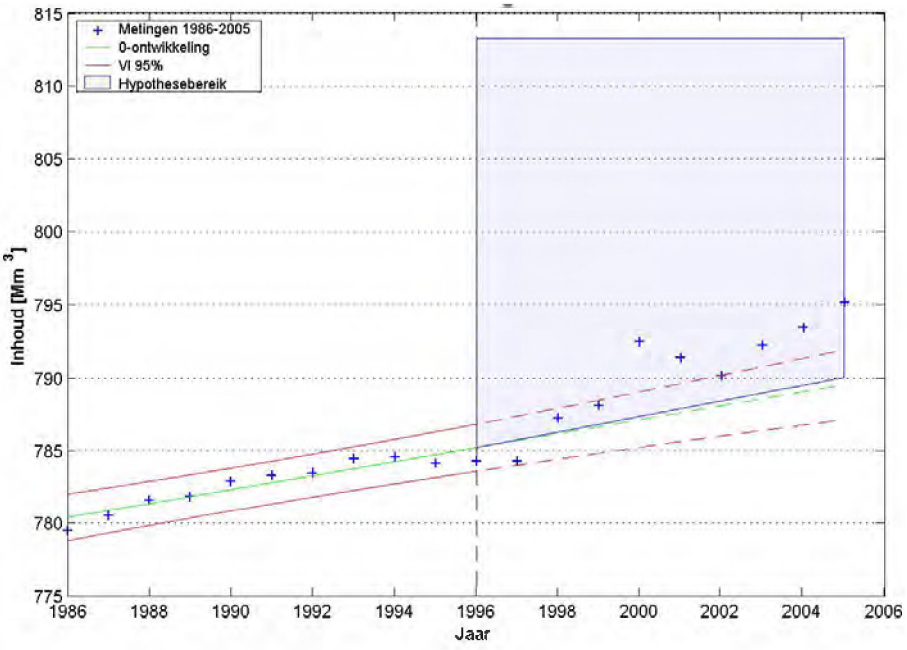


De morfologische ontwikkelingen van de geulen verlopen over een langere periode dan de tien jaar waarop de nulontwikkeling gebaseerd is. Het is daarom belangrijk zowel de inhoudsontwikkelingen na de verruiming 48'/43' te vergelijken met de nulontwikkeling als de lange termijn ontwikkeling vanaf 1955[23] in beschouwing te nemen.

De inhoudsontwikkelingen van de hoofdgeulen op lange termijn wijken niet erg af van de nulontwikkeling. In het oosten is de inhoud tussen 1970 en 1980 iets sterker gestegen dan in de periode erna (Figuur 2.7-7). Na 1996 lijkt er weer een extra toename op te treden. In de volgende hypothesen wordt hier verder op ingegaan.

HYPOTHESE I4: **Het watervolume onder N.A.P. -2m in de hoofdgeul van het westelijk deel van de Westerschelde zal toenemen met 8-28 Mm^3.**
Toelichting: Hoewel geen verandering in areaal geul in het westelijk deel wordt verwacht, wordt door verdieping van de geul (en eventuele verlenging) toch een toename van de inhoud verwacht (De Jong, 1997).

De nulontwikkeling van de inhoudsveranderingen van de hoofdgeul in het westen van de Westerschelde is gebaseerd op de periode 1986-1996 en komt goed overeen met de lange termijn ontwikkeling. De ontwikkeling is weergegeven met een lineaire trend (Figuur 2.7-8).



Figuur 2.7-8: Inhoudsontwikkeling van de hoofdgeul in het westelijk deel van de Westerschelde. Het hypothesebereik heeft een onder- en bovengrens van resp. 8 Mm^3 over 15 jaar t.o.v. T_0 en maximaal 28 Mm^3.

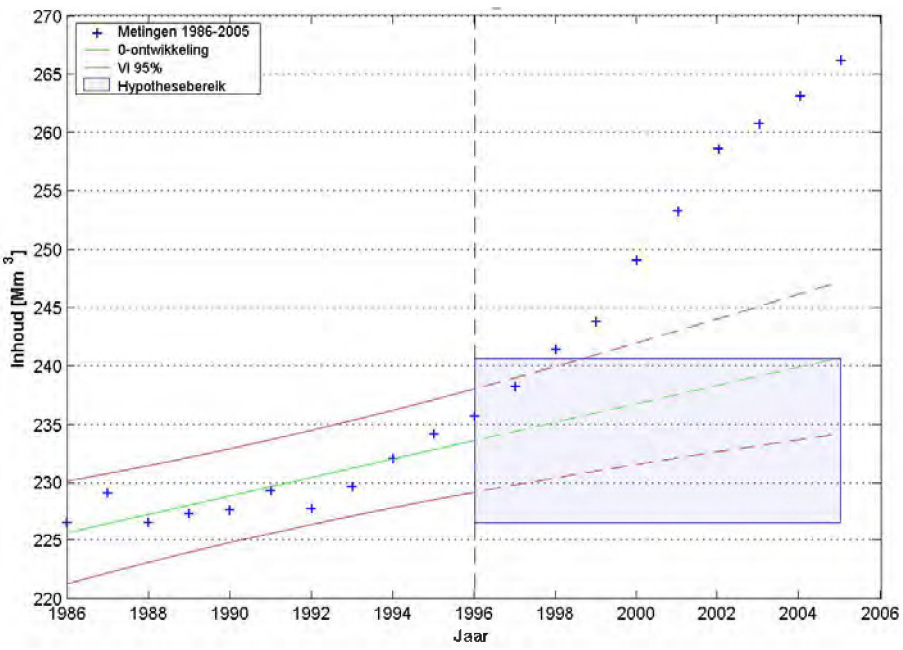
De hypothese verwacht een toename van de inhoud van de hoofdgeul in het westelijk deel van de Westerschelde van minimaal 8 Mm^3 over een periode van 15 jaar ten opzichte van T_0 tot maximaal 28 Mm^3. De meetpunten na 1996 wijken af van de nulontwikkeling en liggen binnen het hypothesebereik. Het ziet er naar uit dat de inhoud van de hoofdgeul in het westen van de Westerschelde als gevolg van de

[23] Vanaf 1955 zijn er voldoende gegevens beschikbaar om het volume van de platen te bepalen.

verruiming circa 1 procent extra is toegenomen zoals in de hypothese is verwacht. De waarden na het jaar 2000 liggen buiten het 95% voorspelinterval.

HYPOTHESE I6: Het watervolume onder N.A.P. -2m in de hoofdgeul van het midden deel van de Westerschelde zal gelijk blijven.
Toelichting: In de T_0-situatie (Mol, 1997) is er sprake van enige verruiming. Door stortingen in het midden deel zal deze verruiming worden tegengewerkt. Hierdoor wordt geen verdere verruiming verwacht. Door natuurlijke fluctuatie kan nog wel toe- of afname optreden van ca. 7 Mm3 (De Jong, 1997).

De nulontwikkeling welke gebaseerd is op de periode 1986-1996 is een stijgende lineaire trend (Figuur 2.7-9). De nulontwikkeling komt goed overeen met de ontwikkeling op lange termijn.



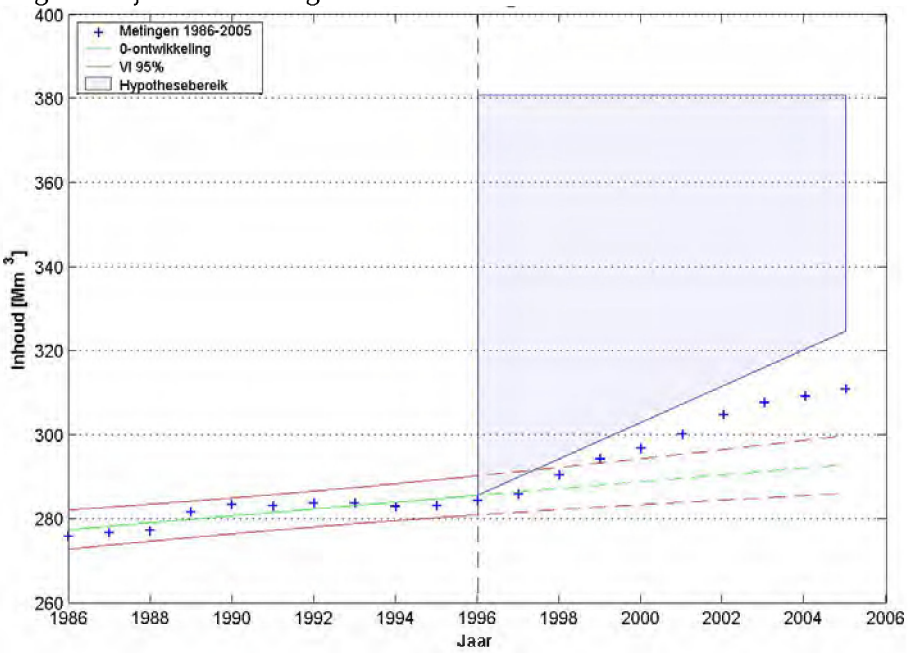
Figuur 2.7-9: Inhoudsontwikkeling van de hoofdgeul in het middendeel van de Westerschelde. De hypothese is gebaseerd om een gelijkblijvende inhoud vanaf T_0 met een natuurlijke fluctuatie van 7Mm^3.

De hypothese voorspelt een gelijkblijvende inhoud voor de hoofdgeul in het midden van de Westerschelde met een fluctuatie van ±7 Mm^3. Dit is als boven en ondergrens van de hypothese genomen.
De metingen laten geen gelijkblijvende inhoud zien maar na 1996 een sterke stijging ten opzichte van de nulontwikkeling. Tevens vallen de metingen ver buiten het 95% voorspelinterval en het hypothesebereik.

HYPOTHESE I8: Het watervolume onder N.A.P. -2m in de hoofdgeul van het oostelijk deel van de Westerschelde zal toenemen met 65-95 Mm^3.
Toelichting: Allereerst zullen de drempels worden verdiept. Na het verdiepen zal het getijvolume in het oostelijk deel toenemen. De geulen zullen zich na verloop van tijd aanpassen aan deze grotere hoeveelheden en zich verruimen (De jong, 1997).

De nulontwikkeling, gebaseerd op de periode 1986-1996 voor de inhoud van de hoofdgeul in het oosten van de Westerschelde laat en

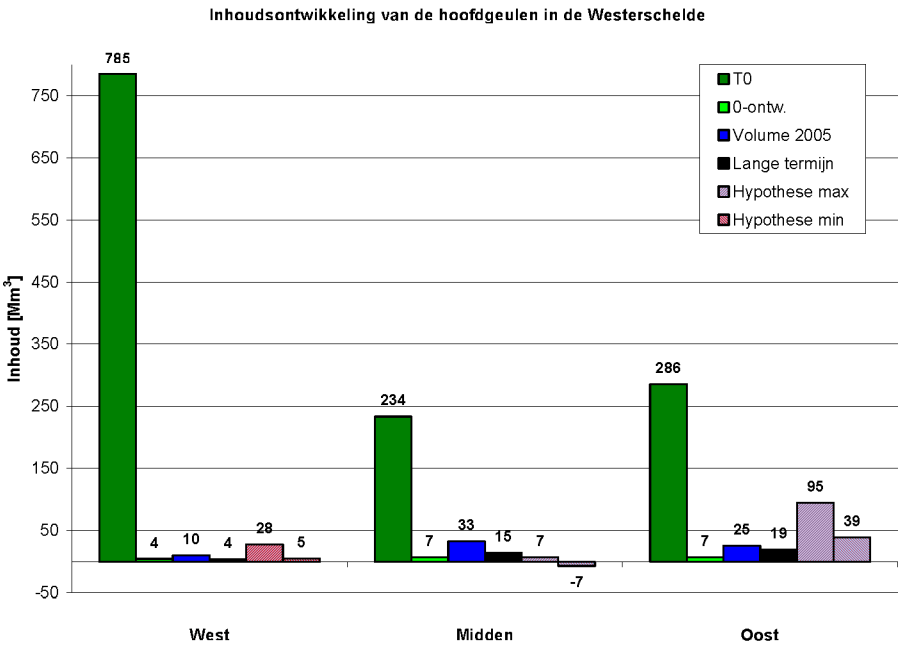
stijgend verloop zien (Figuur 2.7-10) en komt goed overeen met de lange termijn ontwikkeling.



Figuur 2.7-10: Inhoudsontwikkeling van de hoofdgeul in het oosten van de Westerschelde. Het hypothesebereik heeft een onder- en bovengrens van resp. T_0 + 65 Mm^3 over 15 jaar en T_0 + 95 Mm^3

De metingen laten na 1996 een stijging zien ten opzichte van de nulontwikkeling. Deze stijging is echter minder sterk dan wordt voorspeld in de hypothese maar ligt wel buiten het 95% voorspelinterval. De hypothese voorspelt een minimale toename van 65 Mm^3 over een periode van 15 jaar ten opzichte van T_0 en een maximum toename van 96 Mm^3.

Een overzicht van de ontwikkeling van de inhoud van de hoofdgeul is weergeven in Figuur 2.7-11. Hieruit komt naar voren dat in alle drie de gebieden de inhoud van de hoofdgeul in 2005 is toegenomen ten opzichte van 1996.



Figuur 2.7-11: Samenvatting van de verwachte en opgetreden inhoudsontwikkelingen van de hoofdgeulen in de Westerschelde ten opzichte van T_0.

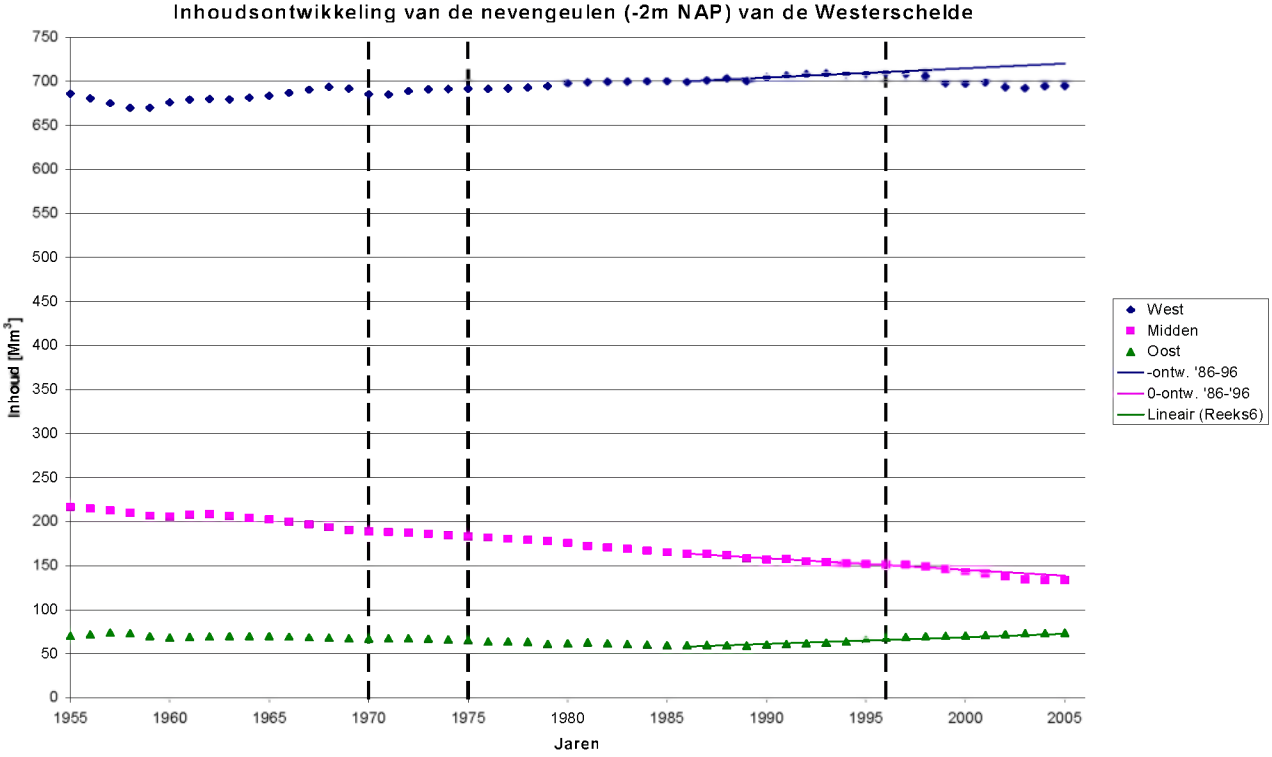
De toename in de drie gebieden is sterker dan vanuit de nulontwikkeling of de lange termijn ontwikkeling verwacht zou kunnen worden. Er is dan ook sprake van een trendbreuk in alle drie de gebieden. Wat opvalt is dat in het midden de stijging zeer groot is terwijl er een gelijkblijvende inhoud was verwacht. In het oosten wordt vanuit de hypothese een grotere toename van de inhoud verwacht dan wat in 2005 is waargenomen.

2.7.2.3 Inhoud nevengeulen

Er is een cluster van drie verschillende hypothesen dat de ontwikkeling van de inhoud van de nevengeulen (deel van de gebieden onder N.A.P. -2m) in de Westerschelde beschrijft. Voor elk deelgebied is een nulontwikkeling bepaald van de inhoud van de nevengeul op basis van de periode 1986-1996. De morfologische ontwikkelingen van de geulen verlopen over een langere periode dan de tien jaar waarop de nulontwikkeling gebaseerd is. Het is daarom belangrijk om zowel de inhoudsontwikkelingen na de verruiming 48'/43' te vergelijken met de nulontwikkeling als de lange termijn ontwikkeling vanaf 1955[24] in beschouwing te nemen.

De lange termijn ontwikkeling van de inhoud van de nevengeulen kent net als die van de hoofdgeulen een geleidelijk verloop (Figuur 2.7-12).

Figuur 2.7-12: Lange termijn ontwikkeling van de inhoud van de nevengeulen in de Westerschelde.



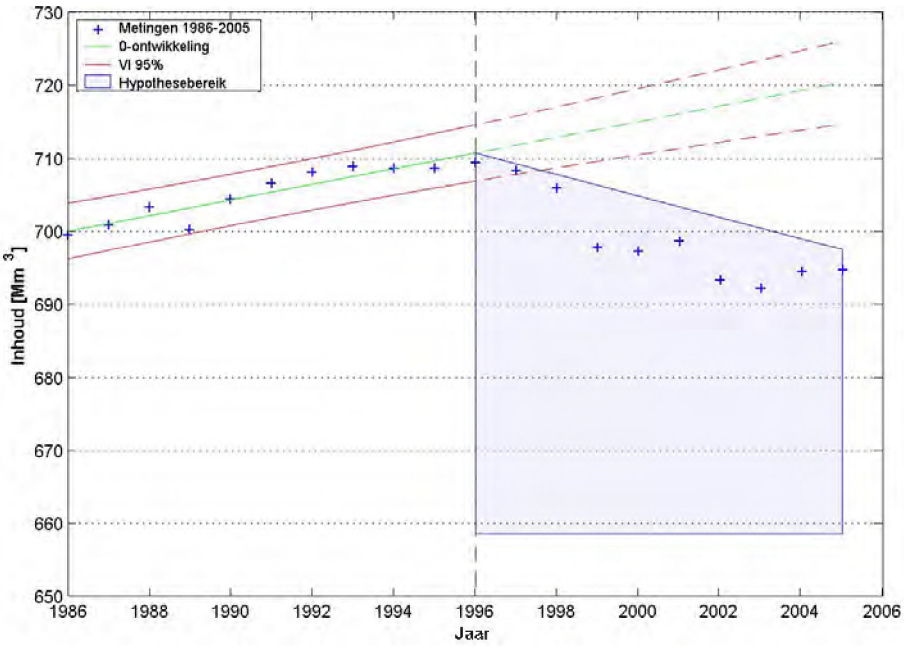
[24] Vanaf 1955 zijn er voldoende gegevens beschikbaar om het volume van de platen te bepalen.

Wat meteen opvalt is dat in het midden de inhoud van de nevengeulen op lange termijn afneemt terwijl deze in het oosten toeneemt.
In het westen is het verloop van de inhoud iets grilliger. Na 1970 is er een lichte stijging te zien die rond 1996 lijkt over te gaan in een lichte daling. In de volgende hypothese wordt hier verder op ingegaan om te zien of deze daling mogelijk het gevolg kan zijn van de extra stortingen in het westen.

HYPOTHESE I5: **Het watervolume onder N.A.P. -2m in de nevengeulen in het westelijk deel van de Westerschelde zal afnemen met 22-52 Mm^3.**
Toelichting: In de kortsluit- en nevengeulen in het westelijk deel zal in de toekomst (vanaf de verruiming in 1997) meer worden gestort. Dit zal leiden tot afname van de inhoud (De Jong, 1997).

Met ingang van de verruiming in 1997 is gestart met het nieuwe bagger- en stortbeleid. Hierdoor wordt er meer gestort in het westen zodat het sediment er langer over doet om weer in het oosten terecht te komen en er minder onderhoudsbaggerwerk uitgevoerd hoeft te worden. Uit de zandbalans (Hoofdstuk 2.6) blijkt dat deze retourstroom niet op gang gekomen is.

De inhoud van de nevengeulen in het westelijk deel van de Westerschelde heeft een stijgende lineaire nulontwikkeling, welke gebaseerd is op de periode 1986-1996 (Figuur 2.7-13). Na 1996 is er een duidelijke verandering te zien van de inhoud van de nevengeulen ten opzichte van de nulontwikkeling. Er is sprake van een trendbreuk.



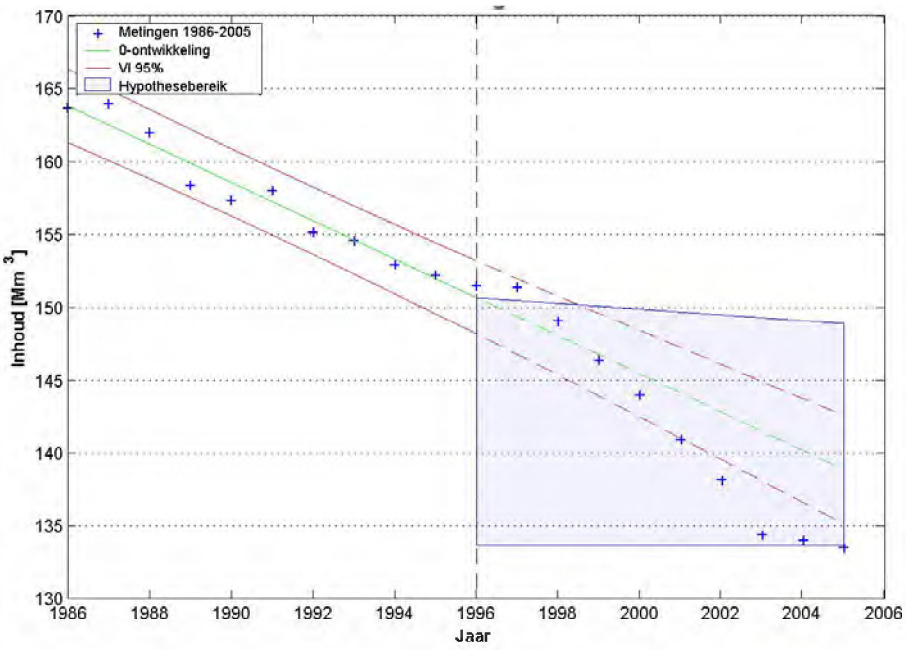
Figuur 2.7-13: Inhoudsontwikkeling van de nevengeul in het westen van de Westerschelde. De hypothese wordt bepaald door een onder- en bovengrens van resp. T_0 – 22 Mm^3 verspreid over 15 jaar en T_0 – 53 Mm^3

De metingen na 1996 vallen buiten het 95% voorspelinterval en binnen het hypothesebereik, die een afname voorspelt voor de inhoud van de nevengeul in het westen van de Westerschelde van minimaal 22 Mm^3 over een periode van 15 jaar en een maximum afname van 53 Mm^3. De verwachting dat er een afname zal plaatsvinden van de inhoud aan

nevengeul in het westelijk deel als gevolg van de toegenomen stortingen lijkt tot nu toe te kloppen.

HYPOTHESE I7: Het watervolume onder N.A.P. -2m in de nevengeulen in het midden deel van de Westerschelde zal afnemen met 3-17 Mm³.
Toelichting: Door toename van stortingen in het midden deel zal de inhoud van de nevengeulen afnemen (De Jong, 1997).

De nulontwikkeling voor de inhoudsontwikkeling van de nevengeulen in het midden van de Westerschelde is een lineaire trend gebaseerd op 1986-1996.



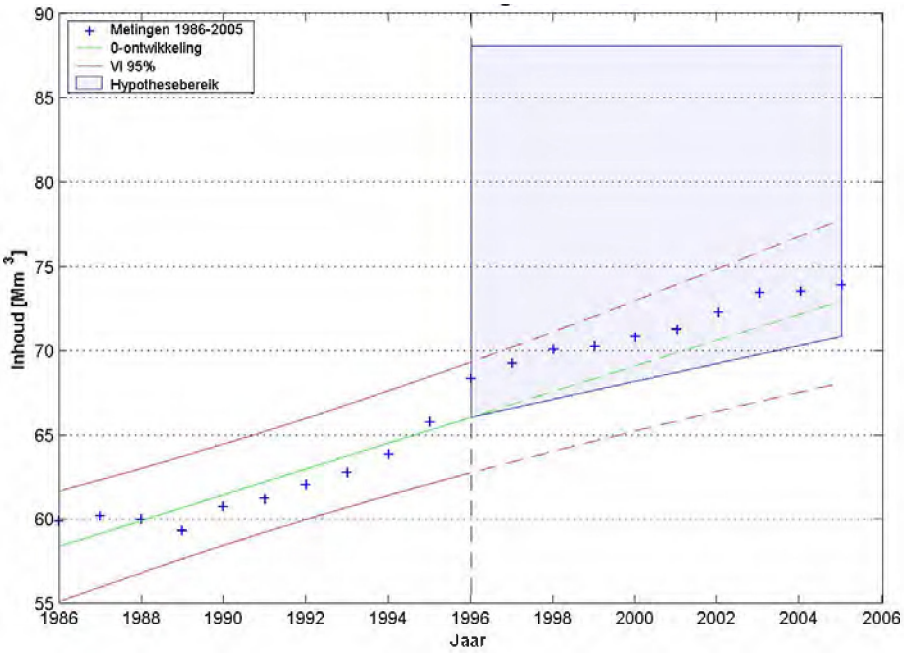
Figuur 2.7-14: Inhoudsontwikkeling van de nevengeul in het midden van de Westerschelde. De hypothese wordt bepaald door een onder- en bovengrens van resp T_0 – 3 Mm³ over 15 jaar en T_0 – 17 Mm³

De metingen laten een afwijking ten opzichte van de nulontwikkeling zien. De metingen vallen na 2001 buiten het 95% voorspelinterval en binnen het hypothesebereik, welke bepaald wordt door een minimale afname van 3 Mm³ over een periode van 15 jaar ten opzichte van T_0 en een maximale afname van 17 Mm³. Opvallend is dat deze daling zich doorzet tot aan de ondergrens van de hypothese. Vanaf 2002 lijkt de inhoudsafname minder sterk te worden. Dit zou verband kunnen houden met de stortingen in het middengebied die ook vanaf 2002 zijn afgenomen (Figuur 2.12-13). Op dit moment is de tijdreeks na 1996 echter nog te kort om te zien of deze tendens zich zal doorzetten.

HYPOTHESE I9: Het watervolume onder N.A.P. -2m in de nevengeulen in het oostelijk deel van de Westerschelde zal toenemen met 8-22 Mm³.
Toelichting: In het oostelijk deel wordt in de toekomst (vanaf de 2e verruiming in 1997) minder gestort. Hierdoor zullen de neven- en kortsluitgeulen zich verruimen (De Jong, 1997).

Het volume in de nevengeul in het oostelijk deel van de Westerschelde ligt na 1996 iets boven de nulontwikkeling (Figuur 2.7-15) en valt binnen het hypothesebereik. De waarden vallen ook binnen het 95% voorspelinterval. Het hypothesebereik wordt bepaald door een

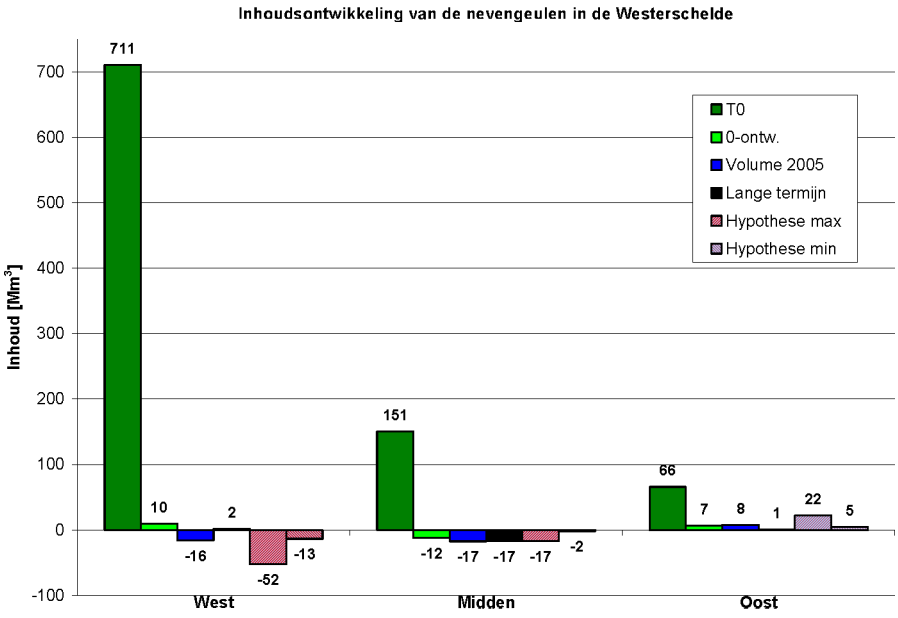
minimale toename van 8 Mm^3 over een periode van 15 jaar ten opzichte van T_0 en een maximale toename van 22 Mm^3.



Figuur 2.7-15: Inhoudsontwikkeling van de nevengeul in het oosten van de Westerschelde. Het hypothesebereik wordt bepaald door een onder – en bovengrens van resp. T_0 + 8 Mm^3 verspreid over 15 jaar en T_0 + 22 Mm^3

Vóór 1996 werd voornamelijk teruggestort in de nevengeul. Op een gegeven moment was er niet voldoende ruimte in de nevengeulen over om te storten, zodat het stortbeleid al vóór 1996 aangepast diende te worden en de stortingen zijn verplaatst naar het westen. Vanaf 1998 wordt er nog maar gemiddeld 1 Mm^3 per jaar gestort in het oostelijke deel van de Westerschelde, de rest wordt in het midden en westen gestort (Figuur 2.12-12).

Een overzicht van de ontwikkeling van de inhoud van de nevengeul is weergeven in Figuur 2.7-16.



Figuur 2.7-16: Samenvatting van de verwacht e en opgetreden inhoudsontwikkelingen van de nevengeulen in de Westerschelde ten opzichte van T_0.

Hieruit komt naar voren dat in het westen een afname van de inhoud in 2005 ten opzichte van 1996 heeft plaatsgevonden welke overeenkomt met de verwachting maar tegengesteld is aan de nulontwikkeling en de lange termijn ontwikkeling. Dit kan een gevolg zijn van de stortingen in het westen. In het midden en oosten zijn de ontwikkelingen meer in lijn met de nulontwikkeling, de lange termijn ontwikkeling en de verwachting vanuit de hypothese.

2.7.3. Conclusie inhouden en volumes

Aan de hand van de meetresultaten en de vooraf gestelde hypothesen is een beeld verkregen van de geulinhouden en plaatvolumes in de Westerschelde. In Tabel 2.7-1 is een overzicht gegeven van de resultaten.

Tabel 2.7-1: Conclusie hypothese: Inhouden en volumes

Hypothese		Nulontwikkeling	Binnen Voospelineterval?	Hypothese			Opmerkingen
				Binnen hypothesebereik?	Ontwikkeling in de richting van de hypothese?	Verwerpen?	
I1	Platen west	Dalend	Deels	Nee	Nee	Ja	Afname i.p.v. van verwachte toename
I2	Platen midden	Stijgend	Vanaf 2002 niet meer	Nee	Nee	Ja	Afname t.o.v. 0-ontwikkling i.p.v. toename
I3	Platen oost	Stijgend	Vanaf 2002 niet meer	Nee	Ja	Ja	Afname minder sterk dan verwacht.
I4	Hoofdgeul west	Stijgend	Vanaf 2000 niet meer	Ja	Ja	Nee	Meetpunten binnen hypothesebereik
I6	Hoofdgeul midden	Stijgend	Nee	Nee	Nee	Ja	Toename i.p.v. gelijkblijvende inhoud
I8	Hoofdgeul oost	Licht stijgend	Nee	Nee	Ja	Ja	Toename minder dan verwacht.
I5	Nevengeul west	Stijgend	Nee	Ja	Ja	Nee	Metingen binnen hypothesebereik
I7	Nevengeul midden	Dalend	Vanaf 2001 niet meer	Ja	Ja	Nee	Daling gaat door het maximum gesteld door de hypothese
I9	Nevengeul oost	Stijgend	Ja	Ja	Ja	Niet toetsbaar	Metingen binnen hypothesebereik en VI 95%

Volume platen

De platen in de Westerschelde lijken minder sterk te reageren op de verruiming '48-'43 dan vanuit de hypothesen verwacht werd. Er zijn echter wel trendbreuken opgetreden. De verwachte toename in plaatvolume als gevolg van het verhoogde aantal stortingen in het westen lijkt niet te zijn opgetreden. Er vindt juist een extra afname van het plaatvolume in het westelijk deel van de Westerschelde plaats. Ook in het midden van de Westerschelde is het aantal stortingen verhoogd waardoor ook hier een toename in het plaatvolume is verwacht. Ten opzichte van de nulontwikkeling is er sprake van een afname van het plaatvolume.
In het oosten van de Westerschelde daalt het plaatvolume ten opzichte van de nulontwikkeling. Dit wordt ook verwacht vanuit de hypothese.

De werkelijke afname ten opzichte van T_0 is minder sterk dan de verwachte afname. Het kan zijn dat andere effecten zoals zeespiegelstijging, zandexport of zandwinning een sterkere rol spelen in de volumeveranderingen van de platen dan de verruiming en het bagger- en stortbeleid. In het hoofdstuk 2.6 zandtransporten wordt hier verder op ingegaan.

Inhoud hoofdgeul
De ontwikkelingen in de inhoud van de hoofdgeulen volgen, behalve voor het middendeel, redelijk de voorspelling. De effecten van het baggeren en storten zijn in de hoofdgeulen directer merkbaar dan in de nevengeulen. De gemeten inhoudstoename van de hoofdgeul in het westelijk deel van de Westerschelde komt overeen met de hypothese. De verwachte demping van de natuurlijke verruiming van de inhoud van de hoofdgeul in het midden van de Westerschelde als gevolg van stortingen, waardoor er na 1996 een gelijkblijvende inhoud zou ontstaan, is niet opgetreden. De inhoud is juist sterk toegenomen. Mogelijk is het effect van het stortbeleid in de beschouwde periode hier minder dominant dan de natuurlijke ontwikkeling van de hoofdgeul.
In het oosten is de inhoud extra toegenomen ten opzichte van de nulontwikkeling. Alleen is deze inhoudstoename kleiner dan de toename welke als gevolg van het verwijderen van de drempels en het daardoor toenemen van het getijvolume verwacht werd.

Inhoud nevengeul
De ontwikkeling van de nevengeulen volgen in alle delen (west, midden oost) de voorspelling. De inhoudsontwikkeling van de nevengeulen in het westen van de Westerschelde laat een daling zien welke volgens de hypothese gebaseerd is op de toegenomen stortingen in de nevengeulen. In het hoofdstuk zandtransporten wordt verder ingegaan op de precieze stortingen en kan beter aangegeven worden of deze veronderstelling klopt.
In het midden van de Westerschelde treedt een sterkere afname van de inhoud van de nevengeulen op dan werd verwacht. Het is nog niet duidelijk of de maximum afname is bereikt.
De inhoudstoename van de nevengeulen in het oosten van de Westerschelde, als gevolg van de afname van het aantal stortingen, ontwikkelt zich als verwacht. Na 1997 is er in het oosten minder gestort in de nevengeulen. Dit is ook terug te zien in de lichte toename van de inhoud van de nevengeulen in het oosten na 1997.

2.7.4. Discussie en aanbevelingen
Er zijn een aantal ontwikkelingen die duidelijk anders zijn gelopen dan men verwacht had. De ontwikkeling van de platen in het westen van de Westerschelde is zeer opmerkelijk. Volgens de hypothese wordt ervan uit gegaan dat er een toename in het plaatvolume zou moeten plaatsvinden als gevolg van de extra stortingen in het gebied. De metingen laten juist een afname van het plaatvolume zien. Het zou zo kunnen zijn dat de afname van de platen een mogelijk verband hebben met de ingezette ontwikkeling dat de Westerschelde exporterend geworden is. Ook de platen in het midden laten een afname ten opzichte van de nulontwikkeling zien waar juist een toename als gevolg

van het stortbeleid verwacht werd. Uit de zandbalans komt naar voren dat het transport van het westen naar het midden is afgenomen terwijl het transport van het midden naar het oosten gelijk is gebleven (Haecon, 2006).

De inhoud van de hoofdgeulen in het oosten en westen is toegenomen wat ook te verwachten is op basis van het bagger- en stortbeleid, zij het dat in het oosten een minder sterke inhoudstoename heeft plaatsgevonden dan verwacht. Wat wel opmerkelijk is, is dat er in het middendeel een sterke toename van de inhoud van de hoofdgeul heeft plaats gevonden terwijl hier eigenlijk niet veel veranderingen werden verwacht.

Bij de hypothesen is uitgegaan van een bepaalde hoeveelheid bagger- en stortwerk om de verruiming 48' –43' te verwezenlijken. In werkelijkheid is de totale hoeveelheid baggerwerk minder geweest. Dit kan betekenen dat hierdoor de effecten op de ontwikkeling minder groot zijn. In de hypothesen is hiermee geen rekening gehouden. Het zou kunnen zijn dat de voorspelling daarom meer bij de ondergrens moet liggen dan bij de bovengrens, hetgeen ook uit de resultaten blijkt.

De inhoud- en volumeontwikkelingen van de geulen en platen zijn samengevoegd in drie clusters, oost, midden en west. Deze indeling is nogal grof. Een indeling op basis van morfologische macrocellen is aan te bevelen.

Voor de ecologie is het vooral van belang hoe de platen zich ontwikkelen. De inhoudsveranderingen van de platen zijn hier per deelgebeid beschreven waardoor de ontwikkelingen van specifieke platen zelf niet in beeld worden gebracht. Het is vanuit de ecologie wenselijk hier meer aandacht aan te besteden.

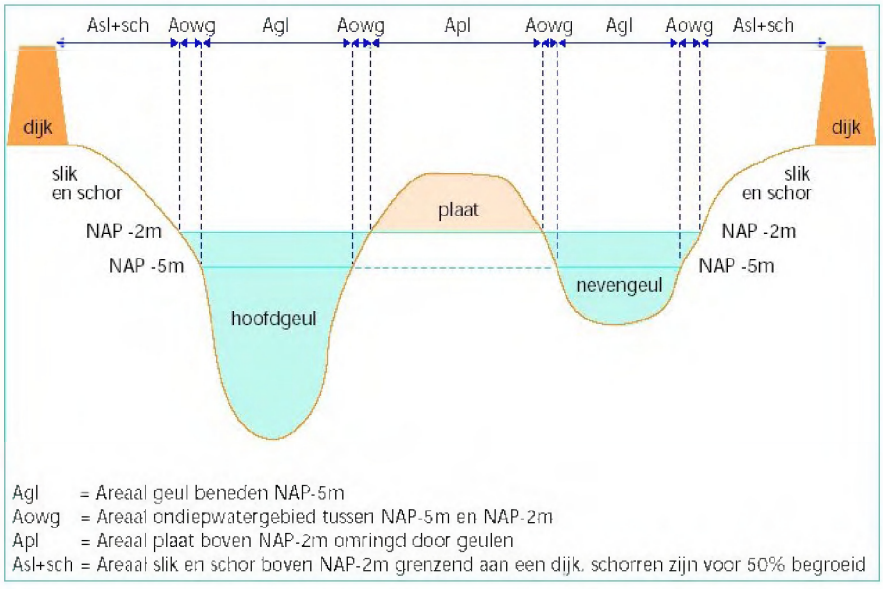
2.8 Arealen

Het areaal platen, slikken en schorren en andere morfologische eenheden zoals ondiepwater en geulen zijn van belang voor het ecologisch functioneren van de Westerschelde. Veranderingen hierin hebben effect op de ecotooparealen die een randvoorwaarde zijn voor de ecologie. De relatie tussen het areaal van een morfologische eenheid of ecotoop en de geschiktheid van het gebied voor dieren en planten die erop leven wordt de ecotopenbenadering genoemd. Via deze benadering kunnen veranderingen in de fysica doorvertaald worden naar effecten voor de leefgebieden voor organismen.

Voor de hypothesen worden de arealen slikken, schorren en ondiepwater bekeken. De bepaling van het areaal voor deze hypothesen gebeurt op een andere wijze dan de bepaling van het areaal voor de ecotopenbenadering. De volgende definitie van de arealen is hier aangehouden (zie Figuur 2.8-1):

- De *schorren* zijn de buitendijkse gebieden, die voor meer dan 50% zijn begroeid.
- De *slikken* zijn de buitendijkse gebieden boven N.A.P. -2 m en grenzend aan een dijk of het schor.
- Het areaal ondiepwater bevindt zich tussen N.A.P. -2m en N.A.P. -5m.
- Het areaal *geulen* zijn de gebieden onder N.A.P. -5m.
- Het areaal *platen* zijn de gebieden boven N.A.P. -2m, omringd door geulen.

De overgangen N.A.P. –2 m en N.A.P. –5 m zijn pragmatische keuzes om het gebied in vaste morfologische eenheden te kunnen schematiseren. De ecotopenbenadering maakt gebruik van een andere schematisatie.

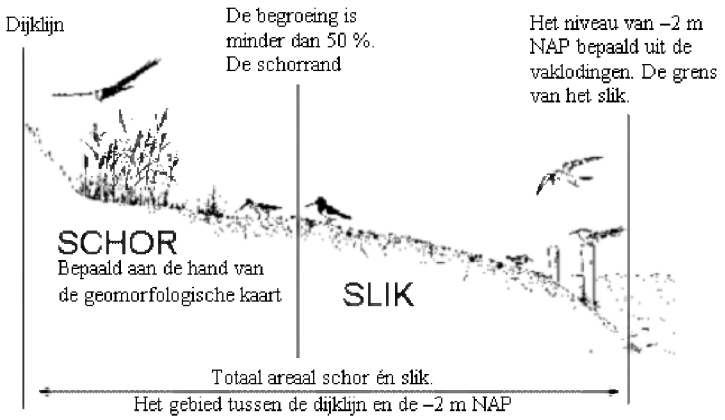


Figuur 2.8-1: Schematische weergave van de arealen:, schor en slik, geulen, ondiepwater en platen

2.8.1. Datagebruik

De arealen ondiepwater, geulen en platen zijn bepaald m.b.v. een GIS-applicatie uit de vaklodingen van de Westerschelde en de definitie van ondiepwater. Zo nodig is er geïnterpoleerd voor het verkrijgen van een jaarlijkse waarde. De arealen zijn vanuit de database ook weer geclusterd voor de drie systeemdelen, oost, midden en west.

De basis van de data voor het bepalen van de arealen schor en slik vormen de geomorfologische kaarten en voor het areaal slik ook nog de vaklodingen. De geomorfologische kaarten worden gemaakt aan de hand van gedigitaliseerde luchtfoto's van de slikken en schorren in de Westerschelde. Aan de hand van GIS en de definitie van schorren zijn deze data verder geanalyseerd. Slechts voor de jaren 1959, 1988, 1996, 2000 en 2004 zijn geomorfologische kaarten beschikbaar waardoor alleen voor deze jaren het slikareaal en schorareaal bepaald kan worden.
Het schorareaal kan in GIS direct uit de geomorfologische kaarten berekend en geclusterd worden naar de drie systeemdelen (oost, midden en west). Voor de berekening van het slikareaal worden naast de geomorfologische kaarten de vaklodingen gebruikt voor het bepalen van de ondergrens van het slik (> NAP –2m). De bovengrens van het slik wordt gevormd door de dijklijn of de ondergrens van het schor welke reeds bepaald was uit de geomorfologische kaarten. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 2.8-2. Het areaal slik is het totaal areaal slik én schor minus het schorareaal. Dit areaal is vervolgens ook geclusterd per systeemdeel (oost, midden en west).



Figuur 2.8-2: Schematische weergave van de bepaling van het slik- en schorareaal.

2.8.2. Hypothesen

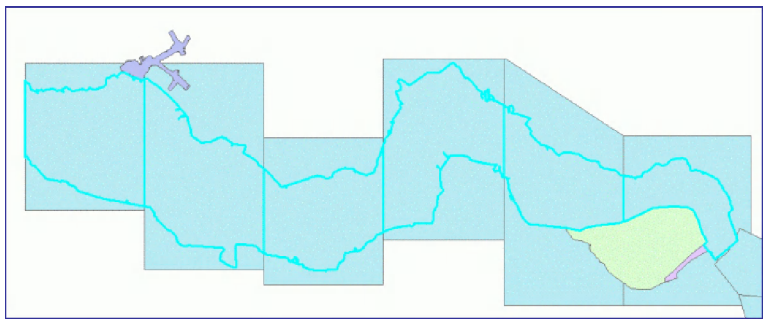
De hypothesen zijn opgesteld voor het westelijk, midden en oostelijk deel van de Westerschelde (De Jong *et al*. 1997). Deze aanpak impliceert dat bij de toetsing een uitmiddeling plaatsvindt van de lokale veranderingen, waardoor de werkelijke plaatselijke effecten kunnen worden onderschat.

2.8.2.1 Areaal schorren

De arealen slik en schor voor de Westerschelde zijn na 1996 nog maar twee keer bepaald, in de jaren 2000 en 2004. Op basis van deze twee metingen is het niet mogelijk om van een ontwikkeling of trend te

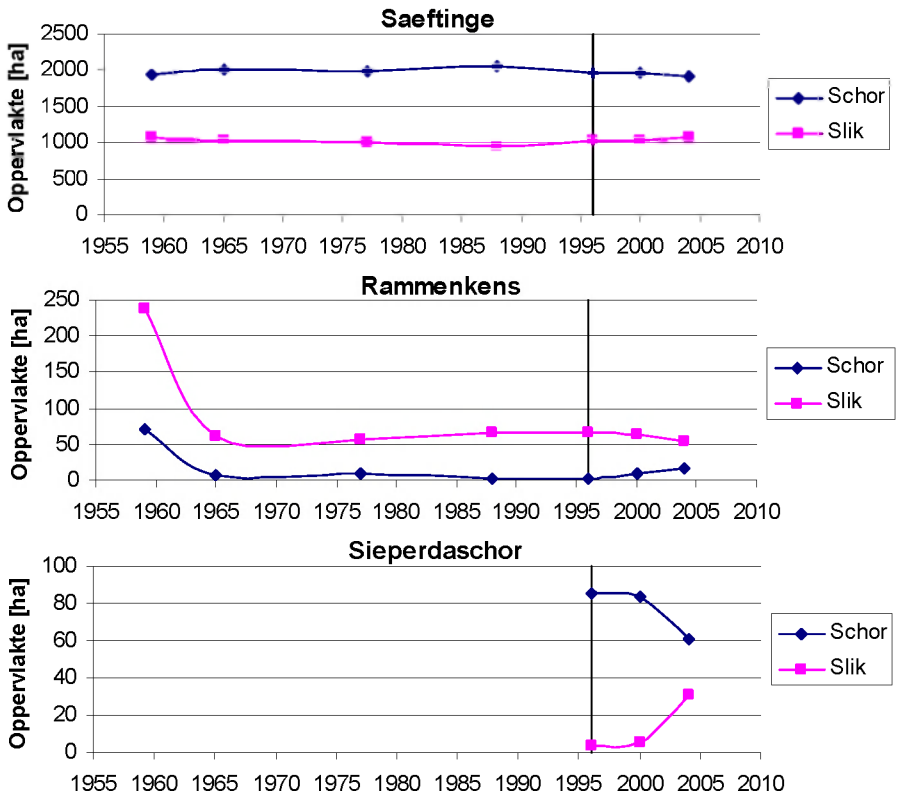
spreken. Om toch een beeld te krijgen van de ontwikkelingen in het areaal schor en slik is het gezamenlijke areaal schor én slik bij de betreffende hypothese weergegeven. Van dit gezamenlijke areaal zijn namelijk wel jaarlijkse gegevens beschikbaar.

De hypothesen voor het areaal slik en schor zijn bekeken exclusief de gebieden Saeftinge, Sieperdaschor en Rammekens. Dit heeft twee redenen. Ten eerste liggen deze arealen buiten de huidige dijklijn en ten tweede is het areaal van deze gebieden vrij groot waardoor de ontwikkelingen van het slik en schor rond de platen en aan de randen van de Westerschelde niet goed zichtbaar zijn (Figuur 2.8-3).



Figuur 2.8-3: Schematistie van Rammekens (paars), Saeftinge (groen) en Sieperdaschor (roze).

Nu vormen deze drie gebieden wel degelijk een belangrijk onderdeel van het areaal slik en schor in de Westerschelde. De ontwikkeling van het areaal slik en schor van deze drie gebieden is weergegeven in Figuur 2.8-4.



Figuur 2.8-4: Areaal slik en schor in Saeftinge, Rammekens en Sieprdaschor.

Het areaal schor en slik in Saeftinge en Rammekens is sinds 1960 nauwelijks veranderd. Het Sieperdaschor laat wel een afname van zowel het slik als het schor zien. In 1990 heeft er een dijkdoorbraak bij het Sieperdaschor plaatsgevonden. Dit heeft tot ongeveer 90 ha nieuw intergetijdengebied geleid.

Er zijn drie hypothesen die de ontwikkeling van het areaal schorren in het westelijk, midden en oostelijk deel van de Westerschelde beschrijven Er zijn alleen arealen schor en slik berekend voor de jaren 1988, 1996, 2000 en 2004. Alleen voor deze jaren is een geomorfologische kaart beschikbaar. Gezien het geringe aantal opnamen is het niet mogelijk om een nulontwikkeling af te leiden. Voor het bepalen van de hypothesegrenzen is de waarde van het areaal slik of schor in het referentiejaar 1996 (T_0) dan ook niet afgeleid van een nulontwikkeling maar is gelijk gesteld aan de gemeten waarde van het areaal schor of slik in 1996.

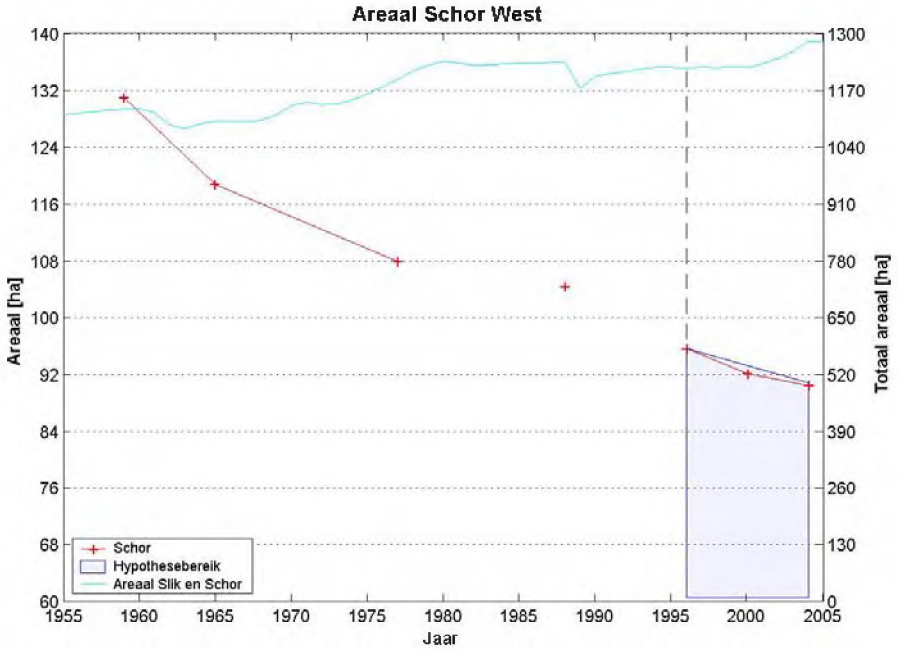
In Stikvoort *et al.*, (2003) is er gebruik gemaakt van absolute totalen schor en slik. Dit geeft geen goed beeld van de ontwikkelingen van het areaal schor en slik. Zo neemt het areaal schor fors af van 1959 naar 1988. Dit komt omdat er in die periode inpolderingen hebben plaatsgevonden. Om deze invloeden, maar ook dijkverzwaringen e.d., uit te sluiten is het beter om de areaal ontwikkelingen binnen de huidige dijklijn te volgen. Tevens is in Stikvoort *et al.*, (2003) de waterlijn zoals die tijdens de fotovlucht voorkwam als ondergrens gebuikt. Deze grens komt niet altijd overeen met NAP –2m zoals gedefinieerd. De methode voor het bepalen van het areaal slik en schor is op deze beide punten aangepast.

Het jaar 1988 is in alle figuren voor areaal slik en schor apart weergegeven. Bij de nauwkeurigheid van de berekening van de arealen met behulp van de geomorfologische kaart van 1988 moeten enkele kantekeningen geplaatst worden. De topografie van de kaart is slecht waardoor er sprake is van overlap en gaten in de kaart. De berekening is wel uitgevoerd om toch een waarde voor 1988 te hebben, er vanuit gaande dat de getallen wel een indicatie geven. Al zal de precieze waarde niet helemaal kloppen.

HYPOTHESE **A1: Het areaal schorren in het westelijk deel van de Westerschelde zal afnemen met 15-35 hectare**
Toelichting: Verwacht wordt dat in het westelijk deel geen **extra** *verlies aan schorren op zal treden door de verdieping. Als de huidige trend zich voortzet zal ca 25 ha verloren gaan (De Jong, 1997).*

Het areaal schor, zonder het gebied Rammekens, in het westen van de Westerschelde is weergegeven in de onderstaande figuur. Het areaal schor daalt en deze daling zet ook na 1996 door. Wel moet er rekening gehouden worden met het feit dat het areaal schor na 1996 enkel voor het jaar 2000 en 2004 is bepaald. Veranderingen in de tussenliggende jaren zijn hierdoor niet bekend.

Figuur 2.8-5: Areaal ontwikkeling van het schor in het westen van de Westerschelde.

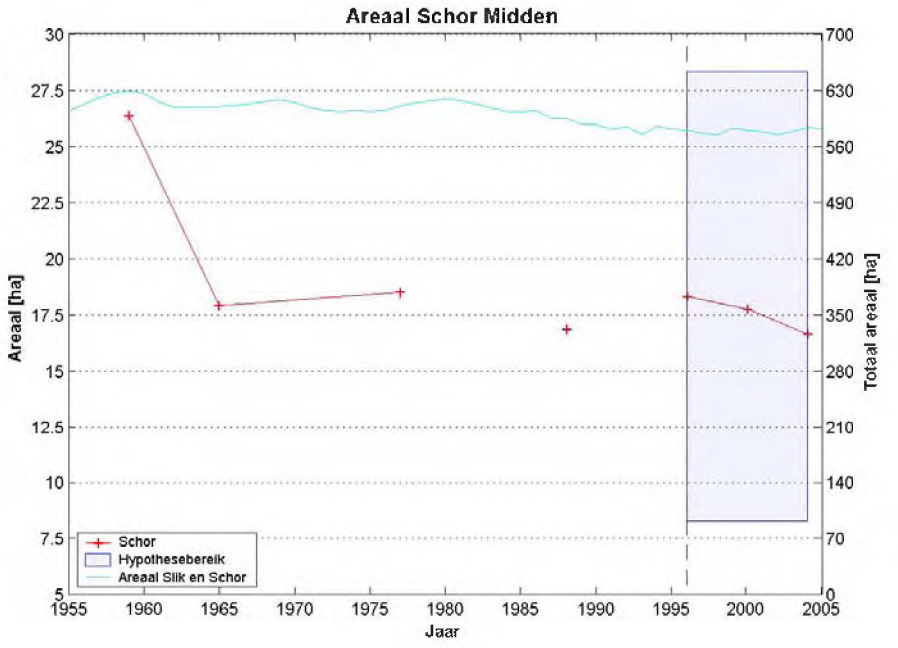


De daling van het areaal schor komt overeen met de hypothese. De hypothese gaat er vanuit dat de daling ingezet voor de verruiming '48/43' zich doorzet vanaf 1996 met een minimale afname van 15 ha over een periode van 25 jaar en een maximale afname van 35 ha. Dit betekent dat de daling van het areaal een enigszins natuurlijk proces is en geen gevolg van de verruiming '48/43'.

HYPOTHESE **A2: Het areaal schorren in het middendeel van de Westerschelde zal gelijk blijven.**

Toelichting: Het geringe aantal schorren in het midden deel ligt op relatief rustige plaatsen, waar weinig erosie optreedt. Door natuurlijke fluctuaties kan een (tijdelijke) toe- of afname van ca. 10 ha optreden (De Jong, 1997).

Figuur 2.8-6: Ontwikkeling areaal schor in het midden van de Westerschelde. Het hypothesebereik is bepaald door T_0 ± 10 ha.

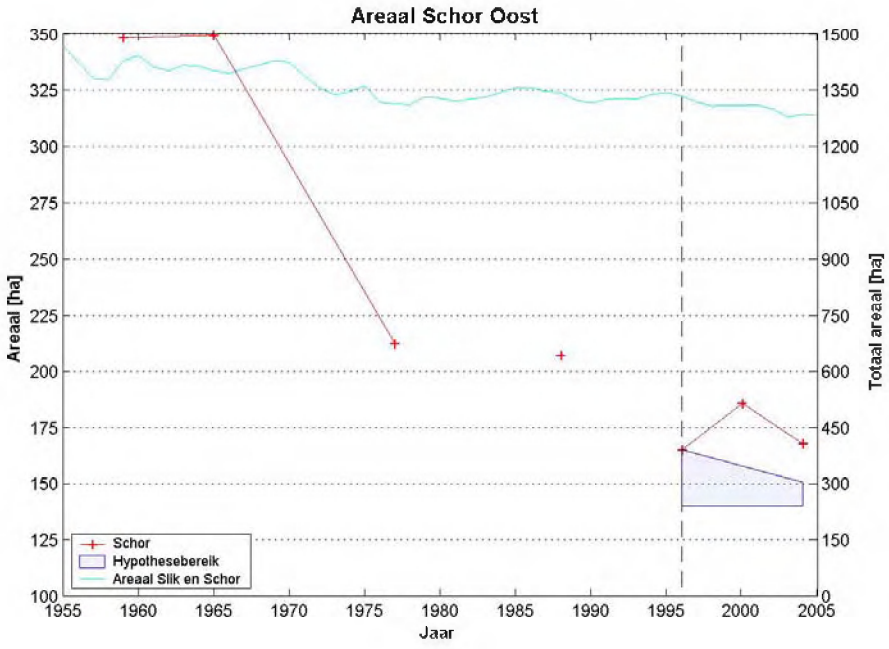


Het gezamenlijk areaal schor én slik in het midden van de Westerschelde blijft na 1996 gelijk. Het areaal schor in het midden van de Westerschelde ten opzichte van het westen en oosten is zeer klein. Dit kleine areaal schor is met ongeveer 2 ha afgenomen. Dit lijkt erg weinig maar is wel een afname van circa 10 procent (Figuur 2.8-6). De hypothese welke een gelijkblijvend areaal schor na 1996 verwacht komt hiermee niet overeen. Bij de verwachting van een gelijkblijvend areaal wordt uitgegaan van een mogelijke fluctuatie van 10 ha. Deze veronderstelde fluctuatie is erg groot vergeleken met een totaal areaal schor van circa 17 ha.

HYPOTHESE A3: Het areaal schorren in het oostelijk deel van de Westerschelde zal afnemen met 25-45 hectare

Toelichting: Verwacht wordt dat er geen **extra** *verlies aan schorren in het oostelijk deel op zal treden t.g.v. de verdieping. Hier gaat, als de huidige trend zich voortzet, ca 35 ha verloren. (De Jong, 1997).*

Het gezamenlijk areaal schor én slik in het oosten van de Westerschelde neemt geleidelijk af. Het areaal schor was voor 1996 veel groter, maar na 1996 lijkt er een meer constant areaal van ongeveer 165 ha te zijn overgebleven met een toename van ongeveer 20 ha in het jaar 2000 (Figuur 2.8-7). Deze constatering is gebaseerd op slechts twee bepalingen van het areaal schor na 1996. Er moet dus wel met enige voorzichtigheid gesproken worden over een constant areaal.



Figuur 2.8-7: Ontwikkeling areaal schor in het oosten van de Westerschelde. De onder-/ en bovengrens van de hypothese worden bepaald door resp. T_0 – 45 ha en T_0 – 25 ha verspreidt over 25 jaar.

Vanuit de hypothese wordt er een 'natuurlijke' afname verwacht van minimaal 25 ha over een periode van 25 jaar en maximaal 45 ha ten opzichte van T_0. Dit komt niet overeen met het constante areaal schor bepaald voor de jaren 1996 en 2004. De veronderstelling van een natuurlijke afname die, zoals aangegeven in de hypothese, al is ingezet voor de verruiming 48'/43' klopt niet. Er heeft stabilisatie van het areaal schor plaatsgevonden.

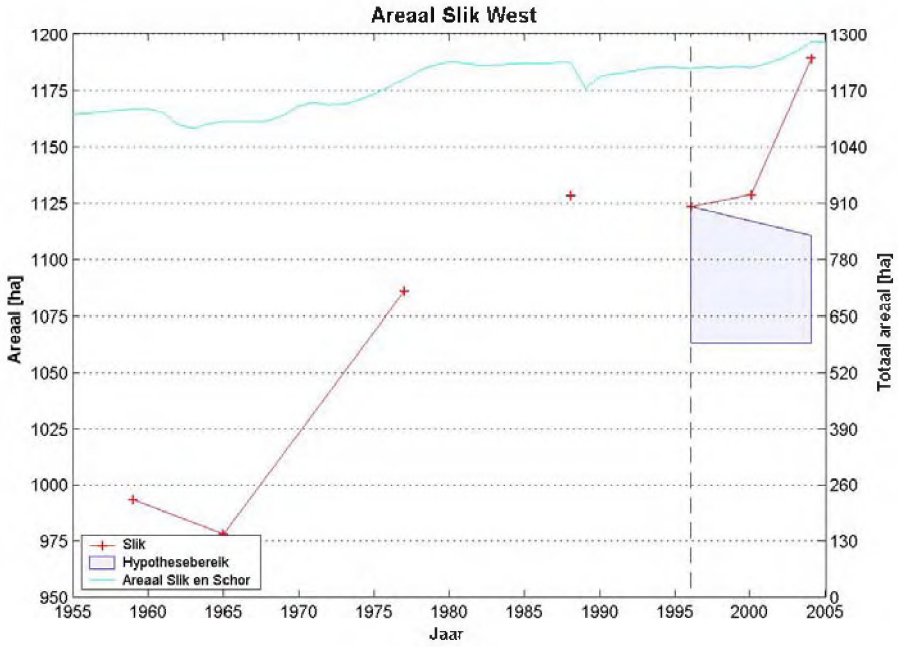
2.8.2.2 Areaal slikken

Het areaal slik wordt bepaald door het totale areaal slik én schor te verminderen met het areaal schor. Dit areaal is vervolgens geclusterd in drie categorieën, het westelijk, midden en oostelijk deel van de Westerschelde. Merk op dat de arealen slik veel groter zijn dan de arealen schor.

HYPOTHESE A4: Het areaal slikken in het westelijk deel van de Westerschelde zal afnemen met 40-60 hectare

Toelichting: Door erosie langs de geulranden gaan aanliggende slikken verloren. Er wordt geen toename van het slikverlies t.g.v. de verdieping verwacht (De Jong, 1997).

Het areaal slik bepaalt een groot deel van het gezamenlijke areaal slik én schor in het westen van de Westerschelde. Het areaal slik laat een stijging zien van circa 65 ha sinds 1996. Dit is een stijging van ongeveer 6 procent (Figuur 2.8-8).
De hypothese voorspelt juist een 'natuurlijke' afname van minimaal 40 ha over een periode van 25 jaar en maximaal 60 ha ten opzichte van T_0.



Figuur 2.8-8: Ontwikkeling areaal slik in het westen van de Westerschelde. De onder- en bovengrens van de hypothese worden bepaald door resp. T_0-60 ha en T_0 – 40 ha verspreid over 25 jaar.

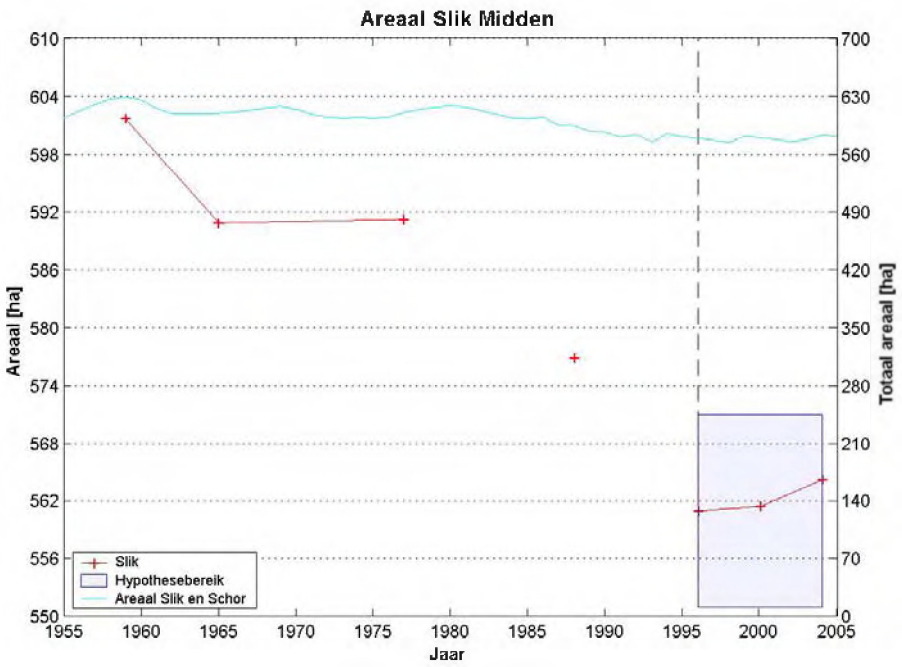
Het is onduidelijk waarom er in de hypothese een 'natuurlijke' afname van het areaal slik wordt verondersteld. Gezien de jaren voor 1996 is er juist sprake van een toename. De twee bepalingen van het areaal slik in de jaren 2000 en 2004 komen niet overeen komen met de hypothese.

HYPOTHESE A5: Het areaal slikken in het middendeel van de Westerschelde zal gelijk blijven.

Toelichting: De erosie van slikken in het midden deel wordt tegengegaan door het aanleggen van geulwandverdedigingen. Door natuurlijke fluctuaties kan op plaatsen waar geen

geulwandverdedigingen liggen nog wel enige toe- of afname optreden. Dit zal echter maximaal 10 ha zijn (De Jong, 1997).

Het areaal slik in het midden van de Westerschelde is sinds 1996 toegenomen met 4 ha, dit is een toename van minder dan 1 procent (Figuur 2.8-9).
De hypothese voorspelt een gelijkblijvend areaal met een fluctuatie van 10 ha. De toename van 1 procent tussen de jaren 2000 en 2004 ten opzichte van 1996 is dermate klein dat er tot nu toe van een gelijkblijvend areaal gesproken kan worden.

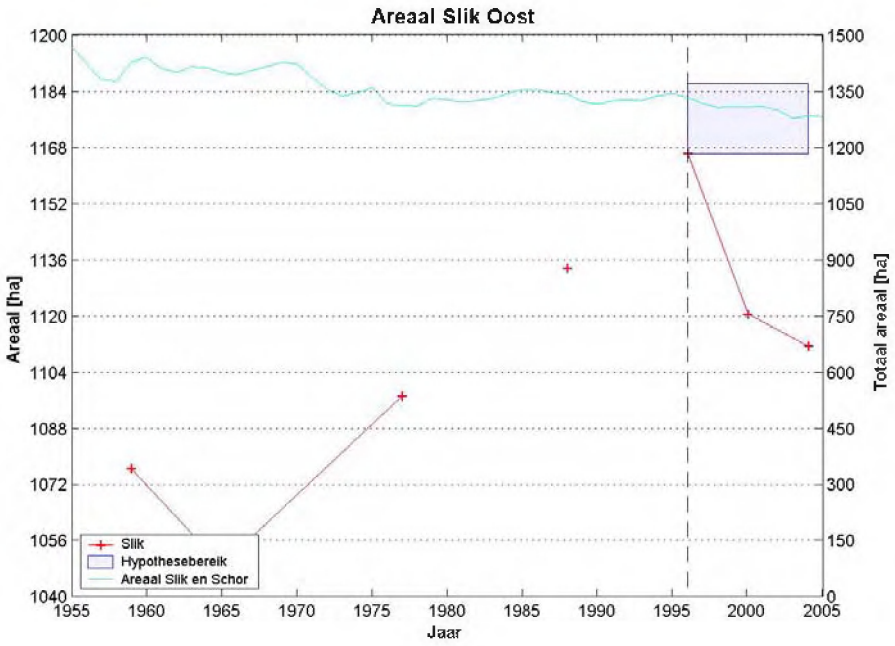


Figuur 2.8-9: Ontwikkeling areaal slik in het midden van de Westerschelde. De hypothese grenzen zijn bepaald door T_0 ± 10 ha.

HYPOTHESE A6: Het areaal slikken in het oostelijk deel van de Westerschelde zal toenemen met 0-20 ha.
Toelichting: Door het aanleggen van de geulwandverdedigingen zal er weinig erosie van de slikken optreden. De aanliggende schorren zullen echter, als na-ijl effect van de aanpassing van het slik, nog wel verder eroderen. Dit heeft vergroting van het slikareaal tot gevolg (De Jong, 1997).

Het totale areaal slik én schor in het oosten laat een geleidelijke daling zien. Het areaal slik is in de periode voor de verruiming 48'/43' toegenomen. Na 1996 is het areaal slik met 50 ha afgenomen. Dit is een afname van circa 4 procent (Figuur 2.8-10).
Vanuit de hypothese wordt een toename van 0 tot 20 ha ten opzichte van T_0 verwacht als gevolg van het nog eroderen (na-ijlen) van de schorren. Dit komt niet overeen met de opgetreden daling van het areaal slik en het constante areaal schor (zie hypothese A3). Er moet wel rekening gehouden worden met het feit dat er sinds de verruiming 43'/48' nog maar 10 jaar is verstreken en dat er in die periode maar voor twee jaren een areaal slik bepaald is.

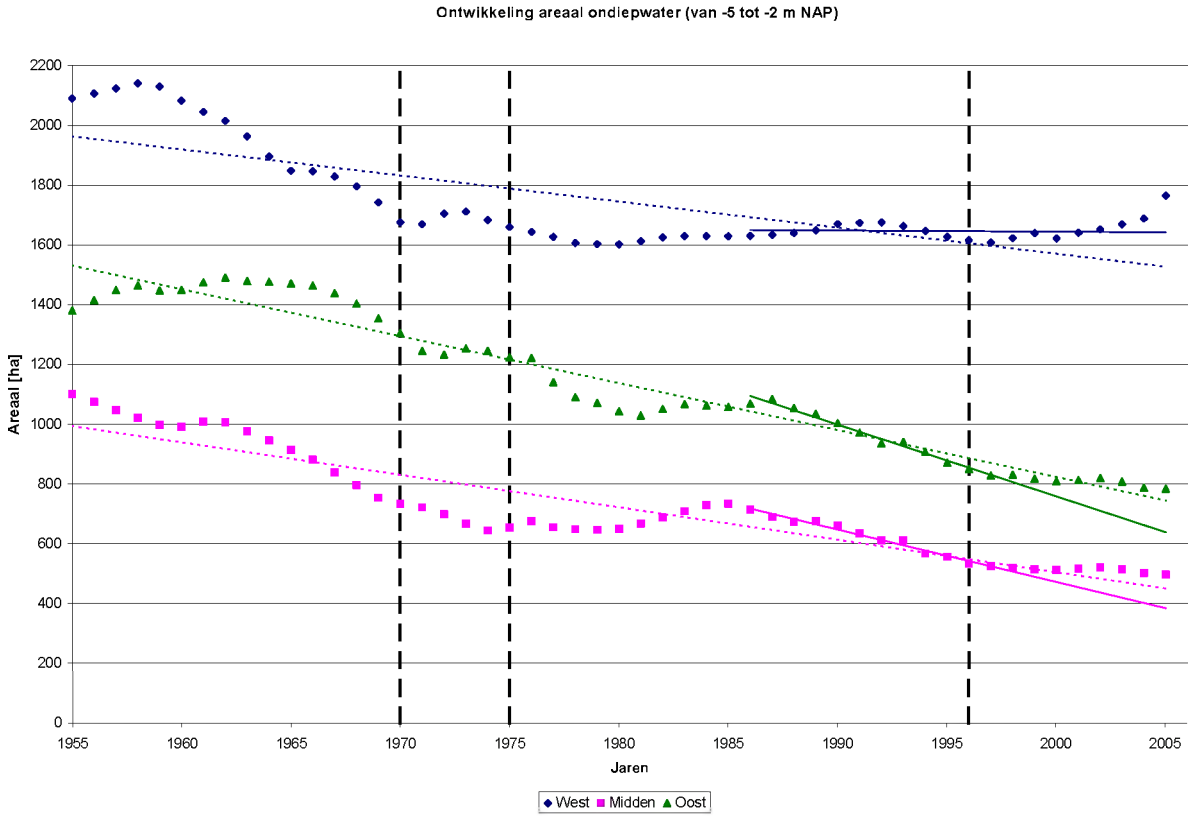
Figuur 2.8-10; Areaal ontwikkeling van de slikken in het oosten van de Westerschelde. De boven- en ondergrens van de hypothese worden bepaald door T_0 + 20 en T_0. Waar T_0 gelijk is aan het oppervlak in 1996



2.8.2.3 Areaal ondiepwater

De ontwikkelingen van het areaal ondiepwater zijn beschreven aan de hand van drie hypothesen, voor het oosten, midden en westen van de Westerschelde. Net als bij de volumes is voor elk deelgebied een nulontwikkeling bepaald op basis van de periode 1986-1996.

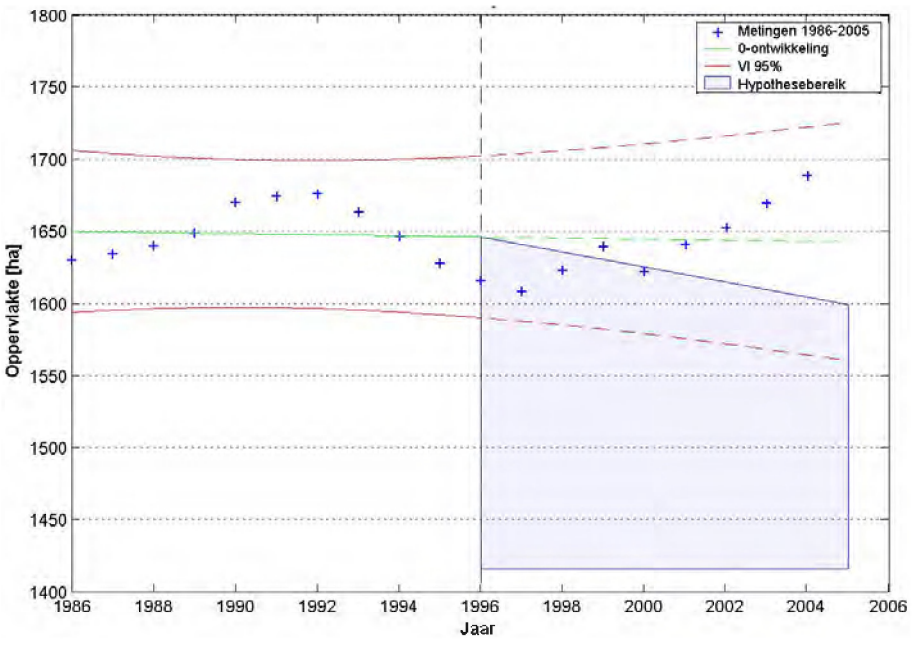
Figuur 2.8-11: Lange termijn ontwikkeling (stippellijn) en de nulontwikkeling (doorgetrokkenlijn) van het areaal ondiepwater in de Westerschelde



De morfologische ontwikkelingen van het ondiepwater verlopen over een langere periode dan de tien jaar waarop de nulontwikkeling gebaseerd is. Het is daarom belangrijk zowel de areaalontwikkelingen na de verruiming 48'/43' te vergelijken met de nulontwikkeling als de lange termijn ontwikkeling vanaf 1955[25] in beschouwing te nemen. De lange termijn ontwikkeling laat zien dat het areaal ondiepwater in het westen, midden en oosten afneemt (Figuur 2.8-11). De ontwikkelingen kennen periodes van sterke en minder sterke afname van het areaal en zelfs toename. Hierdoor is het moeilijk te bepalen of de nulontwikkeling een representatieve ontwikkeling weergeeft. In het westen is de ontwikkeling van het areaal sinds 1975 min of meer vlak. De nulontwikkeling geeft dit ook weer. In het midden en oosten beschrijft de nulontwikkeling juist een periode van sterkere afname ten opzichte van de lange termijn ontwikkeling. Het is mogelijk dat de nulontwikkeling de 'natuurlijke' afname van het areaal ondiepwater in deze gebieden overschat. Hiermee dient rekening gehouden te worden bij het beoordelen van de ontwikkelingen na de verruiming 48'/43'.

HYPOTHESE A7: Het areaal ondiepwater in het westelijk deel van de Westerschelde zal afnemen met 130 tot 230 hectare.
Toelichting: Door de toename van stortingen van baggerspecie zullen in het westen grotere en hogere plaat complexen ontstaan. Dit gaat ten koste van het areaal ondiepwater.

Het areaal ondiepwater in het westen van de Westerschelde laat in de periode 1986-1996 een schommeling rond de 1650 ha zien (Figuur 2.8-12).



Figuur 2.8-12: Areaal ontwikkeling ondiepwater in het westen van de Westerschelde. De 0-ontwikkeling is gebaseerd op 1986-1996. De onder- en bovengrens van de hypothese zijn bepaald door resp. T_0 – 130 ha verspreid over 25 jaar en T_0 – 230 ha

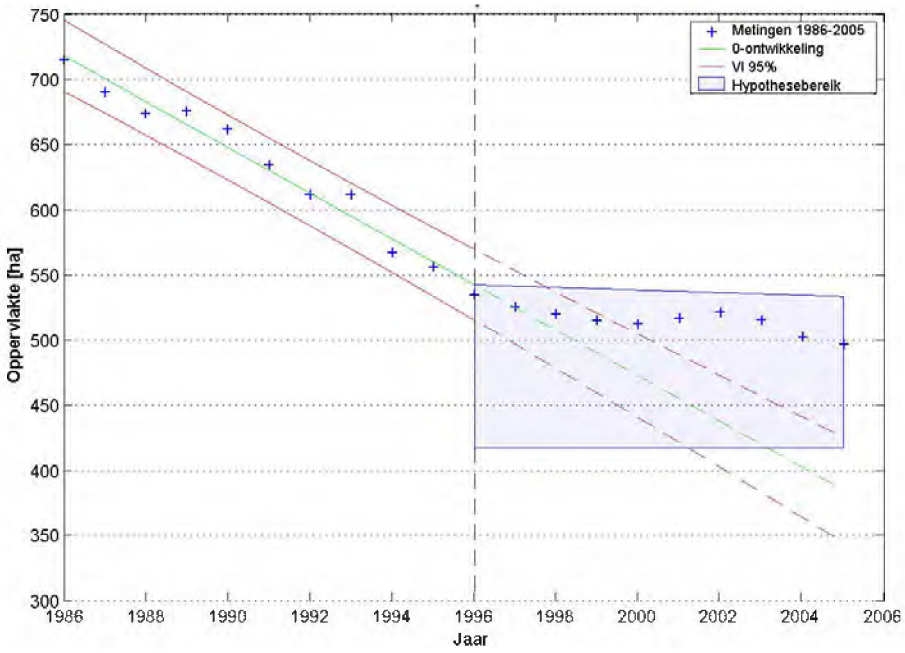
De metingen na 1996 vallen zowel buiten als binnen het hypothesebereik en laten mogelijk een stijging zien. Er wordt gesproken over een *mogelijke stijging* omdat dit ook de top van een fluctuatie,

[25] Vanaf 1955 zijn er voldoende gegevens beschikbaar om het areaal van de platen te bepalen.

zoals deze voor 1996 te zien is, kan zijn. De periode tot en met 2005 is te kort om te zien wat er precies gebeurt.
Vanuit de hypothese wordt een daling van minimaal 130 ha over een periode van 25 jaar en maximaal 230 ha ten opzichte van T_0 verwacht. Van een daling van het areaal ondiepwater in het westen is op dit moment geen sprake. Mocht uit de periode na 2005 blijken dat er sprake is van een fluctuatie, net als in de jaren negentig, dan is het zeer waarschijnlijk dat er geen verandering in het areaal ondiepwater is opgetreden als gevolg van de verruiming 43'/48'.

HYPOTHESE A8: Het areaal ondiepwater in het middendeel van de Westerschelde zal afnemen met 25 tot 125 hectare.
Toelichting: Door de toename van de stortingen van baggerspecie zullen in het middendeel grotere en hogere plaat complexen ontstaan. Dit gaat ten koste van het areaal ondiepwater (De Jong, 1997).

De nulontwikkeling van het areaal ondiepwater in het midden van de Westerschelde is een dalende trend gebaseerd op de periode 1986-1996. De metingen na 1996 laten een duidelijke afwijking zien ten opzichte van deze nulontwikkeling (Figuur 2.8-13). Het ziet er naar uit dat de trend is doorbroken en er na 1996 een bijna constant areaal ondiepwater van circa 500 ha is overgebleven.



Figuur 2.8-13: Areaal ontwikkeling ondiepwater in het midden van de Westerschelde. De onder- en bovengrens van de hypothese zijn resp. T_0 – 25 ha verspreidt over 25 jaar en T_0 – 125 ha. De T_0 is gebaseerd op 1996 uit de 0-ontwikkeling

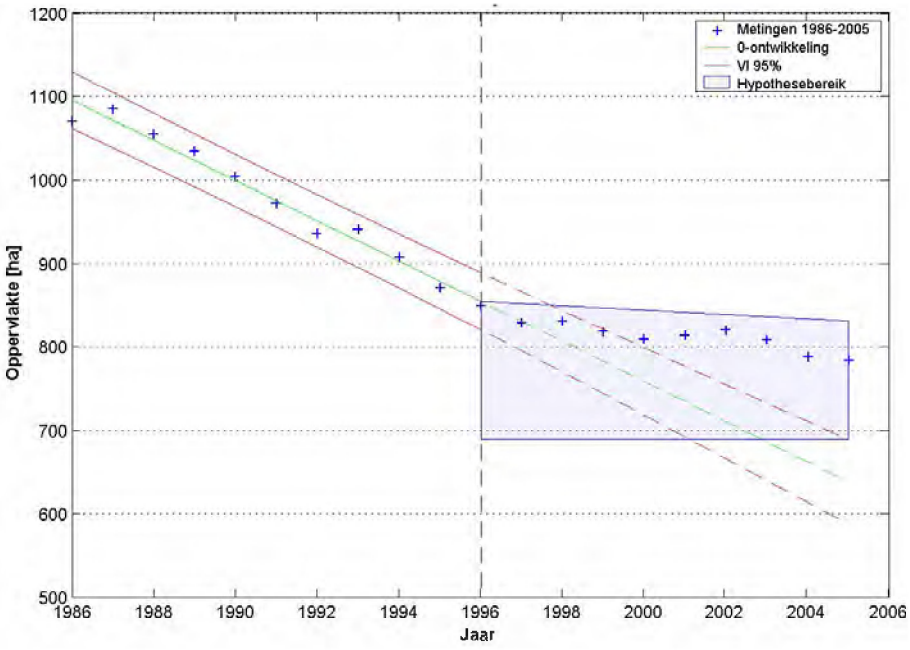
In de evaluatie van 2003 werd er nog gesproken van een stijging in het areaal ondiepwater. Dit werd afgeleid uit de lichte stijging die zichtbaar is in de periode tot en met 2001. Na toevoeging van de punten voor de jaren 2002 tot en met 2005 blijkt dat er sprake is van een schommeling in plaats van een stijging.

De metingen liggen binnen het hypothesebereik waardoor de hypothese lijkt te kloppen. Toch moeten hier enige kanttekeningen geplaatst worden. De hypothese stelt dat er sprake is van een afname in het areaal ondiepwater. De ontwikkeling van het areaal ondiepwater

(zie, Figuur 2.8-13) laat echter zien dat er geen sprake is van een afname maar dat er eerder sprake is van een gelijkblijvend areaal ondiepwater ten opzichte van de dalende nulontwikkeling. De uitspraak van de hypothese dat het areaal ondiepwater als gevolg van de stortingen en het versteilen van de plaatcomplexen zal afnemen klopt dus niet.

HYPOTHESE A9: Het areaal ondiepwater in het oostelijk deel van de Westerschelde zal afnemen met 65 tot 165 hectare.
Toelichting: Na vergroting van de hoofdgeul zullen door erosie de plaatranden steiler worden en ondiepwater verloren gaan (De Jong, 1997).

De nulontwikkeling van het areaal ondiepwater in het oosten van de Westerschelde is gebaseerd op de periode 1986-1996 en laat een duidelijk dalende trend zien (Figuur 2.8-14).



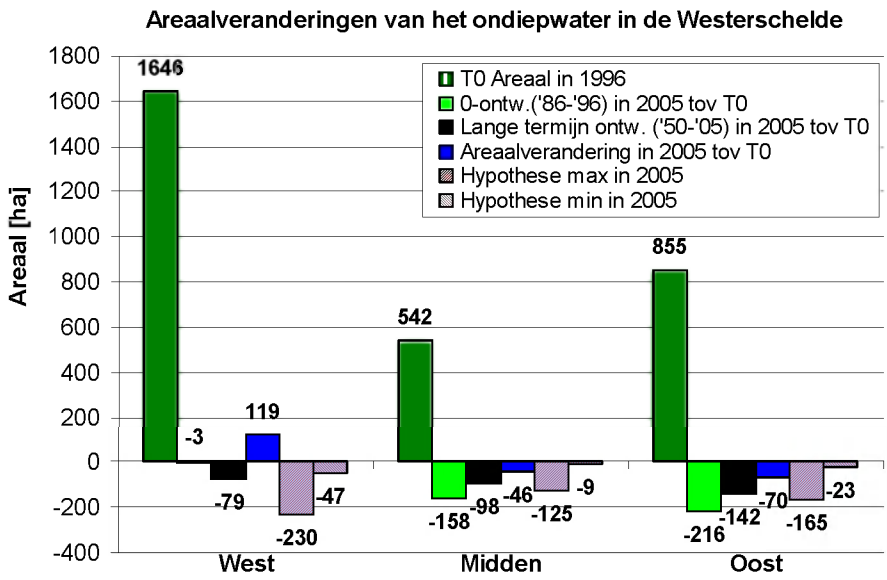
Figuur 2.8-14: Areaal ontwikkeling ondiepwater in het oosten van de Westerschelde. De onder- en bovengrens van de hypothese zijn bepaald door resp. T_0 – 65 ha verspreidt over 25 jaar en T_0 – 165 ha. De T_0 is gebaseerd op 1996 uit de 0-ontwikkeling.

De metingen na 1996 wijken af van deze nulontwikkeling en lijken min of meer op een gelijk niveau te blijven. Tevens vallen de metingen binnen het hypothesebereik, welke een minimale afname van 65 ha over een periode van 25 jaar en een maximale afname van 165 ha ten opzichte van T_0 voorspelt.

Net als bij hypothese A8 moeten er kanttekeningen geplaatst worden bij de gestelde hypothese, ondanks dat de metingen binnen het hypothesebereik liggen. Ook hier is sprake van een trendbreuk. De afname van het areaal ondiepwater is minder sterk dan vanuit de nulontwikkeling voorspeld wordt. Er blijft dus juist meer areaal ondiepwater over.

De ontwikkelingen van het areaal ondiepwater samengevat laten zien dat in het midden en westen de afname in 2005 ten opzichte van 1996 minder is dan vanuit de nulontwikkeling of de lange termijn

ontwikkeling verwacht zou kunnen worden (Figuur 2.8-15). Ook de hypothesen zijn uitgegaan van een sterkere afname van het areaal ondiepwater dan er uiteindelijk is opgetreden. In het westen is het areaal zelfs toegenomen. Dit zou mogelijk een gevolg kunnen zijn van de extra stortingen in het westen.



Figuur 2.8-15: Samenvatting van de verwachting en de werkelijk op getreden ontwikkeling in het areaal ondiepwater in de Westerschelde ten opzichte van de T_0.

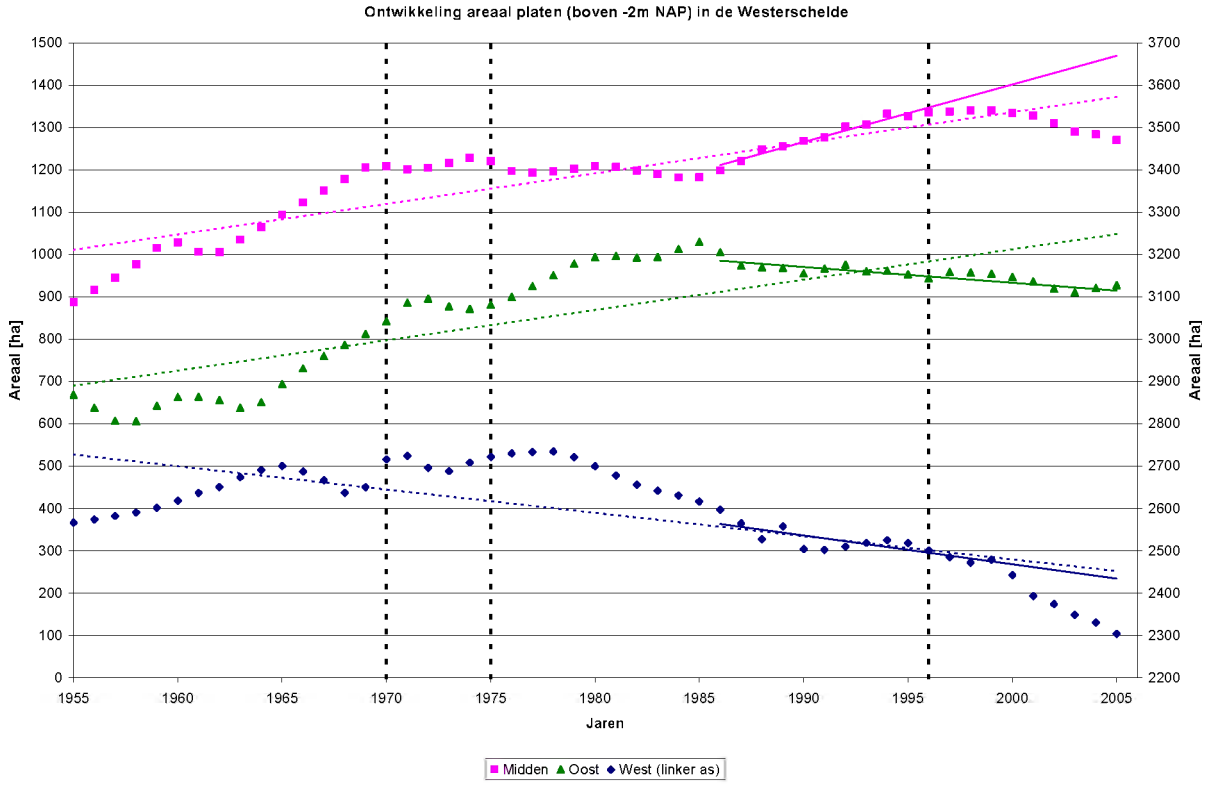
2.8.2.4 Areaal platen

De ontwikkeling van het areaal platen is beschreven in drie hypothesen voor het oostelijk, midden en westelijk deel van de Westerschelde. Voor elk deelgebied is een nulontwikkeling bepaald op basis van de periode 1986-1996. De morfologische ontwikkelingen van de platen verlopen over een langere periode dan de tien jaar waarop de nulontwikkeling gebaseerd is. Het is daarom belangrijk zowel de areaalontwikkelingen na de verruiming 48'/43' te vergelijken met de nulontwikkeling als de lange termijn ontwikkeling vanaf 1955[26] in beschouwing te nemen.

De lange termijn ontwikkeling laat zien dat het areaal platen in het westen daalt en in het midden en oosten stijgt, net als het areaal ondiepwater (Figuur 2.8-16). Sinds 1970 daalt het areaal platen in het westen. De nulontwikkeling komt overeen met deze ontwikkeling. De stijging van het areaal in het midden en oosten heeft ook hier perioden met een sterke en een minder sterke stijging. De nulontwikkeling van het midden is gebaseerd op een periode waarin het plaatareaal sterker stijgt dan andere perioden. Dit kan een overschatting van de "natuurlijke" stijging van het areaal platen betekenen. Na 1996 is er een verandering van dit patroon zichtbaar. In de bespreking van de hypothesen wordt hier verder op ingegaan.
Het valt op dat sinds 1986 het areaal platen in het oosten niet meer stijgt maar juist licht daalt.

[26] Vanaf 1955 zijn er voldoende gegevens beschikbaar om het volume van de platen te bepalen.

Figuur 2.8-16: Lange termijn ontwikkeling (stippelijn) en nulontwikkeling (doorgetrokken lijn) van het areaal platen in de Westerschelde

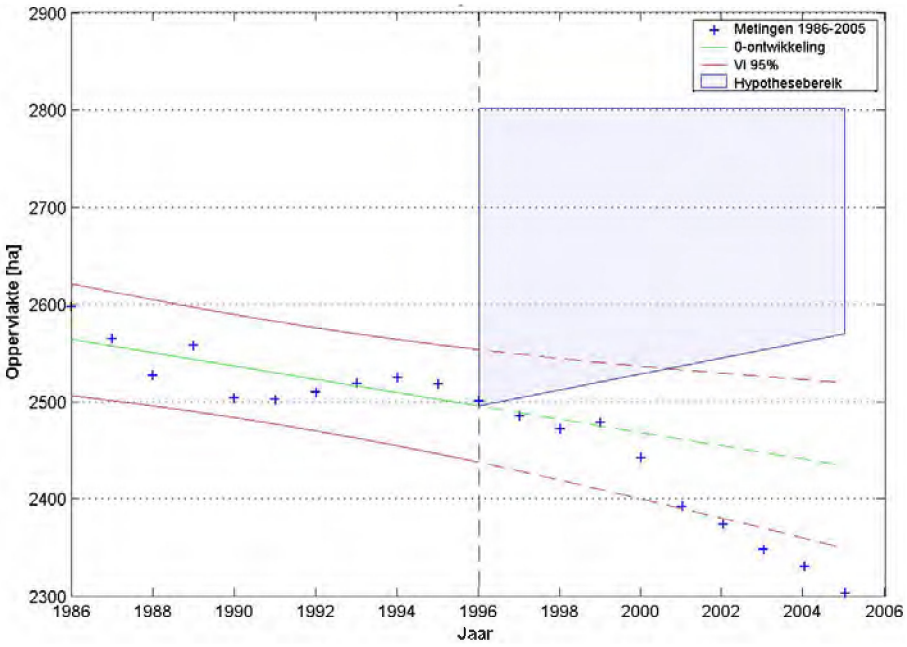


HYPOTHESE A10: Het areaal platen in het westelijk deel van de Westerschelde zal toenemen met 205 tot 305 hectare.

Toelichting: Door toename van het storten van baggerspecie in het westelijk deel wordt een toename van het plaat areaal verwacht (De Jong, 1997).

Het areaal platen in het westen van de Westerschelde neemt af. De nulontwikkeling is een dalende trend. De metingen voor 1996 laten een enigszins schommelende, dalende beweging zien. Deze daling zet zich door na 1996 en neemt later zelfs toe (Figuur 2.8-17). Dit is tegengesteld aan wat er in de hypothese verwacht wordt.
De hypothese verwacht juist een stijging van minimaal 205 ha over een periode van 25 jaar en maximaal 305 ha ten opzichte van T_0. De metingen na 1996 liggen dan ook allemaal buiten het hypothesebereik.

Figuur 2.8-17: Ontwikkeling areaal platen in het westen van de Westerschelde. De 0-ontwikkeling is een lineaire trend gebaseerd op 1986-1996. Het hypothesebereik wordt bepaald door een onder- en bovengrens van resp. T_0 + 205 ha in 25 jaar en T_0 + 305. De T_0 is berekend uit de 0-ontwikkeling voor het jaar 1996.

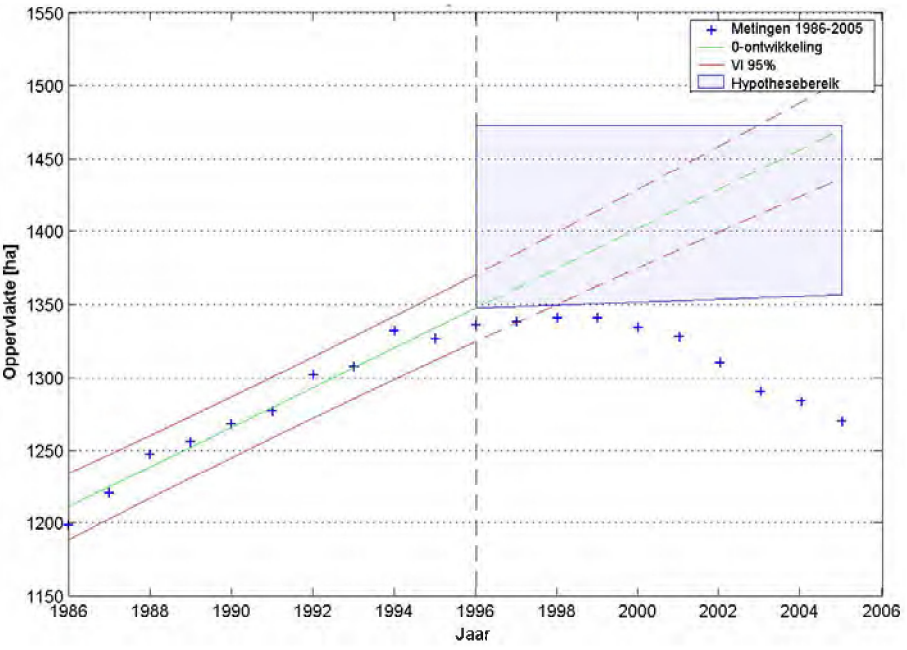


HYPOTHESE A11: Het areaal platen in het middendeel van de Westerschelde zal toenemen met 25 tot 125 hectare.

Toelichting: Door toename van het storten van baggerspecie in het middendeel wordt een toename van plaat areaal verwacht (De Jong, 1997).

Het areaal platen in het midden van de Westerschelde heeft een stijgende lineaire nulontwikkeling (Figuur 2.8-18). De hypothese voorspelt een lichte stijging in het plaatareaal van minimaal 25 ha over een periode van 25 jaar en maximaal 125 ha ten opzichte van T_0. De metingen na 1996 laten een omslag in de ontwikkeling van het areaal platen van een stijging naar een daling zien. Hierdoor liggen de metingen allemaal buiten het hypothesebereik.

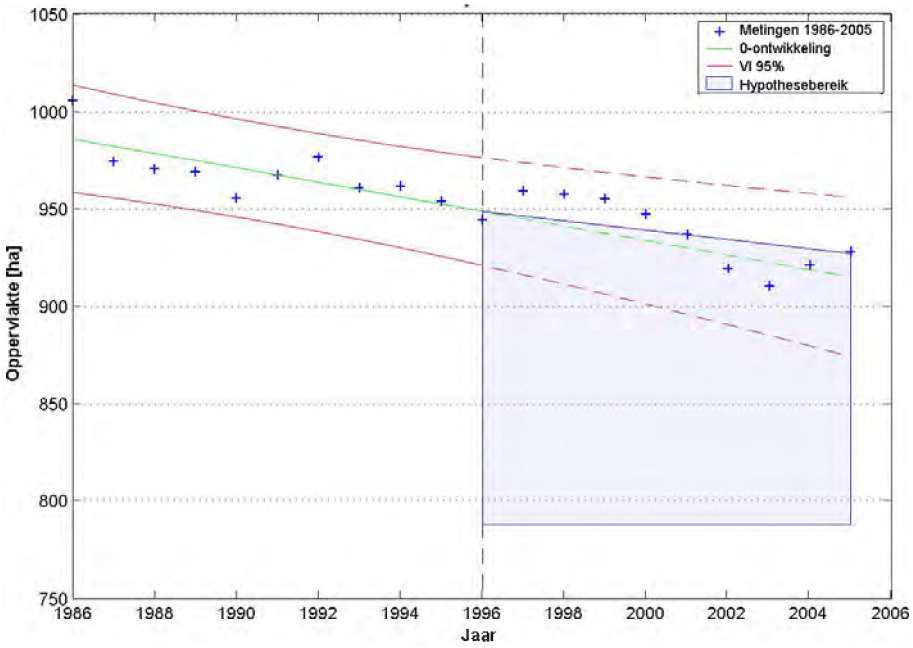
Figuur 2.8-18: Ontwikkeling areaal platen in het midden van de Westerschelde. De 0-ontwikkeling is een lineaire trend gebaseerd op de periode 1986-1996. De hypothese wordt begrensd door een onder- en bovengrens van resp. T_0+ 25 ha in 25 jaar en T_0 + 125. De T_0 is berekend uit de 0-ontwikkeling voor het jaar 1996.



In de periode 1996 tot en met 1998 is er een omslag opgetreden. De stijgende ontwikkeling is overgegaan in een daling. De periode met metingen tot en met 2005 is nog te kort om te zien of deze daling doorzet.

HYPOTHESE A12: Het areaal platen in het oostelijk deel van de Westerschelde zal afnemen met 60 tot 160 hectare.
Toelichting: Verruiming van de geulen in het oostelijk deel leidt tot grotere erosie van de plaatranden (De jong, 1997).

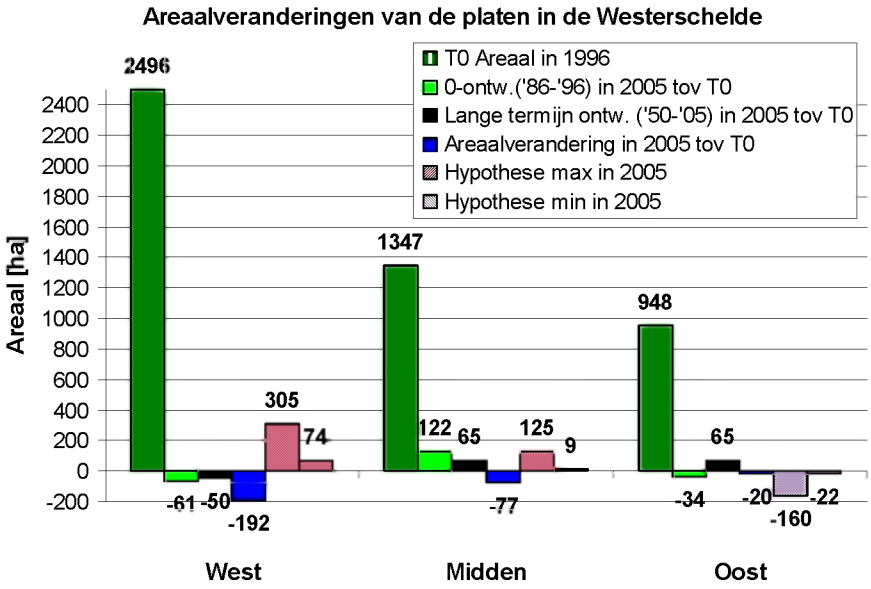
Het areaal plaat in het oosten van de Westerschelde laat een enigszins schommelende, dalende trend zien. Na 1996 wordt dit zonder grote veranderingen voortgezet. De hypothese voorspelt een kleine daling van het plaatoppervlak ten opzichte van T_0 van minimaal 60 ha over een periode van 25 jaar en maximaal 160 ha. De metingen liggen voornamelijk buiten het hypothesebereik.



Figuur 2.8-19: Ontwikkeling areaal platen in het oosten van de Westerschelde. De 0-ontwikkeling is een lineaire trend gebaseerd op de periode 1986-1996. Het hypothesebereik wordt begrensd door een onder- en bovengrens van resp. T_0 – 60 ha over 25 jaar en T_0 – 160 ha. De T_0 is berekend uit de 0-ontwikkeling voor het jaar 1996.

In Figuur 2.8-20 zijn de verwachtingen en de ontwikkelingen van het areaal platen in de Westerschelde samengevat. In het westen is de afname van het areaal platen in 2005 groter dan vanuit de nulontwikkeling of de lange termijn ontwikkeling verwacht zou kunnen worden. Vanuit de hypothese werd zelfs een toename van het plaat areaal verwacht. Het plaat areaal in het midden is afgenomen ten opzichte van een stijgende nulontwikkeling. De nulontwikkeling geeft hier mogelijk een te sterke stijging. Het is daarom beter om de ontwikkeling te bekijken ten opzichte van de lange termijn ontwikkeling. Dan geldt nog steeds dat het areaal in de periode 1996-2005 is gedaald ten opzichte van een stijgende lange termijn ontwikkeling. Het verschil (en daarmee de verandering) is alleen wel kleiner. In het oosten is het areaal in 2005 ten opzichte van 1996 licht gedaald zoals verwacht vanuit de nulontwikkeling en de hypothese. De lange termijn ontwikkeling geeft een stijging aan. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterke toename van het plaatareaal nog voor 1970.

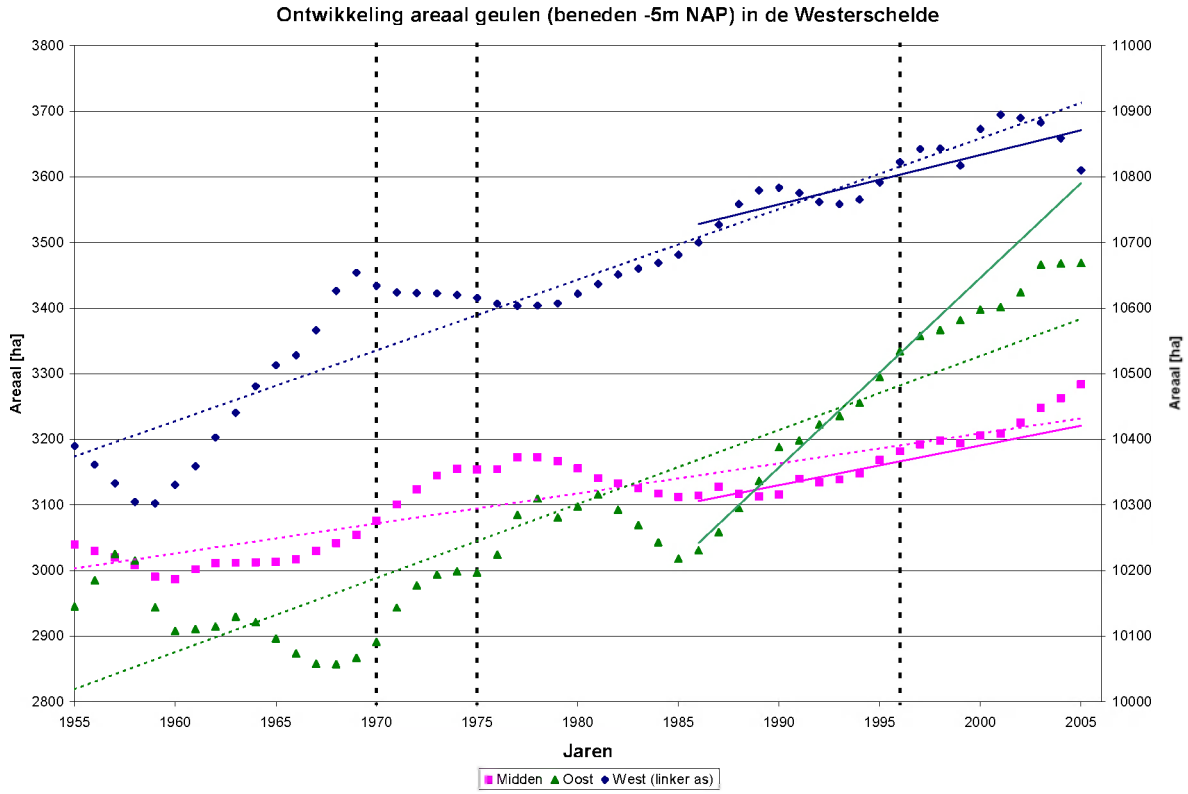
Figuur 2.8-20: Samenvatting van de ontwikkelingen en verwachtingen van het areaal platen in de Westerschelde ten opzichte van T_0.



2.8.2.5 Areaal geulen

Het areaal geulen wordt beschreven aan de hand van drie hypothesen voor het westen, midden en oosten van de Westerschelde. Voor elk deelgebied is een nulontwikkeling bepaald van areaal geulen op basis van de periode 1986-1996. De morfologische ontwikkelingen van de geulen verlopen over een langere periode dan de tien jaar waarop de nulontwikkeling gebaseerd is.

Figuur 2.8-21: Lange termijn ontwikkeling (stippellijn) en nulontwikkeling (doorgetrokkenlijn) van het areaal geulen in de Westerschelde

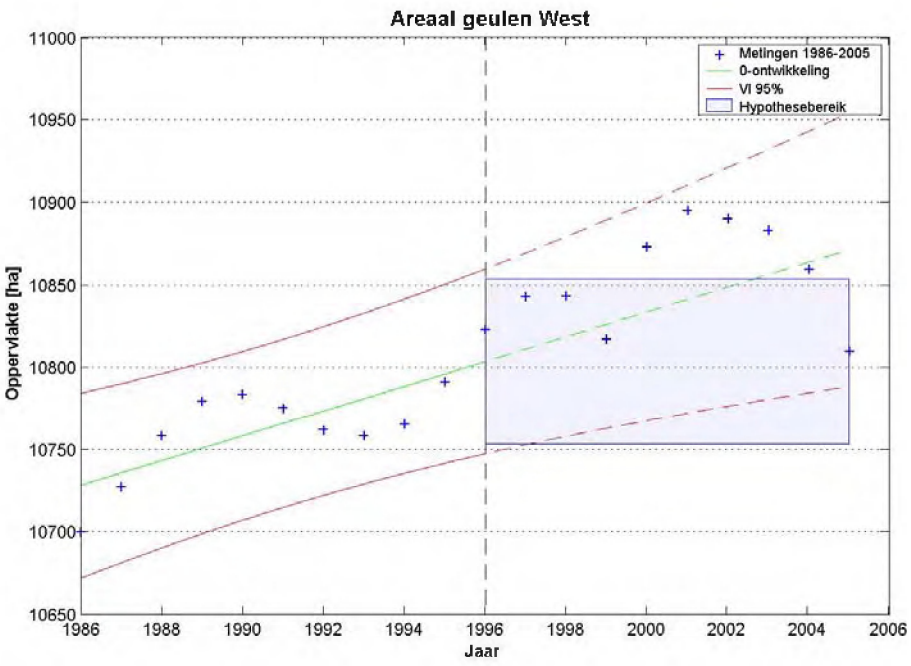


Het is daarom belangrijk zowel de areaalontwikkelingen na de verruiming 48'/43' te vergelijken met de nulontwikkeling als de lange termijn ontwikkeling vanaf 1955[27] in beschouwing te nemen.

De lange termijn ontwikkeling van het areaal geulen laat een lichte stijging zien in alle drie de gebieden (Figuur 2.8-21). Er vinden weinig veranderingen op lange termijn plaats, waardoor de nulontwikkeling in het verlengde ligt van de lange termijn ontwikkeling.

HYPOTHESE A13: Het areaal geulen in het westelijk deel van de Westerschelde zal gelijk blijven.
Toelichting: De huidige (in 1996 aanwezige trend) was een verruiming van de geulen in het westen. Deze verruiming zal worden tegengewerkt door stortingen in dit gebied. Verwacht wordt dat er netto geen verandering zal optreden. Door natuurlijke fluctuaties kan wel toe- of afname van 50 ha. optreden (De Jong, 1997).

De ontwikkeling van het areaal geulen in het westen van de Westerschelde laat een schommelend stijgend verloop zien (Figuur 2.8-22). De nulontwikkeling is een lineaire trend gebaseerd op metingen uit de periode 1986-1996.



Figuur 2.8-22: Areaal ontwikkeling geulen (-5m) in het westen van de Westerschelde. De 0-ontwikkeling is een lineaire trend gebaseerd op 1986-1996. Het hypothesebereik is T_0 ± 50 ha.

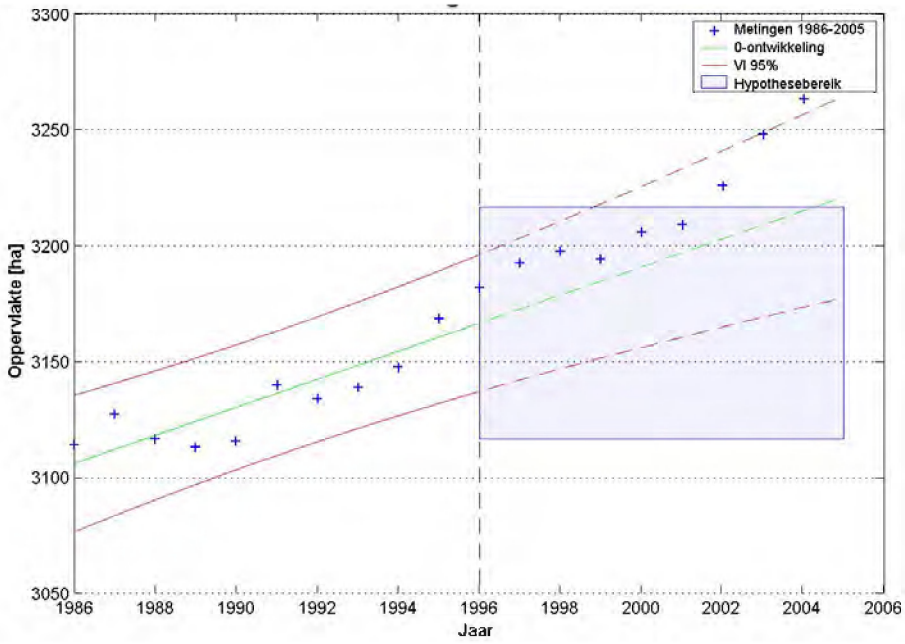
De hypothese verwacht dat het areaal geulen vanaf 1996 een constant niveau zal aannemen, waarbij een fluctuatie van 50 ha kan optreden. De natuurlijke trend van het verruimen van de geulen zou worden tegengewerkt door de stortingen in het westen. Het hypothesebereik is vervolgens vastgesteld op T_0 plus of min 50 ha.
De metingen na 1996 vallen buiten het hypothesebereik. Het toenemende areaal geulen lijkt niet over te gaan in een constant areaal geulen. De nulontwikkeling wordt ook na 1996 min of meer gevolgd.

[27] Vanaf 1955 zijn er voldoende gegevens beschikbaar om het areaal geulen te bepalen.

HYPOTHESE A14: Het areaal geulen in het middendeel van de Westerschelde zal gelijk blijven.

Toelichting: Ook in het middendeel is in de laatste decennia verruiming opgetreden. Gezien de laatste ontwikkelingen in debietverdeling en debietveranderingen én de toekomstige hogere stortingen wordt geen verdere verruiming verwacht. Door natuurlijke fluctuaties kan wel toe- of afname van 50 ha. optreden (De Jong, 1997).

Het areaal geulen in het midden van de Westerschelde stijgt (Figuur 2.8-23). Op basis van de meetdata van de periode 1986-1996 is de stijgende lineaire nulontwikkeling bepaald. Na 1996 neemt de stijging extra toe. Dit komt niet overeen met de hypothese.



Figuur 2.8-23: Ontwikkeling areaal geulen in het midden van de Westerschelde. De hypothesegrenzen zijn vastgesteld op T_0 plus of min 50 ha. De 0-ontwikkeling is een lineaire trend. T_0 is berekend uit de nulontwikkeling.

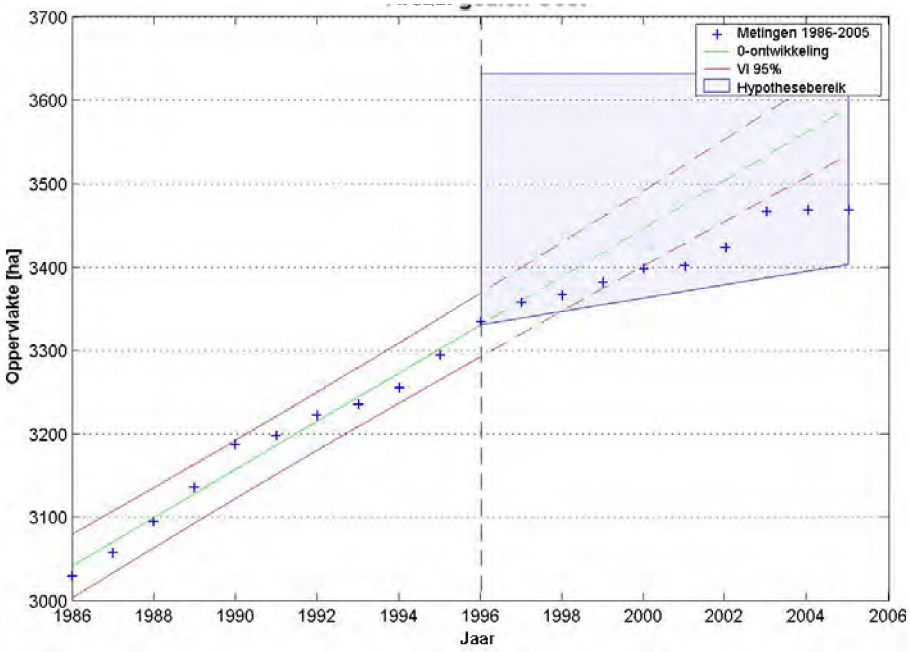
De hypothese voorspelt juist een stagnatie in de natuurlijke stijging van het areaal geulen door de veranderingen in de debietverdeling en de hogere stortingen met als gevolg een constant areaal geulen na 1996 met een fluctuatie van 50 ha. Op basis hiervan is het hypothesebereik bepaald. De extra stijging na 1996 is niet zo groot. Hierdoor liggen alleen de laatste metingen (vanaf 2002) buiten het hypothesebereik.

HYPOTHESE A15: Het areaal geulen in het oostelijk deel van de Westerschelde zal toenemen met 200 tot 300 hectare.

Toelichting: De drempels in het oosten zullen worden verlaagd. Dit zal tot toename van het getijvolume leiden. De geul zal zich gaan verruimen totdat er een nieuw evenwicht wordt bereikt (De Jong, 1997).

Het areaal geulen in het oosten van de Westerschelde stijgt (Figuur 2.8-24). De nulontwikkeling is een lineaire trend gebaseerd op de periode 1986-1996. De geulen waren van nature al aan het verruimen

maar dit is na 1996 minder geworden. Dit komt niet overeen met de hypothese.
De hypothese voorspelt weliswaar een toename van maximaal 300 en minimaal 200 ha over een periode van 25 jaar, maar uit de toelichting wordt duidelijk dat deze toename extra op de nulontwikkeling wordt verondersteld. Volgens de hypothese gaan de geulen zich, als gevolg van de verruiming, extra verruimen totdat er een nieuw evenwicht bereikt is.

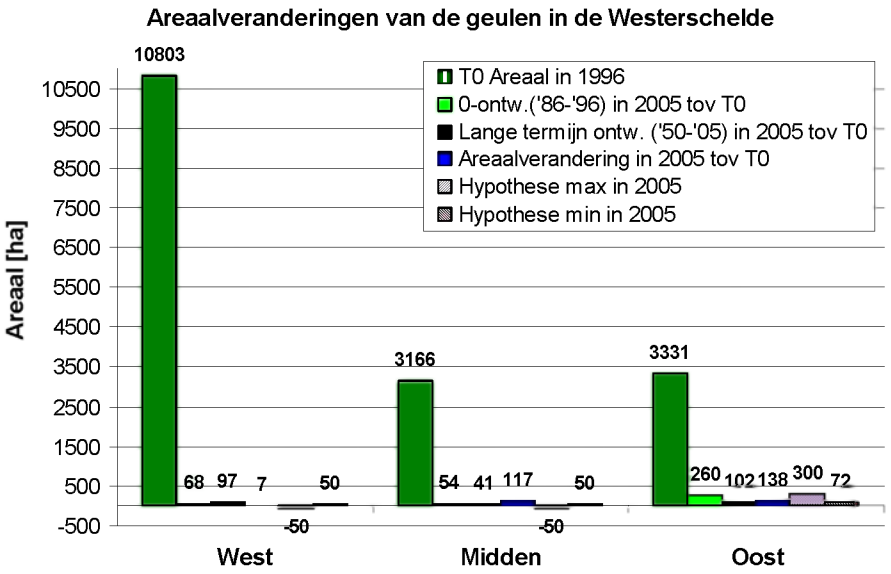


Figuur 2.8-24: Ontwikkeling areaal geulen in het oosten van de Westerschelde. De 0-ontwikkeling is een lineaire trend gebaseerd op 1986-1996. De hypothesegrenzen worden onder en boven bepaald door resp. T_0 + 200 ha in de loop van 25 jaar en T_0 + 300 ha. De T_0 is berekend uit de 0-ontwikkeling voor het jaar 1996.

De metingen na 1996 laten juist een minder sterke stijging van het geul areaal zien. Ondanks dat de metingen binnen de hypothese grenzen vallen klopt de hypothese dus niet.

Uit de samenvatting (zie Figuur 2.8-25) blijkt dat de opgetreden veranderingen en de verwachte veranderingen in het areaal geul ten opzichte van het aanwezige areaal in 1996 vrij klein zijn, behalve in het oosten. In het midden is het areaal twee maal zoveel toegenomen als vanuit de nulontwikkeling of de lange termijn ontwikkeling verwacht zou kunnen worden. Dit is dus een relatief grote verandering. In het oosten is het areaal toegenomen met ongeveer dezelfde hoeveelheid welke je vanuit de lange termijn ontwikkeling zou kunnen verwachten.

Figuur 2.8-25: Samenvatting van de ontwikkelingen en de verwachtingen voor de areaalveranderingen van de geulen in de Westerschelde ten opzichte van T0.



2.8.3. Conclusies arealen

Aan de hand van metingen en vooraf gestelde hypothesen is een beeld verkregen van de arealen schor en slik, ondiepwater, geulen en platen in de Westerschelde. In Tabel 2.8-1 is een overzicht gegeven van de resultaten van de hypothesen over de arealen slik en schor. In Tabel 2.8-2 worden de resultaten voor ondiepwater, geulen en platen weergegeven.

Tabel 2.8-1: Conclusie hypothesen arealen schor en slik

		Ontwikkeling totaal areaal schor en slik (1996-2005)	Ontwikkeling[2]	Hypothese			
				Binnen hypothese-bereik?	Ontwikkeling in de richting van de hypothese?	Verwerpen?	Opmerkingen
A1	Schor west	Stijging (5%)	Daling 5 ha (5%)	ja	ja	nee	Natuurlijke daling volgens hypothese, geen effect verruiming
A4	Slik west		Stijging 65 ha (6%)	nee	nee	ja	Stijging ipv natuurlijke daling
A2	Schor midden	Vlak	Daling 2 ha (10%)	ja	nee	ja	Daling ipv gelijk blijven
A5	Slik midden		Vlak[1]	ja	ja	nee	Gelijkblijvend areaal
A3	Schor oost	Daling (4 %)	Vlak	nee	nee	ja	Gelijkblijvend areaal ipv natuurlijke daling.
A6	Slik oost		Daling 50 ha (4%)	nee	nee	ja	Daling ipv van toename

[1] Het totale areaal schor én slik wordt voornamelijk bepaald door het areaal slik. Doordat het areaal schor in het midden maar circa 17 ha is betekent dit een afname van 10 %. Voor het totale areaal schor en slik is deze verandering juist erg klein. Vandaar dat het gezamenlijk areaal gelijk kan blijven bij een duidelijke afname van het schor areaal en gelijkblijvend areaal slik.

[2] Voor het areaal slik en schor is de ontwikkeling beschreven aan de hand van slechts twee momenten (2000 en 2004) na 1996.

De ontwikkeling van het areaal schorren in de Westerschelde is niet sterk veranderd. In het westen is de natuurlijke afname van het areaal schor niet veranderd. In het midden deel is het areaal schor zo klein dat een schijnbaar kleine afname van 2 ha een relatieve afname van 10 procent betekent. Het grootste areaal schor is te vinden in het oosten van de Westerschelde. De natuurlijke afname van dit areaal is na 1996 overgegaan in een constant areaal van circa 165 ha.

Het areaal slikken in de Westerschelde is in het westen gestegen en in het oosten gedaald. Van het gezamenlijk areaal schor én slik heeft het areaal slik het grootste aandeel.
In het westen is de stijging van het areaal slik veel groter dan de daling van het schor waardoor het totale areaal slik én schor is gestegen. In het middendeel is het areaal slik gelijk gebleven. Terwijl er in het oosten een daling van het areaal slik is opgetreden, wat tot gevolg heeft dat het gezamenlijke areaal slik én schor ook gedaald is.

Tabel 2.8-2: Conclusies hypothesen arealen ondiepwater, platen en geulen

		Nul-ontwikkeling	Ontwik-keling na 1996	Hypothese			
				Binnen hypothese-bereik?	Ontwikkeling in richting hypothese?	Verwerpen?	Opmerkingen
A7	Ondiepwater west	Vlak met een schommeling	Mogelijk stijging/ gelijk	nee	nee	ja	Vlak ipv daling. Jaar 2005 mogelijk top zo niet dan stijging.
A8	Ondiepwater midden	Dalend	Vlak	ja	nee	ja	Gelijkblijvend areaal ipv dalend areaal
A9	Ondiepwater oost	Dalend	Vlak	ja	nee	ja	Gelijkblijvend areaal ipv dalend areaal
A10	Platen west	Dalend	Extra daling	nee	nee	ja	Het areaal daalt i.p.v. stijgt.
A11	Platen midden	Stijgend	Dalend	nee	nee	ja	Daling ipv stijging
A12	Platen oosten	Dalend	Dalend	deels	ja	mogelijk	Daling gelijk aan 0-ontwikkeling
A13	Geulen west	Stijging met schommeling	Stijging	Deels	nee	ja	Volgt 0-ontwikkeling ipv constant areaal.
A14	Geulen midden	Stijging	Extra stijging	Deels	nee	ja	Stijging toegenomen ipv constant gebleven vanaf 1996
A15	Geulen oosten	Stijging	Minder stijging	ja	nee	Ja	Afname van de natuurlijke stijging ipv van toename

In Figuur 2.8-26 wordt een overzicht gegeven van de arealen die zijn overgegaan van de ene morfologische eenheid naar een andere. De veranderingen vinden vooral plaats langs plaatranden en in de gebieden waar vloedscharen en of kortsluitgeulen nog vrij kunnen bewegen.

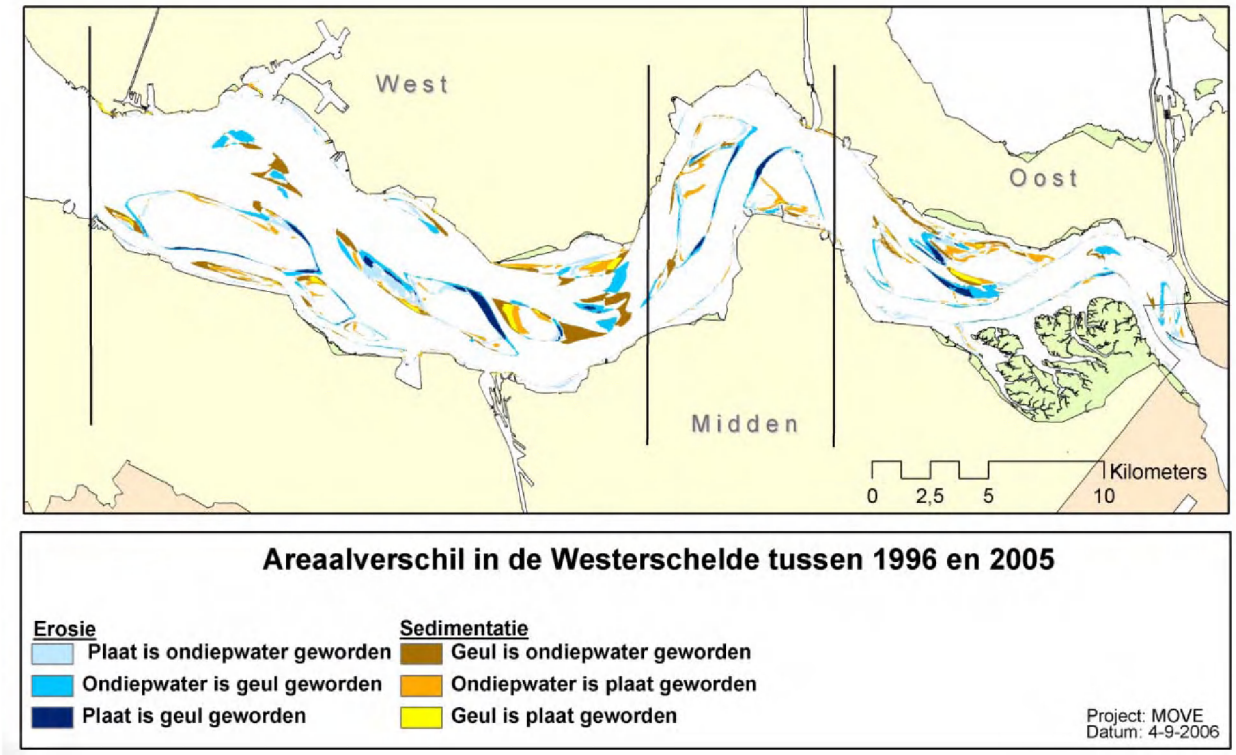
De jaarlijkse areaalveranderingen in het oosten laten het volgende beeld zien. De natuurlijke ontwikkeling gebaseerd op de periode 1986-1996 van het areaal ondiepwater neemt af. Dit areaal gaat voornamelijk over in plaat en geul areaal. Na 1996 stagneert de dalende ontwikkeling van het areaal ondiepwater en blijft op een

constant niveau terwijl de stijging van het areaal platen doorgaat. Het areaal geul neemt daarentegen nog steeds toe maar minder sterk dan vanuit de nulontwikkeling verwacht kan worden. Het areaal ondiepwater kan dus op een min of meer constant niveau blijven omdat de toename van het geulareaal minder is geworden. Dit hangt zeer waarschijnlijk samen met de nieuwe bagger- en stortstrategie. Als gevolg van de verminderde storthoeveelheid zijn de nevengeulen zich wat gaan verruimen. Het is hierbij mogelijk dat er ondiepwater wordt gecreëerd ten koste van het areaal geul beneden 5m NAP.

In het midden ziet het er naar uit dat het areaal geul blijft toenemen en dat dit voornamelijk ten koste gaat van het plaat areaal. Het areaal platen nam toe voor 1996 maar daarna is er sprake van een afname. Het areaal ondiepwater daalde voor 1996 maar blijft daarna min of meer constant. Ditzelfde geld voor het areaal slik en schor. Wel is het areaal schor vrij klein zodat een kleine afname een relatief grote verandering voor het betreffende areaal betekent.

In het westen is het areaal ondiepwater niet afgenomen zoals verwacht werd als gevolg van de stortingen, maar fluctueert rond de 1650 ha. Vóór 1996 veranderde vooral het areaal plaat in geul. Na 1996 is het plaat areaal nog sterker gaan afnemen maar er heeft in het areaal geulen geen sterkere toename plaats gevonden.

Figuur 2.8-26: Overzicht van de lokale veranderingen in het areaal van de verschillende morfologische eenheden in de Westerschelde



2.8.4. Discussie en aanbevelingen

Het ziet er naar uit dat er maar heel weinig hypothesen kloppen. Er zijn zelfs een aantal hypothesen waarvan de meetpunten wel degelijk binnen het hypothesebereik liggen maar toch worden verworpen. Dit komt omdat naast het hypothesebereik ook de gedachte (toelichting) achter de hypothese moet kloppen met de metingen.

In de evaluatie van 2003 was er voor het toetsen van de hypothesen over het areaal schorren en slikken in de Westerschelde maar één meting na 1996 beschikbaar, namelijk het jaar 2001. Nu is ook het jaar 2004 beschikbaar. Met dit tweede punt is de tijdsperiode waarover we kunnen kijken weliswaar langer geworden maar er moet nog steeds voorzichtig omgegaan worden met de uitspraak gebaseerd op maar twee momenten. Hierdoor zijn de uitspraken nog steeds erg onzeker ze geven meer een idee van de richting waarin het proces zich zou kunnen ontwikkelen dan een conclusie.

De relatie tussen het storten van baggerspecie en het ontstaan van plaatcomplexen in het westen en midden van de Westerschelde lijkt niet sterk, aangezien in het westen het areaal platen zelfs sterker afneemt dan voor de verruiming (A10) en in het midden het areaal platen omgeslagen is van een toename voor de verruiming naar een afname (A11), ondanks de toegenomen stortingen in die gebieden. In het midden lijkt de afname van het areaal platen de oorzaak te zijn van de stagnatie in de natuurlijke afname van het areaal ondiepwater. Terwijl het areaal geul geen verandering ten opzichte van de dalende nulontwikkeling laat zien. Het kan zijn dat de oorzaak van het constante areaal ondiepwater in afname van het areaal slik gezocht moet worden.
In het westen kan er geen overeenstemming gevonden worden tussen de afname van het areaal platen en het min of meer constante areaal ondiepwater, daar het areaal slik niet veranderd is. Het zou mogelijk kunnen zijn dat de omslag van de Westerschelde van een zand importerend naar een exporterend systeem of de bagger-, stort- en zandwinactiviteiten van invloed zijn in het westen. Een uitgebreidere synthese van de verschillende parameters kan hier misschien antwoord op geven.

In het oosten van de Westerschelde wordt gesteld dat het areaal schorren zal afnemen als gevolg van de geulwandverdediging langs de slikken, zodat de slikken niet meer eroderen. Het areaal slikken in het oosten is juist gedaald (A6). Er moet hier wel rekening gehouden worden met het feit dat in de hypothese van het schor en slik in het oosten Saeftinge niet is meegerekend.
Verder wordt verwacht dat als gevolg van de verdieping de plaatranden steiler zullen geworden zodat het areaal ondiepwater en het areaal platen zullen afnemen. Deze ontwikkelingen zijn niet zichtbaar. De daling in het areaal ondiepwater (A9) stagneert na 1996 en het areaal platen (A12) blijft op de zelfde wijze als de nulontwikkeling dalen. De vraag zou gesteld moeten worden of deze relatie er wel is en of de plaatranden nu daadwerkelijk steiler zijn geworden.

Het areaal geulen stijgt na 1996 minder sterk dan volgens de nulontwikkeling terwijl een toename verwacht wordt als gevolg van het verwijderen van de drempels en de daaropvolgende toename van het getijvolume.
De reden hiervoor kan zijn dat er een kleinere stijging van het getijvolume heeft plaats gevonden dan verwacht, of een verdieping (inhoud) in plaats van een verbreding (areaal). Het gemeten getijvolume in raai 5/5a (V2) laat slechts een lichte stijging zien ten opzichte van de nulontwikkeling, terwijl de inhoud van de hoofdgeul ook is gestegen ten opzichte van de nulontwikkeling (I8) zij het minder sterk dan de hypothese verwachtte.

2.9 Bodemsamenstelling

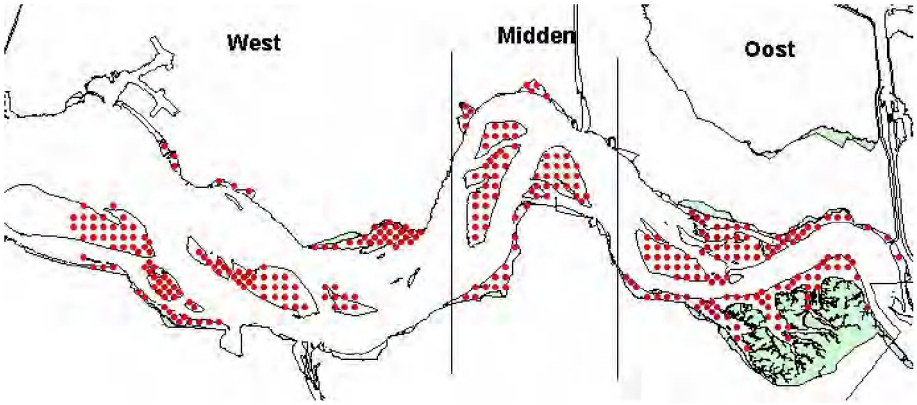
De bodemsamenstelling van de Westerschelde is voor zowel de chemie, de morfologie als de ecologie van belang. Voor de chemie is vooral het slibgehalte in de bodem bepalend omdat verontreinigingen zich vooral aan de fijnste bodemdeeltjes binden. Bij de morfologie speelt de bodemsamenstelling vooral een rol bij het optreden van sedimentatie en erosie, oftewel de landschapsvormende processen van het estuarium. Maar de belangrijkste reden om naar de bodemsamenstelling te kijken is dat het van belang is voor de organismen die op of in de bodem leven. Tussen de sedimentsamenstelling en bodemorganismen, zoals bodemdieren en microfytobenthos, bestaan belangrijke relaties. Met andere woorden: het vóórkomen van bodemorganismen hangt (mede) samen met de bodemsamenstelling. Vooral het slibgehalte en de gemiddelde korrelgrootte vertonen doorgaans sterke correlaties met de hoeveelheid organismen. Deze relaties hoeven echter niet causaal te zijn omdat er ook vaak sprake kan zijn van parallel verlopende zaken. Een voorbeeld hiervan is dat wanneer een gebied een lage hydrodynamiek kent dit zowel gunstig is voor bodemdieren als microfytobenthos als voor de slibsedimentatie.
Het microfytobenthos en de bodemdieren zijn in de Westerschelde erg belangrijke onderdelen van het voedselweb. Met name in het intergetijdengebied en de ondiepere delen vormen ze voor vogels en vissen belangrijk voedsel. Vooral door de natuurbeschermings-organisaties is de vrees geuit dat door stortingen de bodemsamenstelling van bepaalde platen en slikken grover zal worden. Dit zou tot gevolg kunnen hebben dat de hoeveelheid bodemdieren afneemt, en dus ook de voedselbeschikbaarheid voor bijvoorbeeld vogels.

2.9.1. Datagebruik

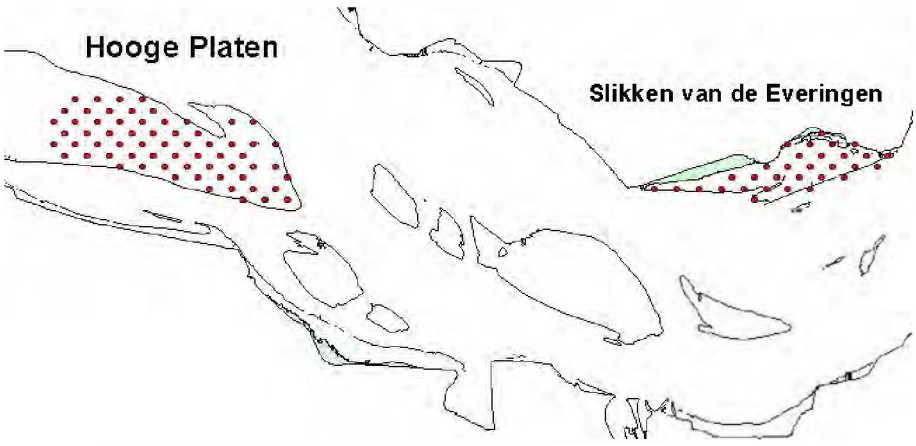
De McLaren-bemonstering is een bijna gebiedsdekkende bemonstering die in 1992/93 (Storm & van Maldegem, 1997) en 2000 heeft plaatsgevonden (Figuur 2.9-1). Tijdens die bemonstering zijn in ieder gridvak in de Westerschelde bodemmonsters genomen waarvan de sedimentsamenstelling is bepaald. De monsters zijn zonder voorbehandeling geanalyseerd op deeltjesgrootte. Dit betekent dat o.a. kalk en humus niet zijn verwijderd. De bodemmonsters zijn in beide jaren in de maanden augustus en september genomen.
De grootte van de gridvakken varieerde van 500x500m tot 250x250m (Parée, 2002). De twee meetjaren geven een beeld van de verschillen die zijn opgetreden in de bodemsamenstelling van de Westerschelde voor deze jaren. Het is niet mogelijk een nulontwikkeling of referentiewaarde in 1996 voor de ontwikkeling van de bodemsamenstelling in de Westerschelde te bepalen. Hiervoor zijn meerdere meetmomenten nodig.

Voor de locaties Hooge Platen en Everingen zijn jaarlijks McLaren-bemonsteringen uitgevoerd. Opgemerkt moet worden dat op de Hooge Platen de monsterpunten alleen op het oostelijke deel liggen. Dit heeft

te maken met de verwachting dat de vloedstroom sediment van de stortlocatie in de Schaar van de Spijkerplaat naar het oostelijk deel van de Hooge Platen zou transporteren. De monsterpunten op de slikken van Everingen zijn wel over het gehele gebied verdeeld (Figuur 2.9-2:).



Figuur 2.9-1: Overzicht monsterlocaties van de gebiedsdekkende McLaren-bemonstering.

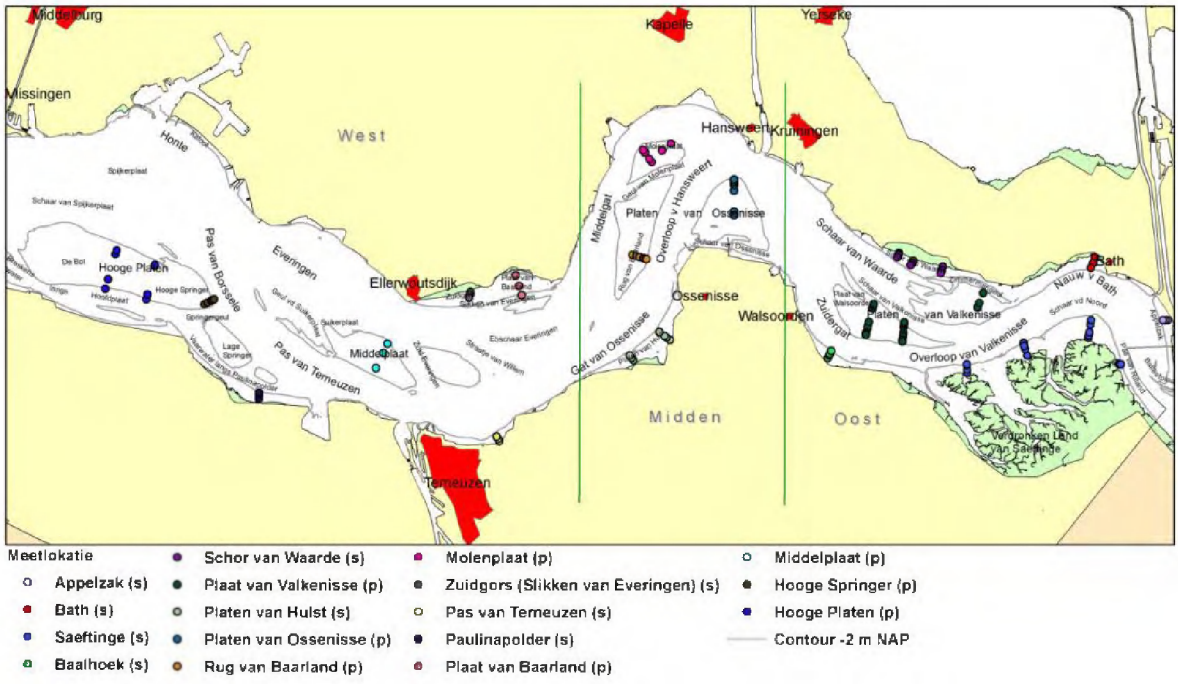


Figuur 2.9-2: Overzicht van de monsterlocaties voor de Hooge Platen en de Slikken van Everingen.

Naast de McLaren bemonsteringen zijn er ook in verschillende raaien in de gehele Westerschelde bodemmonsters genomen (Figuur 2.9-3). Deze bodembemonsteringen vinden twee keer per jaar plaats. Voor het bepalen van de bodemsamenstelling zijn de metingen van augustus tot en met oktober gebruikt. De monsters worden genomen in een laag van 2 cm en 10 cm dik.
De sedimentsamenstelling tot 2 cm diep zal sneller veranderen als gevolg van stortingen en stromingsveranderingen. Maar ook meteorologische invloeden zijn in de 2 cm laag sterker dan in de laag van 10 cm diep.

Naast de bodem wordt op deze raaien ook het microfytobenthos bemonsterd en veelal ook de hoogte van de plaat gemeten. Vanaf 1991 zijn er jaarlijks monsters genomen. Deze raaien liggen niet zo dicht bij elkaar als de McLaren-bemonsteringen maar vertegenwoordigen wel de meeste slikken en platen in de Westerschelde, en geven een ontwikkeling in de tijd.

Figuur 2.9-3: Overzicht monsterlocaties verdeeld over de deelgebieden, west, midden en oost.



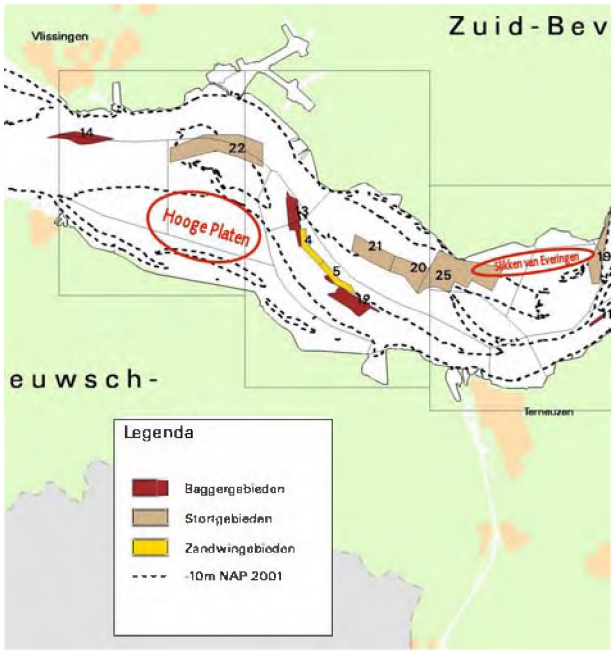
Meetlokatie
- Appelzak (s)
- Bath (s)
- Saeftinge (s)
- Baalhoek (s)
- Schor van Waarde (s)
- Plaat van Valkenisse (p)
- Platen van Hulst (s)
- Platen van Ossenisse (p)
- Rug van Baarland (p)
- Molenplaat (p)
- Zuidgors (Slikken van Everingen) (s)
- Pas van Terneuzen (s)
- Paulinapolder (s)
- Plaat van Baarland (p)
- Middelplaat (p)
- Hooge Springer (p)
- Hooge Platen (p)
- Contour -2 m NAP

2.9.2. Hypothesen

De bodemsamenstelling kan in vele parameters beschreven worden. In de toelichting bij de hypothesen over de bodemsamenstelling (De Jong *et al*, 1997) wordt expliciet aangegeven dat de mediane korrelgrootte (D50) en het slibgehalte (% < 63 µm) de te toetsen parameters zijn. Deze worden bepaald aan de hand van de korrelverdeling van het sedimentmonster. De D50 is de mediane korreldiameter van de korrelverdeling. Hiervoor geldt dat 50 procent van de korrels een grotere korreldiameter en 50 procent van de korrels een kleinere korreldiameter heeft dan deze korreldiameter. Het slibgehalte bestaat uit het percentage sediment dat een kleinere korreldiameter heeft dan 63 µm.
Het slibgehalte is vooral belangrijk voor bodemdieren. In de regel is de rijkdom van de bodem aan bodemdieren hoger bij hogere slibgehaltes. De mediane korreldiameter zegt meer over de samenstelling en herkomst van de zandfractie in de bodem.

De eventuele veranderingen in de bodemsamenstelling in de Westerschelde worden beschreven aan de hand van vier hypothesen. Twee daarvan doen uitspraken over de verwachte ontwikkelingen in de drie deelgebieden (west, midden oost) en twee over specifieke locaties van de Westerschelde, de Hooge Platen en de Slikken van Everingen. Deze gebieden zijn in de hypothese opgenomen om te zien of er als gevolg van het storten in relatief ondiepwater locale effecten op de naastgelegen intergetijdengebieden optreden. De stortlocatie bij

Ellewoutsdijk (vak 25[28]) ligt immers op erg korte afstand van het slik (Figuur 2.9-4).



Figuur 2.9-4: Stortlocaties nabij de Hooge Platen (stortlocatie 22) en de Slikken van Everingen (stortlocaties 19 en 25[1])

De Hooge Platen is een plaatgebied met een relatief hoge natuurwaarde en vormt een zeer belangrijk vogelgebied in de Westerschelde.

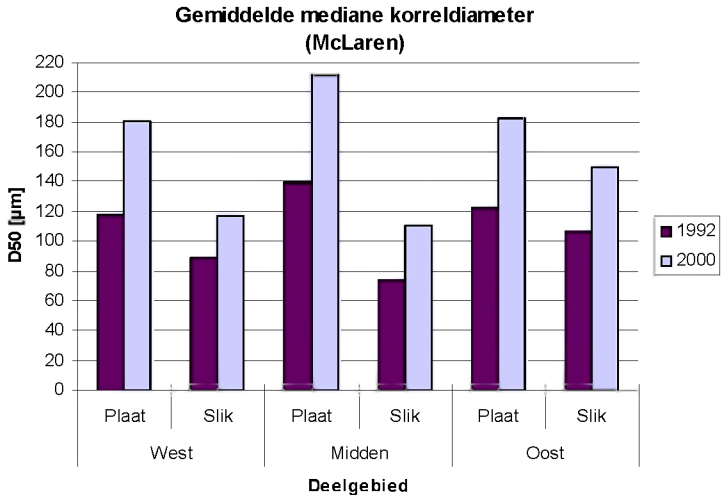
HYPOTHESE B1: De samenstelling van het bodemsediment van platen en slikken in het oostelijk deel van de Westerschelde zal verfijnen.
Toelichting: Door het veranderde stortbeleid wordt meer baggerspecie (met een relatief grote korreldiameter) naar het westen gebracht in plaats van gestort in het oosten. Hierdoor is in het oosten minder grof materiaal beschikbaar. Deze verfijning zal zich geleidelijk voltrekken. De parameters waarop zal worden getoetst zijn D50 en slibgehalte (<63 µm) (De Jong, 1997).

De bodemsamenstelling in het oosten van de Westerschelde wordt bekeken aan de hand van twee verschillende soorten bemonsteringen, de McLaren-bemonstering en de raaibemonstering.
De McLaren-bemonstering van de gehele Westerschelde heeft alleen in de jaren 1992/93 en 2000 plaatsgevonden. De D50 en het slibgehalte van de platen en slikken voor deze jaren in het westen, midden en oosten van de Westerschelde is weergegeven in respectievelijk Figuur 2.9-5: en Figuur 2.9-6.

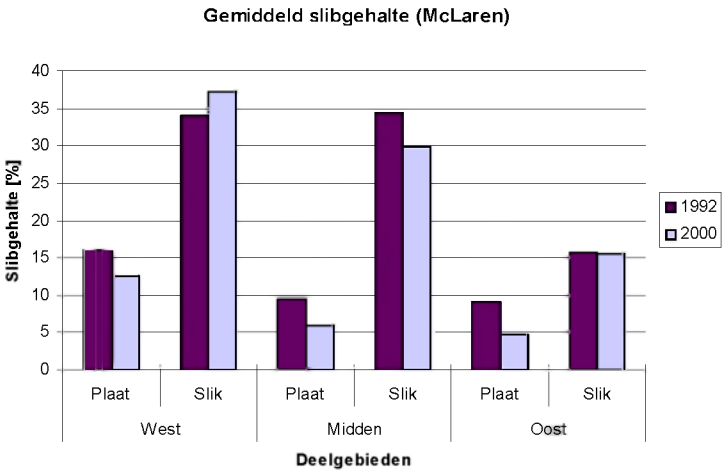
In het oosten van de Westerschelde is tijdens deze periode de D50 op de slikken en platen met 40 tot 48% toegenomen (Figuur 2.9-5:, deelgebied oost). Het slibgehalte in het oosten is alleen op de platen afgenomen met circa 47%. Op de slikken is het slibgehalte gelijk gebleven (Figuur 2.9-6, deelgebied oost).

[28] Dit is het huidige stortvaknummer; in De Jong *et al* (1997) was dit nog vak 20)

Figuur 2.9-5: De mediane korreldiameter op de slikken en platen in de jaren 1992/93 en 2000 in de Westerschelde. Op basis van de gegevens uit de Mclaren-bemonstering.



Figuur 2.9-6: Het gemiddelde slibgehalte op de slikken en platen in de jaren 1992/93 en 2000 in de Westerschelde. Op basis van de gegeven uit de McLaren bemonstering.

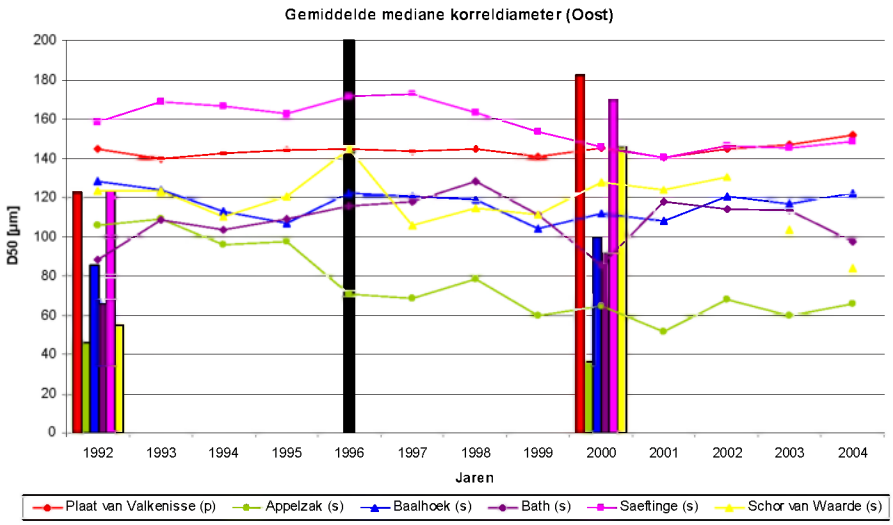


Uit de McLaren bemonstering komt naar voren dat de gemiddelde D50 in het oosten is toegenomen, zowel op de slikken als de platen. Dit betekent dat er in 2000 meer grof materiaal aanwezig is in deze gebieden dan in 1992/93. Daarbij is het slibgehalte op de platen afgenomen. Dit komt niet overeen met de hypothese welke juist een kleinere hoeveelheid grof materiaal op de platen en slikken in het oosten voorspelt.

De McLaren-bemonstering is maar voor twee jaren uitgevoerd. Hierdoor is het lastig om een ontwikkeling waar te nemen. Daarnaast wordt de sedimentsamenstelling bepaald uit alle meetpunten in het oosten van de Westerschelde. Hierdoor gaat het onderscheid tussen de verschillende platen en slikken verloren. Ondanks dat de punten bij de raaimetingen veel verder uit elkaar liggen bieden de raaimetingen meer informatie omdat ze vanaf 1991 elk jaar zijn uitgevoerd, op enkele locaties na.

De gemiddelde D50 op de verschillende raaien in het oosten van de Westerschelde is weergegeven per locatie (Figuur 2.9-7). Hieruit blijkt dat het per locatie verschilt of de gemiddelde D50 is toegenomen of niet. In de tijd verschilt de ontwikkeling ook per locatie. In de figuur zijn naast de resultaten voor de raaien (lijnen) ook de uitkomst van de McLaren-bemonstering in de jaren1992/93 en 2000 weergegeven (staven).
Een vergelijking van de McLaren–bemonstering met de raaibemonstering voor de verschillende locaties geeft aan dat de McLaren-bemonstering voor 1992/93 een lagere gemiddelde D50 geeft dan de overeenkomstige raaibemonsteringen in het gebied. Voor 2000 komt de McLaren-bemonstering beter overeen met de raaibemonstering.

Figuur 2.9-7: Gemiddelde mediane korrelgrootte in de raaien in het oosten van de Westerschelde op 2 cm diepte (lijnen). Voor de jaren 1992/93 en 2000 zijn ook de McLaren uitkomsten gegeven (staven). De kleuren van de locaties komen overeen.



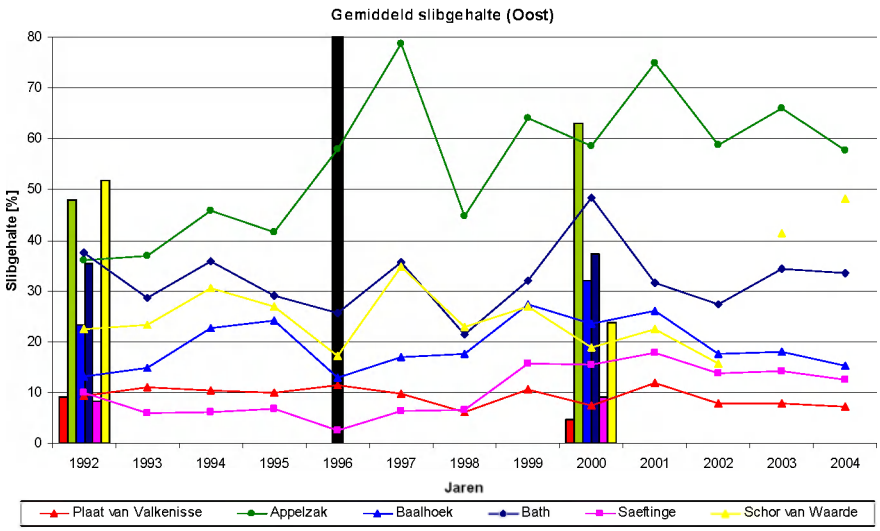
De ontwikkeling van de D50 op Appelzak laat een geleidelijke afname zien, welke voornamelijk tussen 1991 en 1996 plaatsvindt. Bij Bath en Baalhoek, maar ook op de Plaat van Valkenisse is over de gehele periode van 1991 tot en met 2004 niet veel veranderd. Terwijl bij Saeftinge de gemiddelde D50 tussen 1996 en 2004 duidelijk is afgenomen (13%).

Na 2001 zijn er op de Schor van Waarde kribben aangelegd. Hierdoor is in een hoog tempo slibrijk materiaal gesedimeteerd en de gemiddelde D50 gedaald. Als gevolg van deze sterke aanpassing van het gebied zijn deze laatste jaren niet meer representatief voor de vergelijking van de ontwikkeling voor en na 1996. De waarden worden na 2002 dan ook niet meer meegenomen in de analyse. Dit geldt ook voor de beschrijving van het slibgehalte van het Schor van Waarde (Figuur 2.9-8). In de periode 1991 tot en met 2001 is de gemiddelde D50 niet veel veranderd op de hogere waarde in 1996 na.
Voor alle locaties geeft de gemiddelde D50 in de 10 cm laag ongeveer hetzelfde beeld.

Het gemiddelde slibgehalte in de raaien in het oosten is weergegeven in Figuur 2.9-8. Hieruit komt duidelijk naar voren dat ook het slibgehalte

per locatie kan verschillen. Ook in deze figuur zijn naast de resultaten voor de raaien (lijnen) ook de uitkomst van de McLaren-bemonstering in de jaren1992/93 en 2000 weergegeven (staven).

Figuur 2.9-8: Gemiddeld slibgehalte op de raaien in het oosten van de Westerschelde op een diepte van 2 cm (lijnen). Voor de jaren 1992/93 en 2000 zijn ook de McLaren uitkomsten gegeven (staven). De kleuren van de locaties komen overeen.



De resultaten van de bepaling van het gemiddelde slibgehalte uit de McLaren-bemonstering komen voor meerdere locaties redelijk, tot goed overeen voor zowel het jaar 1992/93 als 2000.
Uit de raaibemonstering komt naar voren dat over de periode van 1996-2004 het gemiddelde slibgehalte bij Baalhoek (18%), Bath (30%) en Saeftinge (80 %) is gestegen. In Appelzak en het Schor van Waarde[29] is het slibgehalte juist gelijk gebleven. Op de Platen van Valkenisse is het gemiddelde slibgehalte gedaald (37%).

De toename van de gemiddelde mediane korreldiameter op de platen, welke naar voren komt uit de McLaren-bemonstering, wordt niet ondersteund door de raaibemonsteringen. Uit de raaibemonstering komt naar voren dat de sedimentsamenstelling in het oosten van de Westerschelde na 1996 niet sterk is veranderd. Bij Saeftinge is een daling van de gemiddelde mediane korreldiameter waargenomen samen met een stijging van het gemiddelde slibgehalte. Dit zou een indicatie kunnen zijn dat er verfijning van het bodemmateriaal is opgetreden. Op de overige locaties is de gemiddelde mediane korreldiameter voornamelijk gelijk gebleven (soms iets gestegen) samen met een gelijkblijvend of gestegen gemiddeld slibgehalte. Hiermee komt alleen Saeftinge overeen met de hypothese.

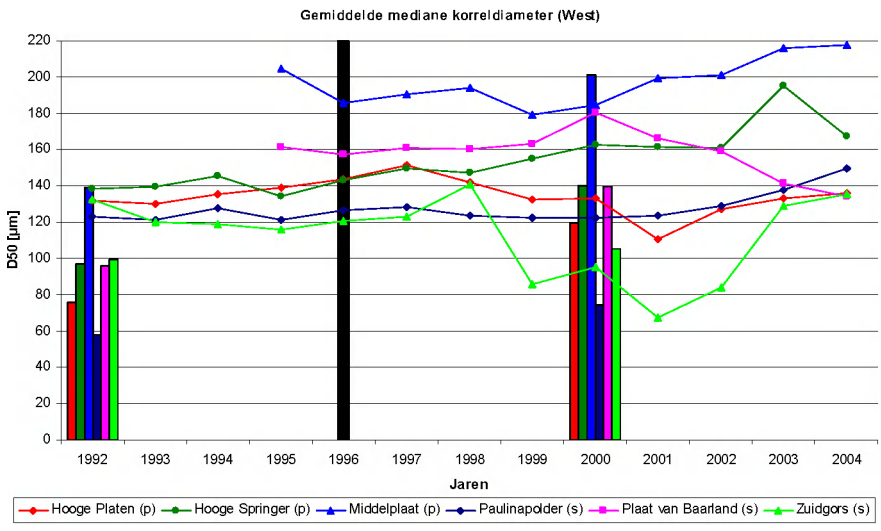
HYPOTHESE B2: De samenstelling van het bodemsediment van platen en slikken in het midden en westelijk deel van de Westerschelde verandert niet
Toelichting: In het westen en midden is het sediment van nature grover dan in het oosten. Verhoging van de stortingen in het westen zal geen verandering voor de sedimentsamenstelling tot gevolg zal hebben. De parameters waarop zal worden getoetst zijn D50 en slibgehalte (<63 µm).

[29] Ook hier worden voor het Schor van Waarde, net als bij de mediane korreldiameter, de waarden na 2001 buiten beschouwing gelaten vanwege de aanleg van kribben op het slik

Uit de McLaren-bemonstering (Figuur 2.9-5:) komt naar voren dat op de platen in westen de gemiddelde D50 ongeveer gelijk is aan de gemiddelde D50 in het oosten. In het midden gebied is de gemiddelde D50 het hoogst. Het gemiddelde slibgehalte op de platen daarentegen is in het oosten en midden ongeveer gelijk en in het westen het hoogst (Figuur 2.9-6). Op de slikken blijkt dat de gemiddelde D50 in het westen het laagst is en in het oosten het hoogst. Het gemiddelde slibgehalte op de slikken is in het westen het hoogst en in het oosten het laagst. De bodemsamenstelling in het westen en midden is dus niet overduidelijk grover dan in het oosten.

Er wordt verwacht dat er in het westen en midden van de Westerschelde geen verandering in de bodemsamenstelling op zal treden. In Figuur 2.9-5: (Deelgebied midden en west) is te zien dat in het westen en midden er op de platen een stijging in de gemiddelde D50 zichtbaar is van 50%. Het gemiddelde slibgehalte op de platen is met 20 tot 30 % gedaald (Figuur 2.9-6, deelgebied west en midden). Het gemiddelde slibgehalte op de slikken in het westen is toegenomen (10%) terwijl het in het midden is afgenomen. Net als op de platen vertonen de slikken in het westen en midden een stijging van de gemiddelde D50 (30 tot 50%). Dit geeft een indicatie dat de bodemsamenstelling in het midden maar ook in het westen grover is geworden. Dit komt niet overeen met de hypothese.

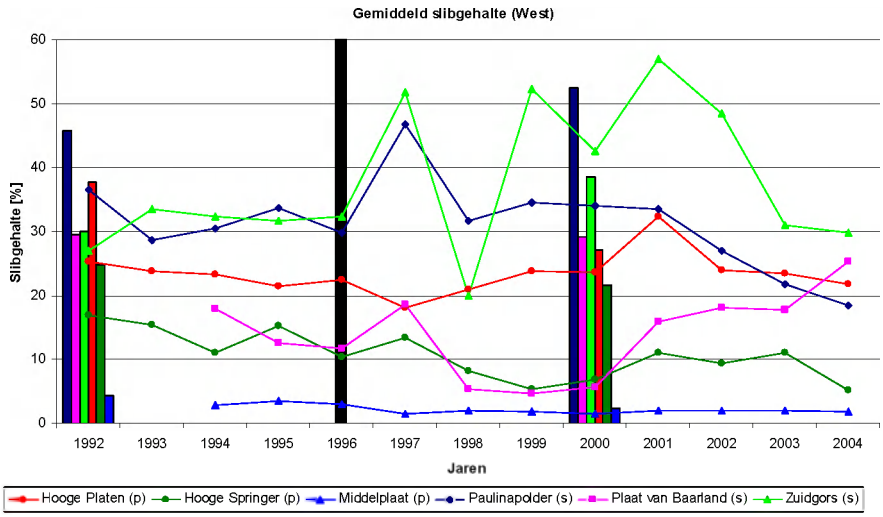
De gemiddelde D50 voor de verschillende locaties van de raaienbemonsteringen in het westen van de Westerschelde zijn weergegeven in Figuur 2.9-9. Ook hier geeft de McLaren-bemonstering in 1992/93 een lagere gemiddelde D50 dan de raaibemonstering. Veel veranderingen in de gemiddelde D50 lijken er sinds 1996 niet te zijn opgetreden. De gemiddelde D50 is op de Middelplaat (17%), de Hooge Springer (17%) en Paulinapolder (18%) gestegen. Op Zuidgors is tot 2001 een zeer sterke daling van de D50 zichtbaar, maar in 2004 is de D50 bijna weer gelijk aan de waarde van 1996. Op de Plaat van Baarland (14%), en de Hooge Platen (5%) is de gemiddelde D50 afgenomen.



Figuur 2.9-9: Gemiddelde mediane korreldiameter op de verschillende locaties op 2 cm in het westen van de Westerschelde (lijnen). Voor de jaren 1992/93 en 2000 zijn ook de McLaren uitkomsten gegeven (staven). De kleuren van de locaties komen overeen.

Het gemiddelde slibgehalte bepaald uit de raaibemonsteringen voor het westen van de Westerschelde is weergegeven in Figuur 2.9-10.
Het slibgehalte is op de Plaat van Baarland (114%) is toegenomen. Op de Zuidgors is in de periode 1998-2001 een duidelijke toename van het slibgehalte te zien, deze is in 2004 echter weer afgenomen tot het niveau van 1996. De Middelplaat en de Hooge Platen vertonen weinig verandering in het slibgehalte. Op Paulinapolder (37%) en de Hooge Springer (49%) wordt een afname van het slibgehalte waargenomen.

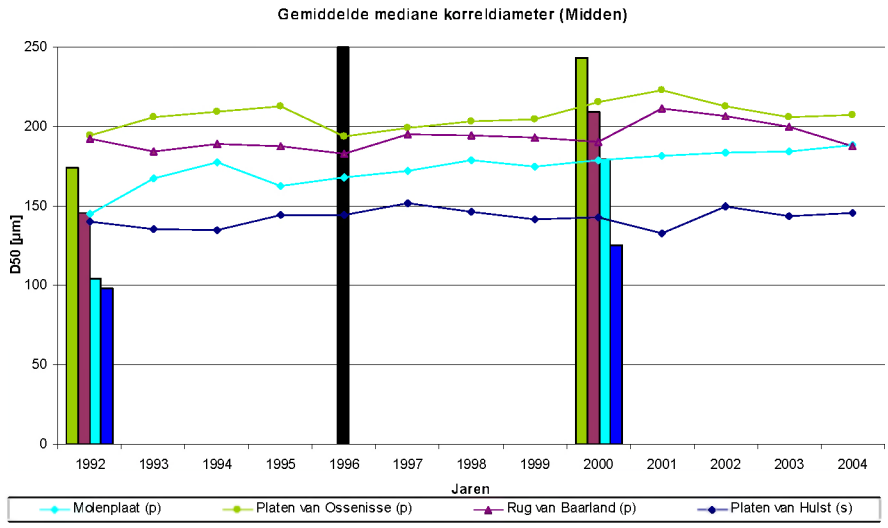
Figuur 2.9-10: Gemiddeld slibgehalte op de verschillende locaties op 2cm in het westen van de Westerschelde (lijnen). Voor de jaren 1992/93 en 2000 zijn ook de McLaren uitkomsten gegeven (staven). De kleuren van de locaties komen overeen.



De bodemsamenstelling in het westen is op Paulinapolder en de Hooge Springer grover geworden. Dit komt overeen met de resultaten uit de McLaren-bemonstering. De Hooge Platen vertoont weinig verandering. Op de Plaat van Baarland daarentegen is de sedimentsamenstelling juist fijner geworden.

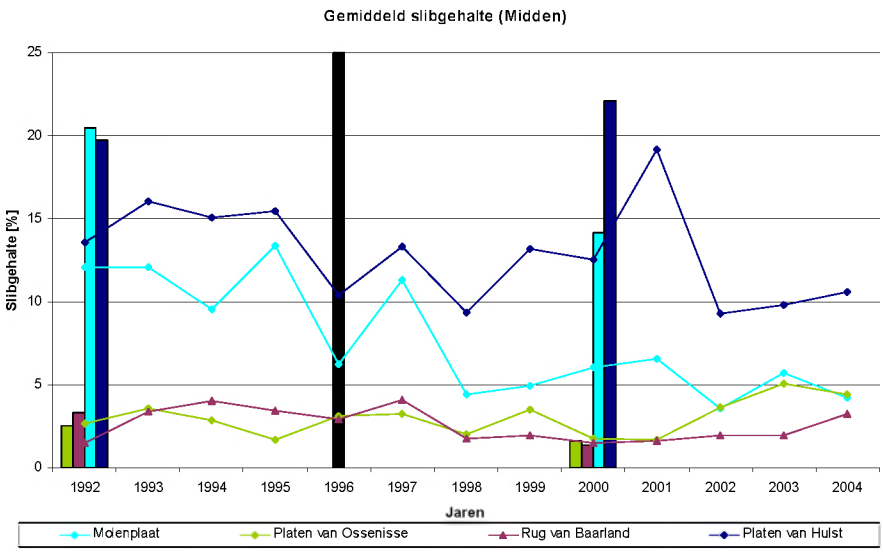
De gemiddelde D50 in het midden van de Westerschelde is weergegeven in Figuur 2.9-11.

Figuur 2.9-11: Mediane korreldiameter op de verschillende locaties op 2 cm in het midden van de Westerschelde (lijnen). Voor de jaren 1992/93 en 2000 zijn ook de McLaren uitkomsten gegeven (staven). De kleuren van de locaties komen overeen



Op de Molenplaat (12%) en de Plaat van Ossenisse (7%) is de gemiddelde D50 in de periode 1996-2004 gestegen. Terwijl de Platen van Hulst en de Rug van Baarland niet zijn veranderd.

Het gemiddelde slibgehalte is weergegeven in Figuur 2.9-12. Hieruit blijkt dat het gemiddelde slibgehalte in het midden vrij laag is (maximaal 23 %) vergeleken met de andere delen van de Westerschelde.



Figuur 2.9-12: Slibgehalte op de verschillende locaties op 2cm in het midden van de Westerschelde lijnen). Voor de jaren 1992/93 en 2000 zijn ook de McLaren uitkomsten gegeven (staven). De kleuren van de locaties komen overeen.

Alleen op de Molenplaat is het gemiddelde slibgehalte duidelijke gedaald (32%). In de andere gebieden is het slibgehalte min of meer gelijk gebleven. Er zijn wel kleine fluctuaties te zien zoals, op de Rug van Baarland (9%) en de Platen van Ossenisse (41%) waar het gemiddelde slibgehalte iets is gestegen. Het gemiddelde slibgehalte op de Platen van Hulst is gelijk gebleven.

Alleen de sedimentsamenstelling op de Molenplaat is duidelijk grover geworden. De overige locaties laten alleen een wijzing in het slibgehalte óf de mediane korreldiameter zodat er geen duidelijke aanwijzing is voor een verandering in de sedimentsamenstelling. Op de Molenplaat na komt dit overeen met de hypothese, welke een gelijkblijvende bodemsamenstelling veronderstelt.

Het is duidelijk dat het zeer locatie afhankelijk is of er een stijging of daling in het gemiddelde slibgehalte en/of de D50 plaats vind. Ook voor de platen en slikken als geheel is er geen eenduidige aanwijzing dat er een algemene vergroving of verfijning van de platen of slikken in een deelgebied heeft plaats gevonden laat staan voor de gehele Westerschelde.

De bodemsamenstelling van de Slikken van Everingen en de Hooge Platen zijn met behulp van de jaarlijkse McLaren-bemonsteringen apart bekeken (Figuur 2.9-2:).

HYPOTHESE **B3: De samenstelling van het bodemsediment van de Slikken van Everingen zal grover worden.**

Toelichting: Door stortingen voor Ellewoutsdijk (vak 25[30]) en in de Ebschaar van de Everingen (vak 19[31]) zal de sedimentsamenstelling van de slikken grover worden. Bij de stortplaats Ebschaar van de Everingen wordt op geringe diepte gestort. Het sediment uit stortvak Ellewoutsdijk zal vanuit de Vloedschaar van de Everingen door de stroom naar de ondiepere delen worden getransporteerd. De vergroving zal vrij snel na de start van de stortingen merkbaar zijn. Na verloop van tijd zal de snelheid van verandering afnemen, totdat er weer een stabiele situatie is ontstaan. De parameters waarop zal worden getoetst zijn D50 en slibgehalte (%<63 μm) (De Jong et al, 1997).

De hypothese is gebaseerd op de verwachting dat het effect van de verruiming bij de Slikken van Everingen vrij snel na de start van de stortingen merkbaar is, omdat de stortlocaties Ellewoutsdijk (vak25) en Ebschaar van Everingen (vak19) er dicht bij liggen (Figuur 2.9-4). De stortlocatie Ebschaar van Everingen ligt ook tamelijk ondiep. Het gestorte sediment komt voornamelijk van de drempels uit het oosten en is grover dan het sediment dat op de slikken van Everingen aanwezig is. Na verloop van tijd zal de snelheid van verandering afnemen, totdat er weer een stabiele situatie is ontstaan.

De bodemsamenstelling van de Slikken van Everingen is voor de jaren 1992 en 1998 tot en met 2004 beschikbaar. Het is daardoor niet mogelijk om een nulontwikkeling of referentiewaarde voor 1996 te bepalen. Er is daarom gekozen om aan de hand van een variantie analyse te bepalen of de gemiddelde waarde van de D50 voor de jaren 1992, 1998 tot en met 2004 significant van elkaar verschillen met een nauwkeurigheid van 5%.

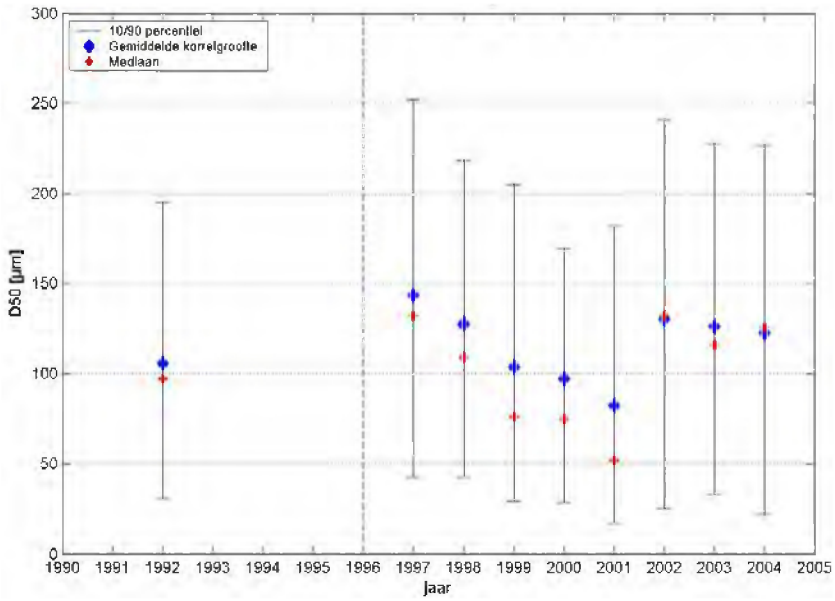
De ontwikkeling van de mediane korrelgrootte (D50) en het slibgehalte (%<63 μm) op de slikken van Everingen zijn weergegeven in respectievelijk Figuur 2.9-13: en Figuur 2.9-14:. Hierin wordt de jaar gemiddelde mediane korreldiameter weergegeven met de bijbehorende 10 en 90 percentielen. Deze percentielen geven een beeld van de spreiding in de D50. Tevens is de mediaan ('middelste waarde') gegeven van de D50 voor het betreffende jaar.

De mediane korrelgrootte (D50) op de Slikken van Everingen laat van 1997 tot en met 2001 een geleidelijke afname zien. Deze afname wordt na 2001 onderbroken. Vanaf 2002 tot en met 2004 is de D50 weer grover geworden.
De 10 en 90 percentielen in de figuur laten zien dat de spreiding in de mediane korrelgrootte redelijk groot is binnen een jaar over de meetpunten. Dit komt zeer waarschijnlijk doordat de meetpunten op de Slikken van Everingen zowel aan de bovenkant dicht bij de rand van het schor liggen als aan de onderkant dicht bij de rand van de geul liggen.

[30] Dit is het huidige stortvaknummer; in De Jong *et al* (1997) was dit nog vak 20)

[31] Dit is het huidige stortvaknummer; in De Jong *et al* (1997) was dit nog vak 13)

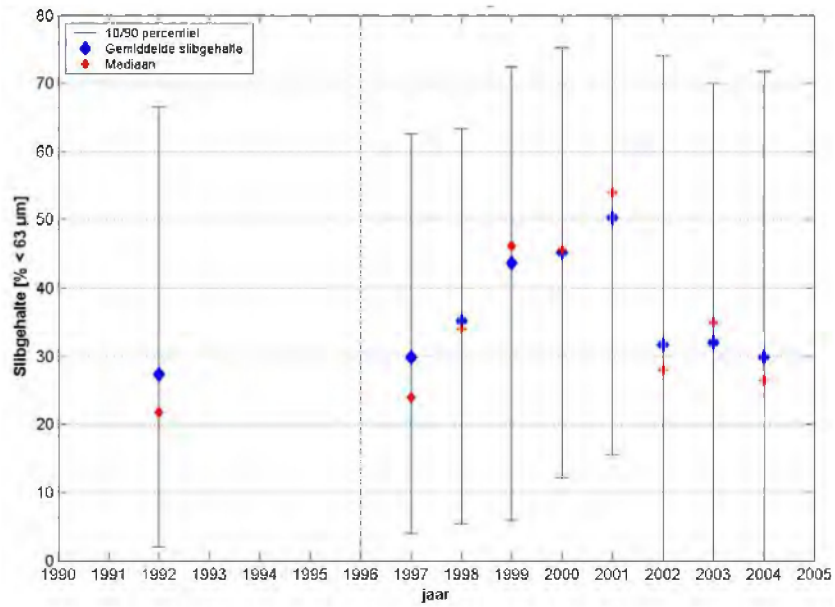
Hierdoor wordt wel de gehele Slikken van Everingen beschreven maar heeft tot gevolg dat er een grote spreiding is in de korreldiameters en dus de D50.



Figuur 2.9-13: Ontwikkelingen van de korrelgrootte (D50) op de slikken van Everingen.

Er sprake is van een significant (p = 0,04) verschil tussen de gemiddelde mediane korrelgrootte van de jaren 2001 en 1997.

Het slibgehalte op de slikken van Everingen laat een tegenovergesteld beeld zien (Figuur 2.9-14). Hier is juist een stijging te zien van 1997 tot en met 2001. Deze verfijning lijkt zich na 2001 niet door te zetten. In 2002 tot en met 2004 is het slibgehalte met "één stap" gedaald naar ongeveer 30 procent. De 10- en 90-percentielen laten, net als bij de mediane korrelgrootte, zien dat de spreiding van het slibgehalte groot is. Er is sprake van een significant verschil (p = 0,002) tussen het gemiddelde slibgehalte van de jaren 2001 en 2004.



Figuur 2.9-14: Ontwikkeling van het slibgehalte (%<63 µm) op de Slikken van Everingen.

De verwachting vanuit de hypothese dat er een vergroving van de samenstelling van het sediment als gevolg van de nabije stortingen na de verdieping in juni 1997-1998 op zou treden lijkt niet te kloppen. Er treedt tot 2001 juist een verfijning op.
Er is gebleken dat voor zowel het slibgehalte als de mediane korreldiameter het jaar 2001 als significant verschillend van andere jaren wordt beschouwd.

Een verandering in de bodemsamenstelling zou men vlak na de verruiming verwachten. De verfijning van de bodemsamenstelling die van 1997 tot en met 2001 lijkt op te treden is wel degelijke een sterke verandering ten opzichte van 1992. Er wordt hier gekeken ten opzichte van 1992 omdat er geen waarde voor 1996 beschikbaar is.
In de jaarlijkse raaibemonstering van Zuidgors (Slikken van Everingen) is deze ontwikkeling over de periode 1997 – 2001 ook te zien (Figuur 2.9-9 en Figuur 2.9-10). Tevens is uit deze figuren op te maken dat de aanname om de ontwikkeling na 1997 te vergelijke met het jaar 1992 in plaats van 1996 een geoorloofde aanname is. De gemiddelde D50 en het gemiddelde slibgehalte zijn in de periode 1992 tot en met 1996 namelijk nagenoeg onveranderd.

De verfijning die is opgetreden tussen 1997 en 2001 zou een gevolg kunnen zijn van de stortingen in de nabijgelegen stortvakken. In het stortvak 25 (Ellewoutsdijk) werd voor 1997 nog niet gestort. Een zeer groot gedeelte van het aanlegbaggerwerk in de jaren 1997 en 1998 is op deze locatie gestort (Figuur 2.12-14). De stortingen bij Ellewoutsdijk zijn na 2001 wel afgenomen maar niet gestopt, terwijl de verfijning van de Slikken van Everingen wel abrupt wordt onderbroken na 2001. De bodemsamenstelling van de periode 2002 tot en met 2004 is nagenoeg stabiel en gelijk aan de bodemsamenstelling van 1992. Het ziet er dus naar uit dat de bodemsamenstelling op de slikken van Everingen niet direct verandert als gevolg van de stortstrategie in nabijgelegen vakken.

HYPOTHESE B4: De bodemsamenstelling van de Hooge Platen verandert niet.

Toelichting: De stortingen in de Schaar van de Spijkerplaat zullen geen invloed hebben op de samenstelling van het bodemsediment op de Hooge Platen, omdat de stortplaats in een diepe geul ten noorden van de Hooge Platen ligt. De stroomrichting is west-oost, zodat geen transport richting Hooge Platen wordt verwacht. De parameters waarop zal worden getoetst zijn D50 en slibgehalte (<63 μm) (De Jong, 1997).

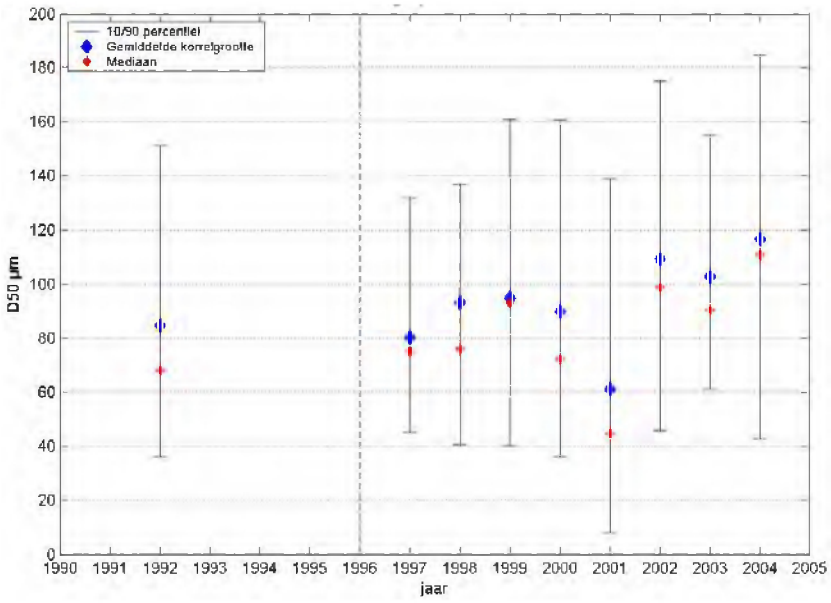
Van de stortingen in de Schaar van de Spijkerplaat wordt verwacht dat deze geen invloed zullen hebben op de bodemsamenstelling van de Hooge Platen, aangezien de stortplaats in een diepe geul ten noorden van de Hooge Platen ligt (Figuur 2.9-4).

De mediane korrelgrootte (D50) en het slibgehalte (%<63 μm) op de Hooge Platen is weergegeven respectievelijk in Figuur 2.9-15: en Figuur 2.9-16:. De mediane korrelgrootte op de Hooge Platen neemt toe. Ook hier valt het jaar 2001 op. In de periode 1996 – 2000 is de D50 ongeveer gelijk aan de D50 in 1992. Na 2001 wordt er een soort

sprongetje gemaakt naar een D50 rond de 110 µm. De 10- en 90-percentielen laten zien dat de spreiding van de mediane korrelgrootte groot is.

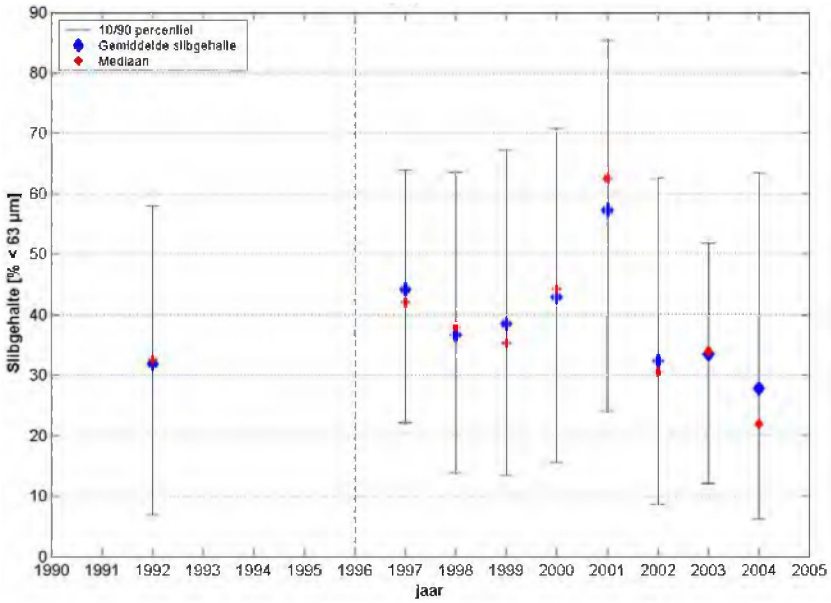
Er is sprake van een significant (p = 0,00006) verschil tussen de gemiddelde korrelgrootte van de jaren 1997 tot en met 2000 ten opzichte van 2001.

Figuur 2.9-15: Ontwikkelingen van de korrelgrootte (D50) op de Hooge platen.



Het slibgehalte op de Hooge Platen daalt (Figuur 2.9-16:). In de periode 1997-2000 is het slibgehalte redelijk constant maar na 2001 is het slibgehalte met een stap afgenomen naar ongeveer 30 procent. De 10- en 90-percentielen laten ook hier zien dat de spreiding van de slibgehalten groot is.

Figuur 2.9-16: Ontwikkeling van het slibgehalte (%<63 µm) op de Hooge platen.



Er is sprake van een significant (p = 0,00006) verschil tussen het gemiddelde slibgehalte van de verschillende jaren. De verschillen treden

op tussen de jaren 2000 en 2002 tot en met 2004 ten opzichte van 2001.

De verwachting vanuit de hypothese is dat er geen verandering van de bodemsamenstelling zal optreden als gevolg van de stortingen in de Schaar van de Spijkerplaat. Vanaf 1981 wordt er tijdens eb in de Schaar van de Spijkerplaat gestort. In 1998 en 1999 is er tevens tijdens vloed gestort (Figuur 2.12-14).
Op de Hooge Platen heeft in de periode 1992 tot en met 2004, zeer geleidelijk, een vergroving van het sediment plaatsgevonden met uitzondering van het jaar 2001. Dit komt niet overeen met de hypothese.

2.9.3. Conclusie bodemsamenstelling

Aan de hand van vooraf gestelde hypothesen is een beeld verkregen van de bodemsamenstelling in de Westerschelde. In Tabel 2.9-1: is een overzicht gegeven van de resultaten van de hypothesen.

Tabel 2.9-1: Conclusies bodemsamenstelling

Hypothese		Ontwikkeling na 1996	Verwerpen?	Opmerkingen
B1	Oost	Alleen verfijning bij Saeftinge. Geen duidelijke verandering in de andere locaties.	Mogelijk	Op meer locaties treedt geen verandering van de bodemsamenstelling op i.p.v. een verfijning.
B2	West en midden	In het midden is alleen de Molenplaat is grover geworden. In het westen zijn Paulinapolder en Hooge Springer grover geworden en is de Plaat van Baarland fijner geworden.	Mogelijk voor het westen	De bodemsamenstelling in het middendeel verandert nauwelijks. In het Westen vindt zowel vergroving als verfijning van de bodemsamenstelling plaats i.p.v. geen verandering.
B3	Slikken van Everingen	Verfijning tot 2001. In 2004 weer op niveau van 1992	Ja	Geen verandering i.p.v. grovere sedimentsamenstelling
B4	Hooge Platen	Geleidelijke vergroving	Ja	Grovere sedimentsamenstelling i.p.v. gelijke sedimentsamenstelling

De bodemsamenstelling in het oosten is weinig veranderd. Alleen bij Saeftinge is een daling van de gemiddelde mediane korreldiameter waargenomen samen met een stijging van het gemiddelde slibgehalte. Dit zou een indicatie kunnen zijn dat er verfijning van het bodemmateriaal is opgetreden. Op de andere locaties in het oosten is alleen een wijziging in de D50 óf het slibgehalte geconstateerd. Dit komt niet overeen met hypothese B1.

De sedimentsamenstelling in het midden van de Westerschelde is net als het oosten min of meer gelijk gebleven. Alleen op de Molenplaat is de sedimentsamenstelling grover geworden.
In het westen is de bodemsamenstelling vooral lokaal verschillend. Op Paulinapolder en de Hooge Springer is de sedimentsamenstelling grover geworden. Terwijl de sedimentsamenstelling van de Plaat van Baarland juist fijner is geworden. Alleen de ontwikkeling van het midden van de Westerschelde komt overeen met de verwachting verwoord in hypothese B2.
Het is zeer locatie afhankelijk of er een stijging of daling in het gemiddelde slibgehalte en/of de D50 plaats vind. Ook voor de platen

en slikken als geheel is er geen eenduidige aanwijzing dat er een algemene vergroving of verfijning van de platen of slikken in een deelgebied heeft plaats gevonden.

Op de Slikken van Everingen en de Hooge platen zijn extra McLaren-bemonsteringen uitgevoerd. Hieruit is gebleken dat er een verfijning van de bodemsamenstelling van de Slikken van Everingen in de periode 1998-2001 is opgetreden (zie ook Stikvoort *et al.*, 2003). Echter in de periode 2002-2004 is de bodemsamenstelling weer grover geworden en is weer gelijk is aan de bodemsamenstelling van 1992. Deze ontwikkeling is niet in lijn met de verwachting die in hypothese B3 is verwoord. De bodemsamenstelling van de Hooge Platen wordt over de periode 1997-2004 geleidelijk iets grover. Dit komt niet overeen met de verwachting verwoord in hypothese B4.

2.9.4. Discussie en aanbevelingen

De ontwikkeling van de bodemsamenstelling voor de gehele Westerschelde wordt door middel van de McLaren-bemonsteringen en de sedimentmonsteringen op de raaien beschreven. Het is erg lastig om beide methoden te vergelijken, aangezien de eerste methode voor maar twee jaren beschikbaar is en de tweede methode zeer weinig meetpunten per locatie bevat. De beide methoden vullen elkaar wel aan.

Aan de hand van de McLaren-bemonstering wordt er een indicatie geven van de ontwikkeling van de bodemsamenstelling van de platen en slikken in het westen, midden of oosten van de Westerschelde. Uit de raaibemonstering is gebleken dat de bodemsamenstelling van de platen en slikken onderling zeer verschillend kan zijn per locatie. Het verdient dan ook de voorkeur om in het vervolg resultaten van de McLaren-bemonstering per locatie weer te geven in plaats van een gemiddelde ontwikkeling van alle platen of slikken in een deelgebied samen. Tevens moet er rekening gehouden worden met het feit dat de McLaren methoden nauwkeuriger is voor zand dan voor het slibgehalte (Hartog *et al.*, 1997).

Er zijn extra McLaren-bemonsteringen van de Hooge Platen en de Slikken van Everingen uitgevoerd. Het jaar 2001 komt voor zowel de korreldiameter (D50) als het slibgehalte (%<63 μm) hierin naar voren als een jaar waarvan de gemiddelde waarde afwijkt van de andere jaren.

Voor de waargenomen verfijning in 1997-2001 van de slikken van Everingen kan de verklaring worden gezocht aan de hand van de stortingen in de stortlocatie 25 (nabij het westelijk gedeelte van de slikken, zie Figuur 2.9-4). In deze stortlocatie is door de baggeraars in 1997 en in 1998 een enorm grote hoeveelheid baggerspecie gestort, respectievelijk 2.7 en 4.9 miljoen m3, die niet meteen door de stroming opgeruimd kon worden. Dit gebeurde omdat de baggeraars een tijd lang een andere stortlocatie niet konden gebruiken omdat daar een geulwandverdediging werd aangelegd. Dit heeft nabij de stortlocatie plaatselijk geleid tot veranderingen in stromingspatronen. Zodoende is

mogelijk de hydrodynamiek op de slikken van Everingen afgenomen en is verfijning van het bodemsediment opgetreden. Er heeft voor de Slikken van Everingen immers ook sedimentatie opgetreden waardoor ondiepwater veranderd is in plaat en geulareaal ondiepwater is geworden (Figuur 2.13-10).

De Westerschelde tunnel is aangelegd in de periode 2000 tot en emt 2002. Eind juli 1999 is het boren gestart en in februari 2002 is het boren beëindigd. Hierbij zijn grote hoeveelheden (ongeveer 1,3 miljoen m^3) materiaal vrijgekomen dat voornamelijk uit zand en fijner sediment bestond. Een klein deel is hergebruikt, de rest is in de Westerschelde, ter hoogte van de Pas van Terneuzen, verspreid en gestort (Kornman en Maldegem, 2002). De Slikken van Everingen liggen wel aan de overzijde van de locatie waar het materiaal in de Westerschelde gebracht is. Uit de monitoring behorende bij de aanleg van de tunnel is gebleken dat er voornamelijk extra sedimentatie hiervan is opgetreden op Paulinapolder en op de slikken oostelijk van Terneuzen. In de loop van 2002 is dit gesedimenteerde materiaal weer geërodeerd en op andere plekken in de Westerschelde afgezet (Kronman & Maldegem, 2002).

De ontwikkeling van de Slikken van Everingen is zeer interessant te noemen. De McLaren-bemonsteringen alleen zijn niet voldoende om duidelijk in kaart te brengen welke processen er nu spelen. Tevens hebben er meerdere activiteit in het gebied plaatsgevonden waarvan de aanleg van de tunnel er een is. Zonder deze activiteiten en ontwikkelingen in kaart te brengen is het niet goed mogelijk om het effect van de verruiming op de Slikken van Everingen weer te geven en blijft het bij suggesties.

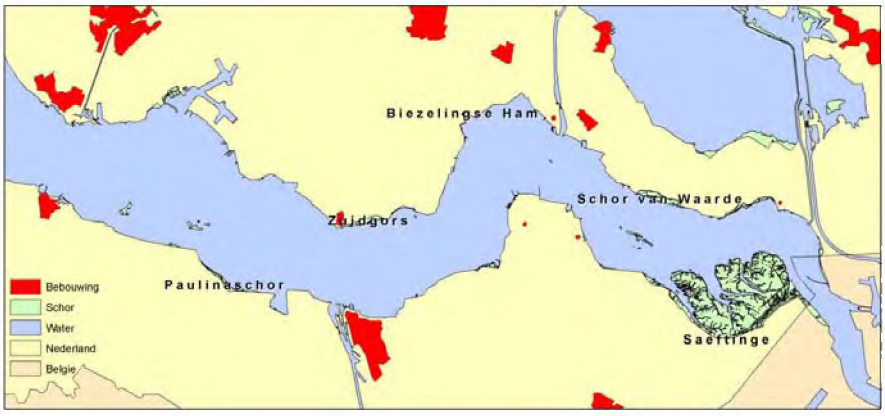
Het bodemmonster zijn genomen in de maanden augustus tot en met oktober. In de zomer kan het slibgehalte hoger uitvallen als gevolg van activiteiten van suspension feeders.

Meteorologische effecten kunnen ervoor zorgen dat de bodemsamenstelling op een bepaalde locatie verandert. Zware stormen hebben zich in de periode 1996-2004 niet voorgedaan. Maar het wordt aanbevolen om de meteorologische gegevens ook te betrekken in de analyse. Een langdurige wind uit een bepaalde richting kan namelijk ook al invloed hebben op de bodemsamenstelling.

2.10 Sedimentatie op schorren

De behandeling van de sedimentatie op schorren beperkt zich hoofdzakelijk tot een bespreking van de gemeten sedimentatie. Er wordt niet ingegaan op de processen, die hieraan ten grondslag liggen. Eveneens blijft de differentiatie in natuurwaarden op de verschillende hoogte niveaus buiten beschouwing. Deze aanpak, d.w.z. alleen focussen op de hypothesen en het hieraan gekoppelde meetnet, is conform de gekozen aanpak in dit rapport. Deze aanpak is tegelijk de beperking van dit rapport.

Schorren zijn zeer specifieke habitats die horen bij estuaria en andere ondiepe kustgebieden met getij-invloed in de (qua klimaat) gematigde zones op de wereld. In de brakke en zoute wateren bestaan de schorren doorgaans uit een dichte vegetatie. Hoewel de soorten diversiteit relatief laag is, is de natuurwaarde van schorren hoog. Schorren zijn op wereldschaal relatief weinig voorkomende biotopen die erg bedreigd zijn. In Nederland komen de belangrijkste arealen schorren in de Waddenzee en in de Ooster- en Westerschelde voor. De Westerschelde is onderdeel van één van de estuaria van ons land waarlangs zoute en brakke schorren zijn gelegen (Figuur 2.10-1).



Figuur 2.10-1: Ligging van de schorren in de Westerschelde volgens de geomorfologische kaart 2004

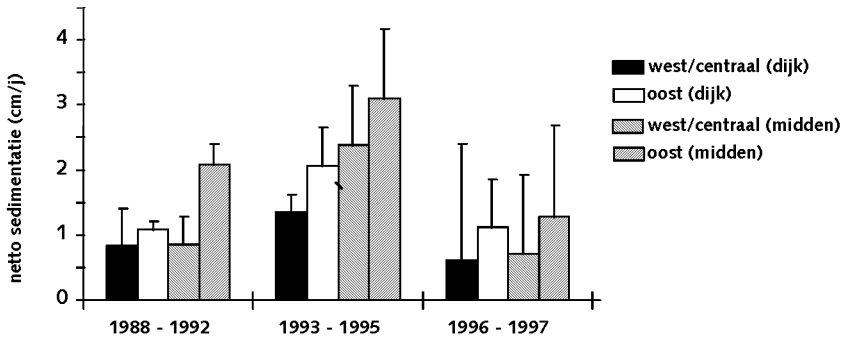
In het oostelijke deel bevinden zich de brakke schorren, een type dat in de Westerschelde ruim vertegenwoordigd is. Het Verdronken Land van Saeftinge, ca. 3000 ha groot, een apart vogelgebied, is het grootste brakwaterschor van Europa. In Europees opzicht zijn brakwaterschorren echter erg zeldzaam.

In de Westerschelde kunnen zich nauwelijks of geen nieuwe schorren ontwikkelen. De schorren nemen over het algemeen in oppervlakte af door kliferosie. Daarnaast hogen de schorren steeds verder op, hetgeen op zich een natuurlijk fenomeen is, maar wat wel betekent dat er nu in de Westerschelde voornamelijk hoog gelegen schorren voorkomen. Laag gelegen, primaire schorren komen nog weinig voor en zullen op termijn zo goed als verdwijnen. In de hypothese over schorren is verondersteld dat de ontwikkeling van schorren gelegen bij stortlocaties wordt versneld door een toename van de sedimentatie.

2.10.1. Methode

Bepaling sedimentatiesnelheid
De ontwikkeling van de sedimentatiesnelheden op schorren wordt gevolgd met zogenaamde kaolienveldjes. Stapel & De Jong (1998) introduceerden deze methode en bepaalden de netto-sedimentatie-snelheden op de schorren van Waarde en Saeftinge voor verschillende tijdsperioden: 1988-1992, 1993-1995 en 1996-1997. De sedimentatie-snelheid wordt berekend over de ontwikkeling van de laagdikte vanaf 500 dagen na aanleg van de kaolienlaag. Deze periode is gebaseerd op de waarneming dat de laagdikte boven kaolien aanvankelijk snel toeneemt doordat deze hoofdzakelijk bestaat uit niet ingeklonken sediment en na zo'n anderhalf jaar een min of meer constante toename heeft.
Toepassing van een periode van 500 dagen voor de berekening van de netto sedimentatiesnelheid blijkt voor de meetreeksen van 1998-2004 niet haalbaar te zijn door te weinig opnamen. De sedimentatie-snelheden op korte termijn zijn vaak zo hoog dat er weinig gegevens over blijven wanneer de gegevens pas vanaf 500 dagen na aanleg meegenomen worden. Over het algemeen is hierbij sprake van een laagdikte-ontwikkeling die meestal vrij constant is (Stikvoort & De Jong, 2003). De sedimentatiesnelheid is daarom aan de hand van de 'hellingshoek' van de grafieklijn, met behulp van lineaire regressie, berekend over de gehele meetreeks van een veldje. Uit deze hellingshoek is vervolgens de sedimentatiesnelheid in mm/jaar berekend. Theoretisch is het wel mogelijk dat de meetreeksen in de veldjes niet lang genoeg zijn om de veronderstelde constante fase te bereiken. De berekende sedimentatiesnelheden zullen in dat geval een overschatting betekenen van de netto-sedimentatiesnelheden. Als laatste aggregatieslag zijn de berekende sedimentatiesnelheden per raai per type (oeverwal, overgang en kom) gemiddeld en zijn bijbehorende standaarddeviaties berekend. Uit de meetreeksen lijkt dat over het algemeen na 2002 de sedimentatie wat is afgenomen. Mogelijk is er ook wat erosie opgetreden, wat het gevolg kan zijn van grote inklink in die periode.

Referentiewaarden
Aangezien de gegevens van de netto-sedimentatiesnelheden van de schor van Waarde het meest compleet zijn, in zowel tijd als ruimte, zijn deze maatgevend gesteld voor de T_0 situatie van de sedimentatiesnelheid op de schorren in de Westerschelde (Figuur 2.10-2) (Van Berchum & Stikvoort ,1999). De 'knip' m.b.t. de realisatie van de verruiming is voor deze hypothese gezet op 1 januari 1998. De geobserveerde range netto-sedimentatiesnelheden lag tot de 'knip' tussen 0,5 en 3 cm/j (Stapel & De Jong, 1998).



Figuur 2.10-2: Gemiddelde netto-sedimentatiesnelheid (T_0) op het schor bij Waarde. (Uit Stapel & de Jong (1998)). De positie van de raai wordt aangegeven vanaf de dijkzijde richting de schorrandzijde. Let op eenheid in cm/j in tegenstelling tot andere figuren in deze paragraaf

Methode van toetsing
De kaoliengegevens van 1998 tot 2004 zijn volgens de hiervoor gegeven rekenwijze omgerekend naar gemiddelde sedimentatiesnelheid per veldje. Daarbij is de standaardafwijking berekend. De oudere gegevens, van vóór 1998 zijn buiten beschouwing gelaten. Daarnaast heeft een inhoudelijke check plaatsgevonden van de gepresenteerde sedimentatiesnelheid in de tussentijdse evaluatie 2003. Bij deze verwerking is gebleken dat het vervangen van kaolienlaagjes niet altijd correct en consequent in de database is doorgeëxerceerd. Per gebied is hieromtrent zo nodig een opmerking gemaakt.

Als criteria voor het al of niet verwerpen van de hypothese zijn de berekende kentallen voor de periode 1998-2002 afgezet tegen de vroegere waarnemingen (0,5 tot 3 cm/j) van Stapel & De Jong (1998) en de ranges voor natuurlijke sedimentatiesnelheden op schorren die bekend zijn voor estuaria zoals de Westerschelde (0,5 tot 5 cm/j; in: Stapel & De Jong 1998). Liggen de snelheden boven de 5 cm/j dan wordt de hypothese verworpen.

2.10.2. Hypothese

De hypothese voor sedimentatie op schorren, die oorspronkelijk is gebaseerd op het plan van aanpak van MOVE (De Jong *et al*, 1997), is aangepast naar aanleiding van de monitoringresultaten in 1997 en 1998 (Van Berchum en Stikvoort, 1999). In dit rapport is geconcludeerd dat het bij de schorren gaat over verhoogde sedimentatiesnelheid in plaats van de successie van de vegetatie. De aangepaste hypothese luidt:

HYPOTHESE E20: **De sedimentatiesnelheden op de meeste schorren zullen niet veranderen t.g.v. de verruiming; alleen op schorren in de naaste omgeving van een stortlocatie (Schor van Waarde en Zuidgors) kan mogelijk extra sediment worden aangevoerd (aangepaste hypothese).**
Toelichting Het Westerscheldewater is reeds van nature erg sedimentrijk en de gestorte specie zal grotendeels vrij dicht bij de stortlocatie bezinken. Alleen op schorren in de naaste omgeving (binnen enkele kilometers) van een stortlocatie kan extra sediment worden aangevoerd(De Jong et al, 1997).

De aanname achter deze hypothese is dat de grotere onderhouds-baggerinspanning van de drempels, waarbij ook meer specie op daartoe aangewezen locaties in de Westerschelde teruggestort zal worden in

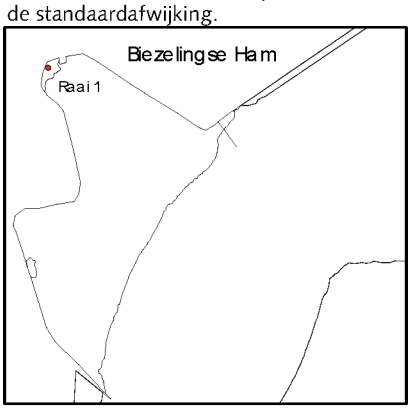
het algemeen niet zullen leiden tot verhoogde sedimentconcentraties in het water en daarmee sedimenttransport tot op de schorren[32].

De verwachting is dat de sedimentatiesnelheden op schorren in het algemeen niet verhoogd zullen zijn door de verruiming. Alleen lokaal, dichtbij stortlocaties, waaronder mogelijk de schorren van Zuidgors en Waarde, zal het sedimenttransport naar de schorren wel verhoogd kunnen zijn. Dit leidt tot extra snelle ophoging van het schor[33] en daarmee tot het sneller doorlopen van de natuurlijke successie op schorren, omdat deze in hoge mate bepaald wordt door de hoogteligging van het maaiveld. De sedimentsamenstelling is daarbij minder van belang. Aangezien de stortstrategie in 1997 is gewijzigd, wordt verwacht dat als er een effect is dat deze zich in de tijdreeksen zal manifesteren als een trendbreuk rond dat jaar. Met het sneller ophogen van het schor neemt de overstromingsfrequentie echter wel sneller af, waardoor in de tijd langzamerhand weer minder sediment afgezet zal kunnen worden.

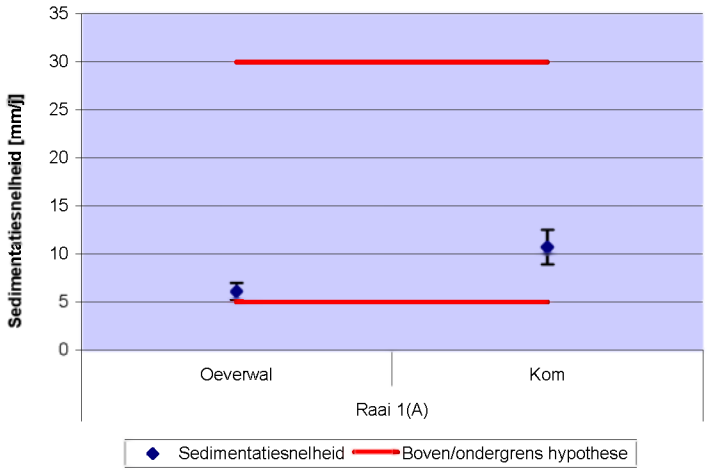
Biezelingse Ham

In de Biezelingse Ham is één raai uitgezet voor sedimentatie (Figuur 2.10-3). Op het schor zijn gemiddelde sedimentatiesnelheden gemeten van minder dan 11 mm/j in de kommen en 6 mm/j op de oeverwallen. Dit zijn waarden in het lage deel van de range (5 tot 30 mm/j) die door Stapel en de Jong (1998) over de periode1988-1997 op het schor van Waarde en Saeftinge is vastgesteld. Opmerkelijk is dat de sedimentatiesnelheid in de kom circa twee maal zo hoog is als op de oeverwal; normaliter is de sedimentatie op oeverwallen het hoogst.

Figuur 2.10-3: Sedimentatie op de schor de Biezelingse Ham. A) Ligging van de raai. B) Gemiddelde sedimentatiesnelheid op het schor in de periode 1998-2004. De verticale lijnen geven de standaardafwijking.



A)



B)

Zuidgors

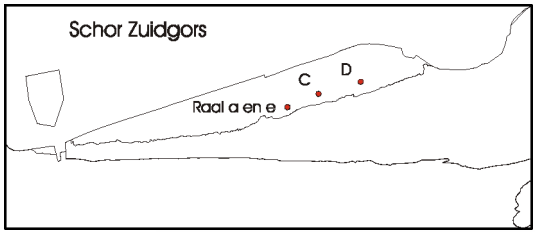
Op het schor de Zuidgors liggen een drietal raaien (Figuur 2.10-4) waarvan raai 1 A (Kom) en raai B door erosie zijn verdwenen. De raaien C en D zijn nog kompleet. Op de locatie van raai B is raai E gekomen,

[32] Zie voor nadere informatie omtrent het storten paragraaf 2.12

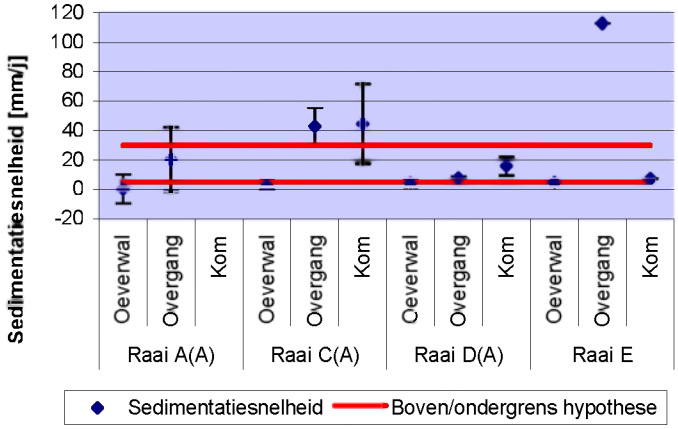
[33] Ervan uitgaande dat de sedimentatie groter is dan de inklinking van het schor

die vrijwel meteen al weer weg was (Figuur 2.12.-3). Op de veldjes op het schor Zuidgors zijn zeer grote verschillen in sedimentatiesnelheden gemeten. Naast relatief lage gemiddelden die meestal de 10 mm/j niet overstijgen, vallen de kom en de overgangszone van raai C met snelheden van 40 à 50 mm/j op en is de gemiddelde snelheid van 110 mm/j in de overgangszone bij raai E heel erg hoog.

Figuur 2.10-4: Sedimentatiesnelheid op de Schor Zuidgors. A) Ligging raaien. B) Gemiddelde sedimentatiesnelheid in de periode 1998 – 2003. De verticalenlijnen geven de standaardafwijking.



A)



B)

In de voorgaande rapportage (Stikvoort *et al.*, 2003) werd een zelfde beeld geconstateerd met zeer hoge sedimentatiesnelheden in de kom of het overgangsgebied van raai C en E (Stikvoort & De Jong, 2003). Een tussentijdse visuele analyse van de nieuwe data tot en met 2004, profielmetingen en een veldbezoek op 24 februari 2004 laten zien dat het hier lijkt te gaan om specifieke lokale en klifrand-gebonden fenomenen in plaats van de veronderstelde relatie met het storten van baggerspecie op de stortlocatie Ellewoutsdijk (Stikvoort 2005). De raaien zijn binnen de invloedsfeer van de eroderende schorrand komen te liggen waardoor veel sediment op de veldjes terechtkomt.

Wel zijn naar aanleiding van de zeer hoge sedimentatiesnelheden in 2003 op 27 mei 2004 drie nieuwe raaien op Zuidgors aangelegd, conform afspraken met Dick de Jong (RIKZ). In najaar 2004 zijn op deze raaien voor het eerst metingen uitgevoerd. Deze metingen op de nieuw aangelegde raaien zullen moeten aantonen of de sedimentatie-snelheden midden op het schor inderdaad veel lager zijn. De resultaten hiervan zijn in deze rapportage buiten beschouwing gelaten.

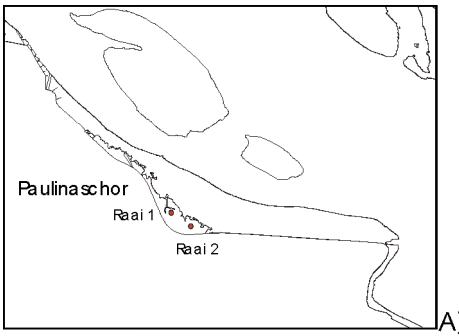
In de analyse van de gegevens tot en met 2002 was de gemiddelde snelheid in de kom van raai E ook erg hoog. Dat is nu niet meer het geval. De sedimentatiesnelheid op de overgang van raai E blijft erg hoog. De netto-sedimentatiesnelheden van 40 à 50 mm/j in raai C zijn erg hoog (al eerder aangegeven dat dit iets heel aparts is ivm invloed schorrand) in vergelijking met wat Stapel & De Jong (1998) voor de schorren van Waarde en Saeftinge vonden, maar vallen nog wel binnen de range die estuaria met vergelijkbare getijslagen worden gevonden (referenties in Stapel & De Jong, 1998).

Van schor Zuidgors zijn in de periode 1992-1997 op dezelfde locaties kaoliengegevens verzameld en uitgewerkt door Consemulder *et al*. (1998). Op basis hiervan zijn voor de periode 1992-1997 met lineaire regressies de overall sedimentatiesnelheden van deze veldjes bepaald. De gemiddelde sedimentatiesnelheden lagen in een range van 0,66 tot 21,7 mm/j met een overall gemiddelde van 13 mm/j en liggen daarmee aan de lage kant van de 'natuurlijke' range. Enkele van de reeksen laten in de laatste jaren (1995-1997) grote fluctuaties zien. De fluctuaties vallen ongeveer samen met het storten van baggerspecie in deze periode op de locatie Ellewoutsdijk (direct ten westen van en zeer nabij het schor Zuidgors gelegen). De gestorte hoeveelheden vanaf 1997 zijn zeer aanzienlijk geweest, tot meerdere tientallen procenten van het totaal in de Westerschelde jaarlijkse gestorte hoeveelheden.

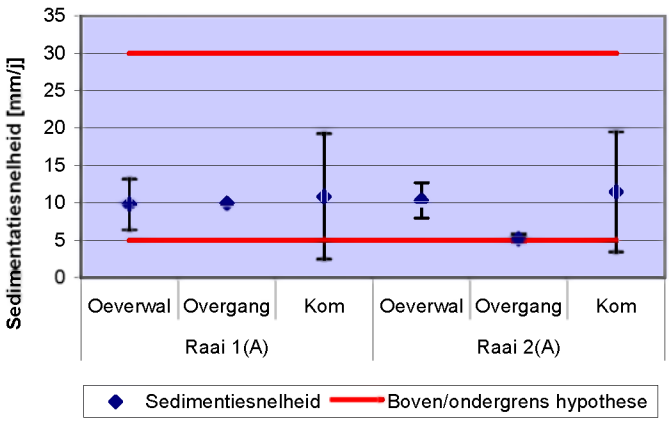
Paulinaschor

Op de Paulinaschor liggen 2 raaien (Figuur 2.10-5). Er zijn sedimentatiesnelheden waargenomen van 5 tot 12 mm/j. Deze sedimentatiesnelheden liggen hiermee relatief aan de lage kant. Net als bij Biezelingse Ham en Zuidgors volgt de verdeling van de snelheden over de typen niet de gangbare theorie en praktijk, met afnemende sedimentatiesnelheden van de oeverwallen via de overgangszones naar de kommen. Vooral raai 2 springt in die zin eruit, met relatief hoge snelheden in de kom. Met name in raai 1 (kom) en raai 2 (alle veldjes) zijn de nieuwe kaolienveldjes opnieuw berekend. Dit geeft enige afwijking van de berekende waarden die zijn gepresenteerd in de tussentijdse MOVE evaluatie van 2003 (Stikvoort *et al*, 2003).

Figuur 2.10-5: Sedimentatie op de Paulinaschor. A) loactie van de raaien. B) gemiddelde sedimentatiesnelheid in d eperioder 1998 – 2004. De verticalelijnen geven de standaardafwijking.



A)



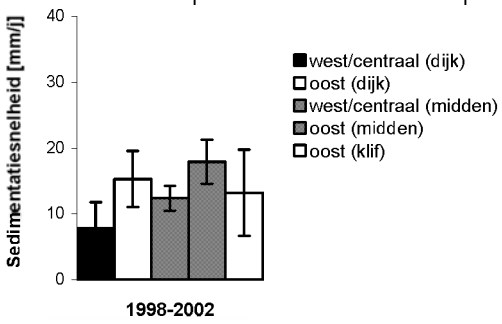
B)

De berekende sedimentatiesnelheden tot en met 2004 vertonen, rekeninghoudend met de nieuwe berekening van de kaolienveldjes, hetzelfde beeld als bij de tussentijdse evaluatie van 2003.

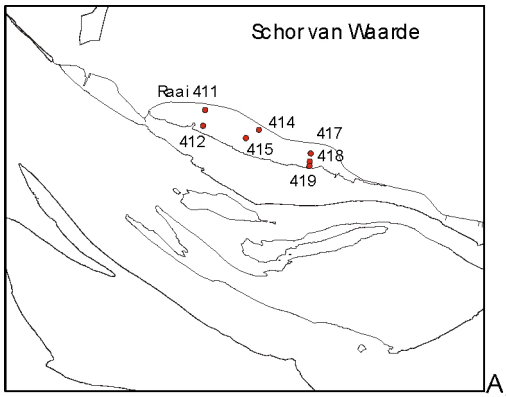
Schor van Waarde

Op het schor van Waarde worden een 7 tal raaien opgenomen (Figuur 2.10-7). De gemiddelde sedimentatiesnelheden op het Schor van Waarde met waarden tussen 5 en 18 mm/j zijn van een vergelijkbare orde als die door Stapel & De Jong (1998) in de periode 1988-1997

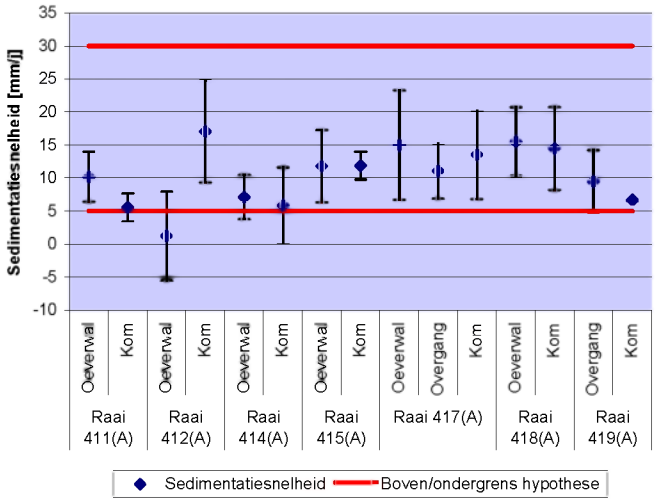
berekend zijn. Maar ook hier weer vallen bij enkele oeverwallen relatief lage sedimentatiesnelheden ten opzichte van de kommen op. Ter vergelijking met de T_0 van Stapel & de Jong (1998), zie Figuur 2.10-2, worden de gemiddelde sedimentatiesnelheden van de Schor van Waarde voor de periode1998 – 2002 op vergelijkbare wijze geaggregeerd. Figuur 2.10-6 laat zien dat de sedimentatiesnelheden t/m 2004 dichtbij de waarden voor 1997 liggen en er dus geen duidelijke veranderingen lijken te zijn opgetreden.



Figuur 2.10-6: Sedimentatiesnelheid in de periode 1998 – 2002 volgens de aggregatie van Stapel & De Jong (1998).



A)



B)

Figuur 2.10-7: Sedimentatie op de Schor van Waarde. A) Locatie raaien. B) gemiddelde sedimentatiesnelheid in de periode 1998 – 2004. De verticale lijnen zijn de standaardafwijking

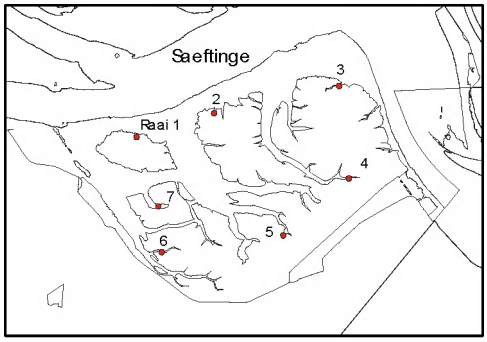
De berekende sedimentatiesnelheden t/m 2004 laten over het algemeen zien dat de waarden in 2003 en 2004 lager waren dan geconstateerd bij de tussentijdse ZEEMOVE evaluatie t/m 2002 (Kater (red), 2005).

Verdronken Land van Saeftinge

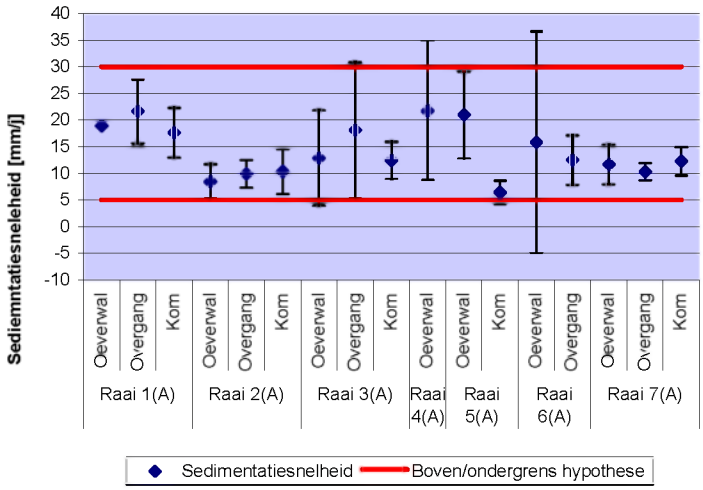
Op het Verdronken Land van Saeftinge zijn 6 raaien uitgezet (Figuur 2.10-8). De gemiddelde sedimentatiesnelheden op Saeftinge met zo'n 10 tot 22 mm/j hebben een 'natuurlijke' range en zijn vergelijkbaar aan de eerder gepubliceerde waarden van Stapel & De Jong (1998). In tegenstelling tot de andere vier schorren passen de sedimentatiesnelheden in de kommen meer in het verwachte beeld van afname van de sedimentatie richting de kom.

De metingen t/m 2004 laten over het algemeen een afname van de sedimentatiesnelheid zien t.o.v. de tussentijdse evaluatie t/m 2002. De berekende waarden voor de tussentijdse evaluatie behoefden niet te worden gecorrigeerd.

Figuur 2.10-8: Sedimentatie op het Verdronken land van Saeftinge. A) Locatie raaien. B) Gemiddelde sedimentatiesnelheid in de periode 1998 – 2004. de verticale lijnen geven de standaardafwijking.



A)



B)

2.10.3. Conclusies sedimentatie op schorren

Tabel 2.10-1: Conclusies hypothese sedimentatiesnelheid op schorren Westerschelde

Hypothese		Aannemen	Opmerkingen
E20	Biezelingse Ham	x	Lage kant van de natuurlijke range
	Zuidgors	x	Zeer fluctuerend binnen voornamelijk de grenzen van de range; uitzonderingen hebben te maken met lokale processen
	Paulinaschor	x	Lage kant van de range
	Schor van Waarde	x	Aan de lage kant van de range
	Saeftinge	x	Volledig binnen natuurlijke range

De sedimentatie op het Schor van Waarde en Verdronken land van Saeftinge zijn vergelijkbaar met de situatie voor Waarde tot 1997. Het Paulinaschor en Biezelingse Ham liggen relatief laag in de natuurlijke range. Het Zuidgors vertoont lage en zeer hoge sedimentatiesnelheden met mogelijk lokaal effecten

De berekende gemiddelde sedimentatiesnelheid is over het algemeen vergelijkbaar met wat gepresenteerd is bij de tussentijdse evaluatie. De tendens is dat de gemiddelde sedimentatie, uitgezonderd Biezelingse Ham, is afgenomen na 2002. Op Saeftinge heeft gemiddeld zelfs erosie plaatsgevonden (Tabel 2.10-2).

Tabel 2.10-2: Gemidddelde sedimentatiesnelheid (standaardafwijking) in de kaolienveldjes tijdens verschillende perioden en hieruit volgende verandering

Schorgebied	Periode 1998 – 2002 [mm/jr]		Periode 1998 – 2004 [mm/jr]		Periode 2003 – 2004 [mm/jr]	% afname sedimentatie snelheid in 2003/2004 t.o.v. 1998 –2002
Biezelingse Ham	8,4	(3,8)	8,4	(3,3)	8,4	0
Zuidgors	25,3	(34,1)	24,1	(33,3)	21,1	6
Paulinaschor	10,0	(2,6)	9,6	(2,2)	8,6	10
Schor van Waarde	12,7	(4,1)	10,4	(4,4)	4,7	55
Verdronken land Saeftinge	19,8	(5,7)	14,9	(4,6)	2,6	86
Gemiddeld alle schorren	15,5		13,4		8,2	

De opvallende hoge standaardafwijking bij Zuidgors komt overeen met de eerder aangegeven lokale effecten d.w.z. afslag schorrand en sedimentatie. Het algemene beeld is afname van de sedimentatiesnelheid in de periode 2003 –2004. Mogelijke oorzaken zijn minder stormen, waardoor Biezelingse Ham, Zuidgors en Paulinaschor zijn te verklaren en daarbovenop steeds minder beschikbaar sediment in de omgeving van Waarde en Saeftinge door minder storten in het oosten. De getallen moeten meer kwalitatief worden gezien in verband met de zeer lokale monitoring. De tendens van afname ondersteunt bovendien de eerder geponeerde veronderstelling dat bij verhoging van het schor de sedimentatie zal gaan afnemen.

2.10.4. Discussie en aanbevelingen

De sedimentatiepatronen op de oeverwallen en in de kommen van de meeste schorren bleek af te wijken van wat tot nog toe gebruikelijk was in de Westerschelde. De sedimentatiesnelheden op de oeverwallen zijn namelijk aanmerkelijk verlaagd; zó ver, dat ze zelfs lager zijn dan in de kommen. Hoewel dit vanuit de hypothese beredeneerd niet erg is, zou het betekenisvol kunnen zijn. Wat er aan de hand is, is vooralsnog onbegrepen, maar het zou kunnen zijn dat de meeste schorren in de Westerschelde thans aan het eind van hun ontwikkeling zijn gekomen. De ligging van het schoroppervlak is wellicht zo hoog dat het water tijdens vloed nauwelijks meer over de oeverwallen stroomt, maar via een 'achterloopse' weg de kommen bereikt.

Het systeem van afnemende sedimentatie van oeverwal richting kom geldt met name in lage en middelhoge schorren. Bij hoge schorren overspoelen de oeverwallen weinig en worden de kommen geleidelijk meer opgehoogd (en nemen de kreken vaak af in omvang doordat er minder water doorstroomt.) Je ziet bij hoge schorren dus vaak een nivellering van het reliëf optreden. Als je naar de vegetatie op de betreffende schorren kijkt zie je dat Zuidgors, Waarde en Saeftinge zeer hoog tot hoog zijn en dat Paulina en Biezelingse Ham veel lager liggen. Klopt met de waargenomen sedimentatie in de kommen. Ter illustratie is onderstaande tabel toegevoegd met de sedimentatie, verdeeld naar hoog, midden, laag en pionier schor.

Tabel 2.10-3: Sedimentatie op verschilllende hoogtezones in de schorren langs de Westerschelde (Dijkema et a., 2005)

gebied	pionier zone	lage zone	midden zone	hoge zone
Paulinaschor	45	6	41	7
Zuidgors	4	12	31	53
Biezelingse Ham	13	67	19	0
Schor bij Waarde	2	21	25	53
Saeftinghe	2	46	10	42

2.11 Ontwikkeling geulwandverdediging

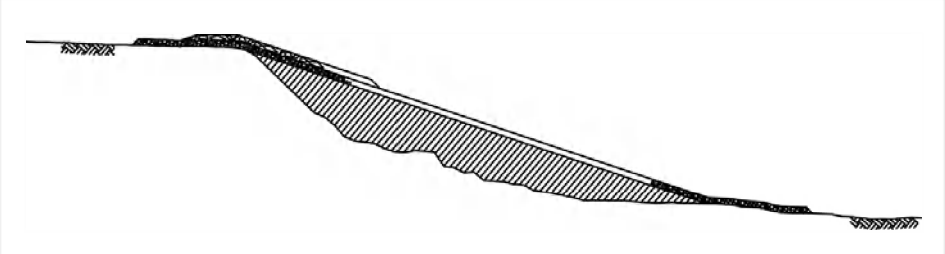
De geulen in de Westerschelde hebben onder invloed van hydrodynamische processen de neiging om uit te bochten (inscharen). Hierdoor verplaatst de buitenbocht zich richting de waterkering waardoor de kans op oevervallen toeneemt. Indien dit proces niet tijdig wordt gestopt kan de waterkering in gevaar komen (veiligheid). Tevens is het mogelijk dat de bochtstralen van de vaargeul te klein worden (bochten worden 'krapper'), waarmee de veiligheid van de scheepvaart in gevaar kan komen. De uitbochting gaat tevens ten koste van ecologisch waardevolle arealen slikken en schorren. Door de verruiming wordt verwacht dat de hoofdgeulen in het oostelijke deel van de Westerschelde meer water gaan voeren als gevolg van de verruiming van de drempels (zie ook de paragraaf die de hypothesen over de stroomsnelheden behandelt). In de aan drempels grenzende geuldelen, die zich nog niet aan deze grotere debieten hebben aangepast, heeft dit hogere stroomsnelheden tot gevolg. Deze hogere stroomsnelheden leiden vervolgens weer tot hogere sedimenttransporten en kunnen zodoende ook leiden tot sterkere inscharing.

INTERMEZZO Geulwandverdedigingen



De constructie van een geulwandverdedigingen bestaat uit een taludaanvulling van steen of steenachtig materiaal (veelal fosforslakken). Het (te) steile talud wordt aangevuld tot de helling 1/3 bedraagt (figuur). Op deze aanvulling wordt nog een beschermlaag aangebracht van stortsteen. De onderkant van de verdediging wordt afgewerkt met een bodembescherming om erosie (ondermijning) te voorkomen. Boven NAP –5m wordt nog een nabestorting van nog grover materiaal aangebracht ter bescherming tegen wind- en scheepsgolven. De top (NAP –2m) hiervan is met laagwater zichtbaar (zie foto verdediging Valkenisse, gemaakt door Cees Joosse).

De geulwandverdedigingen die in het kader van de 1e en 2e verruiming zijn aangelegd hebben een totale lengte van 15 km (13% van de totale oeverlengte van de Westerschelde (122km)).



Overigens zijn de geulwandverdedigingen niet de enige vorm van bodembescherming in de Westerschelde. Zo liggen er ook oeverbeschermingen daar waar de zeewering geen voorland heeft (direct aan het water). Bijvoorbeeld het deel tussen de Braakmanhaven t/m Terneuzen is helemaal bestort. Naast bestortingen komen ook nog zinkstukken voor (rijshout met steenbestorting) om bijv. kabels en leidingen te beschermen. Globaal gezien is ca. 60% van de totale oeverlengte van de Westerschelde verdedigd.

Om de uitbochting tot staan te brengen zijn op kritieke locaties geulwandverdedigingen aangelegd. De verdedigingen gaan ten kosten van de natuurlijkheid (dynamiek), maar voorkomen wel dat het areaal achterliggende slik niet verder afneemt. Deze geulwandverdedigingen maken deel uit van het verdrag tussen Nederland en Vlaanderen inzake de verruiming. De hypothesen zijn opgesteld om na te gaan of de geulwandverdedigingen inderdaad functioneren.

Er zijn twee hypothesen die de ontwikkelingen in relatie tot de geulwandverdedigingen beschrijven. De hypothesen O1 en O2 gaan inhoudelijk in op verwachte ontwikkelingen in relatie tot de geulwandverdedigingen in de Westerschelde:

HYPOTHESE O1: **De geulen in het oostelijk deel zullen niet verder inscharen.**
Toelichting: Door het aanleggen van geulwandverdedigingen worden alle oevers waar veel inscharing wordt verwacht verdedigd (figuur 2.13.1). Er wordt met name aandacht geschonken aan de einden van de geulwandverdedigingen (in lengterichting).

HYPOTHESE O2: **De slikken achter de geulwandverdedigingen zullen niet verder verlagen.**
De geulwandverdedigingen worden aangelegd om de uitbochting van de geul te stoppen. Het stoppen van het uitbochten heeft als neveneffect dat de erosie van de slikken zal afnemen en uiteindelijk het slik niet zal verlagen (dit betreft een aangepaste toelichting uit het hypothesendocument van 2003).

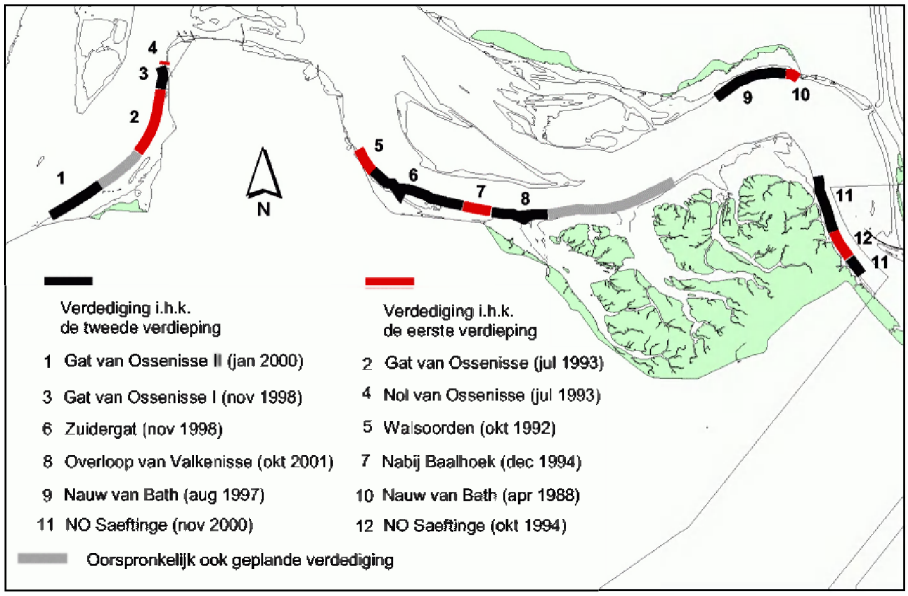
De aandacht die geschonken wordt (door middel van detaillodingen ter plaatse van de geulwandverdedigingen) aan de uiteinden van de geulwandverdedigingen heeft als achterliggende reden dat deze uiteinden van de geulwandverdedigingen de meest kwetsbare onderdelen van deze constructies zijn. Dit komt door het feit dat op deze locaties een "harde" constructie grenst aan de "zachte" geulwand, hetgeen lokaal derhalve kan zorgen voor een verhoogde erosie van de onverdedigde geulwand. Wanneer dit het geval is kan dit ondermijning van de geulwandverdediging tot gevolg hebben.

De algemene gedachte is dat erosie plaats kan vinden als gevolg van een verandering in het watersysteem (bijv. door toename van het debiet). De erosie gaat dan door tot een nieuwe evenwichtsituatie bereikt is. In het geval van erosie van een slik langs een geul begint de erosie het eerst langs de geul. Vervolgens erodeert de rand (van het erosiegevoelige materiaal) van het slik verder richting de zeewering. Dit proces gaat door tot een nieuwe evenwichtsituatie is bereikt. Dit evenwicht wordt bijvoorbeeld bereikt als de erosierand van het slik zover is verwijderd van de geul dat de erosie langzaam uitdooft. Met de aanleg van de verdediging wordt de geul vastgelegd en wordt in principe de tijd tot een nieuwe evenwichtsituatie verkort.

2.11.1. Methode

Interpretatie van hypothesen
De in de hypothesen omschreven inscharing van de geulen en verlaging van de slikken achter de geulwandverdedigingen zullen direct na het aanleggen van deze geulwandverdedigingen stoppen. Als parameters voor de toetsing zullen 1) de inscharing van de geulen en 2) de verlaging van de slikken worden gebruikt, waarvan de toetsing voornamelijk geschiedt door een kwalitatieve beschouwing van verschilkaarten en dwarsprofielen van de geulwanden en slikken.

Er wordt aangenomen dat in de hypothesen alleen gesproken wordt over de ontwikkelingen ten gevolge van de geulwandverdedigingen die in het kader van de tweede verruiming zijn aangelegd, dus vanaf 1997. Eind jaren 80 tot aan de tweede verruiming toe is ook al een grote hoeveelheid geulwandverdedigingen aangebracht in het midden en oostelijke deel van Westerschelde. Een overzicht van de ligging van alle geulwandverdedigingen (ten opzichte van de waterkering), inclusief het jaar waarin ze zijn uitgevoerd, is in Figuur 2.11-1 weergegeven. Aangezien het morfologisch meer verantwoord is om het effect van de verdediging op hele gebied te beschouwen en niet slechts van een lokaal stukje, wordt de ontwikkeling van het gehele slik -na aanleg van de verdedigingen in het kader van de tweede verruiming- achter de aanwezige geulwandverdedigingen beschouwd.



Figuur 2.11-1: Overzicht geulwandverdedigingen aangelged in het kader van de 1e en 2e verruiming. Tussen haakjes staan de oplever data

Er is geen vaste T_0 aan te wijzen, aangezien de detaillodingen ter plaatse van de diverse geulwandverdedigingen per verdediging op andere momenten zijn uitgevoerd. Per geulwandverdediging is er dus een andere T_0.
De ontwikkelingen van de slikken achter de geulwandverdedigingen is voor het eerst in de hier gehanteerde vorm gepresenteerd in Liek & Lefèvre (2002).

2.11.2. Datagebruik

De detaillodingen, welke periodiek in het kader van het project "Geulwandverdedigingen Westerschelde" worden uitgevoerd, leveren de basisgegevens voor toetsing hypothese O1 (geulwand). Detaillodingen worden op een kleinere schaal en met een hogere ruimtelijke dichtheid gepeild dan bij vaklodingen (raaiafstand 50m ten opzichte van 200m bij vaklodingen) en met een nauwkeurigheid (Z) van +/- 25cm. Deze detaillodingen worden geïnterpoleerd en in een GIS omgeving gepresenteerd als een rasterbestand (grid) met celgrootte 5x5m. Met behulp van GIS zijn verschilkaarten[34] en dwarsprofielen van de situatie rondom de geulwanden gegenereerd.

De hoogteontwikkelingen op de slikken vallen voor een groot deel binnen de meet(on)nauwkeurigheid van de detaillodingen en zijn daarom met de detaillodingen niet goed te toetsen. Daarom zijn naast de dataillodingen voor toetsing hypothesen O2 (slikken) laseraltimetriedata, data van sedimentatie-erosie plotjes en de geomorfologische kaart gebruikt.

Laseraltimetrie is het winnen van hoogtegegevens met behulp van een laser vanuit een vliegtuig en levert een nauwkeurige gebiedsdekkende bodemopname op (Z +/- 10cm). Data van 2001 en 2004 zijn als grid van 5x5m gebruikt. Met het interpreteren van de verschilkaarten van de laseraltimetrie-opnamen moet rekening worden gehouden dat de twee opnamen in twee verschillende seizoenen zijn opgenomen; oktober 2001 en april 2004. Zo lijkt het dat complete schorren zijn verlaagd, terwijl de realiteit is dat de schorvegetatie in april minder hoog is als in oktober, mede door maaien (o.a. Schor van Waarde). Bij het interpreteren van de verschilkaarten van de detaillodingen (geulwand) en van de laseraltimetriedata (slik) moet er wel opgelet worden dat er twee verschillende legenda's zijn gebruikt; detaillodingen bereik verschilkaart +2,5 aanzanding tot –2,5m erosie, bij laseraltimetrie bereik verschilkaart +0,5m tot –0,5m, omdat de ontwikkelingen bij beiden op een andere schaal afspelen.

De gegevens van de sedimentatie-erosieplot geven zeer nauwkeurig (Z +/-1cm) de hoogteontwikkeling op een kleine schaal (1x1m) weer. De datareeksen beginnen hier al vanaf ca. 1990 en laten zo ook de ontwikkelingen van voor de aanleg van de verdedigingen zien.

De geomorfologische kaart (van 2004) is gebruikt om inzicht te verschaffen in de ligging van de harde (niet erosieve) lagen. Wanneer geen erosie wordt waargenomen dan moet er ook rekening mee worden gehouden dat er werkelijk geen erosie heeft plaatsgevonden als gevolg van de aanwezigheid van harde lagen (bijv. een veenlaag).

2.11.3. Hypothesen

De hypothesen zullen getoetst worden door o.a. verschilkaarten en de dwarsprofielen te beschouwen. Zo kan bekeken worden of de

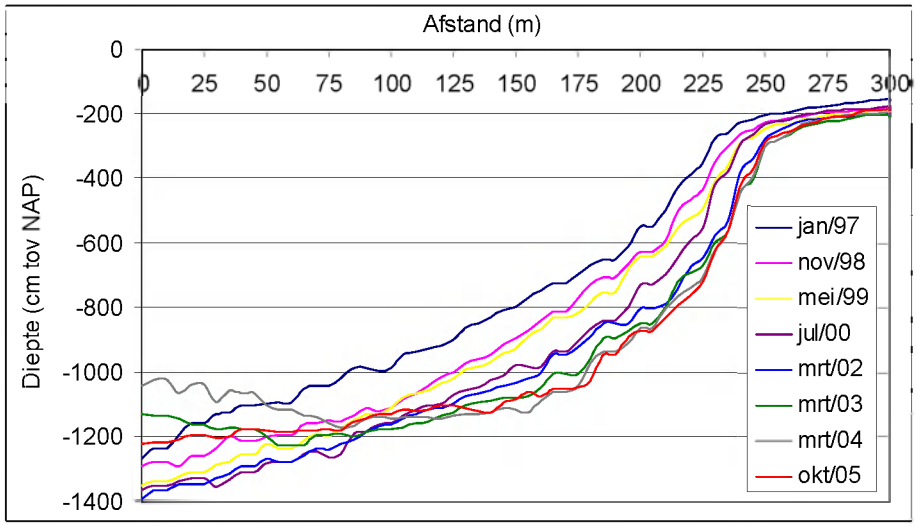
[34] Een verschilkaart laat diepteverschillen tussen 2 bodemopnamen zien (erosie en sedimentatie)

inscharing van de geulwand en verlaging van de slikken daadwerkelijk gestopt is.

Omdat de hypothesen een kwalitatief karakter hebben zal de analyse ook een kwalitatief karakter hebben. In feite moet het er, wanneer de hypothesen kloppen, op neer komen dat de negatieve morfologische ontwikkelingen in de geulbochten (inscharing en verlaging achterliggend slik) na aanleg van de geulwandverdediging stopt of in het geval van de slikverlaging in ieder geval vermindert. Wanneer dit niet juist blijkt te zijn worden de hypothesen verworpen.

Gat van Ossenisse
Deze verdediging is gefaseerd over de tijd aangelegd: zuidelijk deel in 2000, het deel boven het onverdedigde deel in 1993, daarboven weer een stuk in 1998 en het deel helemaal noordelijk in 1993. De geulwand is over een lengte van bijna 4000 meter verdedigd.

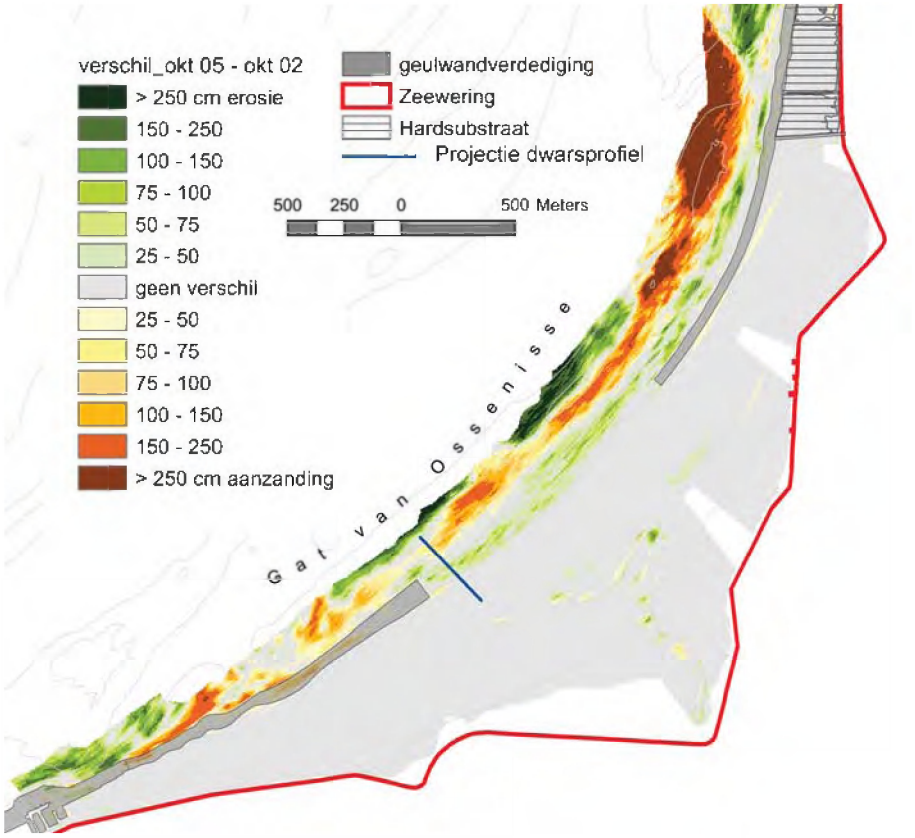
1) Ontwikkeling geulwand
Analyses laten zien dat de geulwand ter plaatse van de verdedigingen stabiel is. Tussen de twee verdedigde oeverdelen rest nog een onverdedigd oeverdeel (situatie zie Figuur 2.11-2). Eerder (in de analyse van 2003) is erosie ter plaatse van het onverdedigde oeverdeel waargenomen. Dit duidt op uitbochting.



Figuur 2.11-2: Dwarsprofielen over het onverdedigde deel van de geulwand van het Gat van Ossenisse voor de jaren 1997 t/m 2005

Met behulp van dwarsprofielen die getrokken zijn over dit erosiegebied is deze inscharing gekwantificeerd. De locatie van dit dwarsprofiel is in Figuur 2.11-3 weergegeven als een blauwe rechte lijn ten noordoosten van de zuidelijke constructie.

De ontwikkeling van de geulwand (niveau NAP –8m) wordt gekenmerkt door een uitbochting van gemiddeld 12m per jaar van 1997 tot 2002 tot een uitbochting van gemiddeld 3m per jaar van 2002 t/m 2005.
Uit de dwarsprofielen blijkt dat de uitbochting ter plaatse van de onverdedigde geulwand sinds 2002 grotendeels gestopt is, wat duidt op een positieve ontwikkeling.

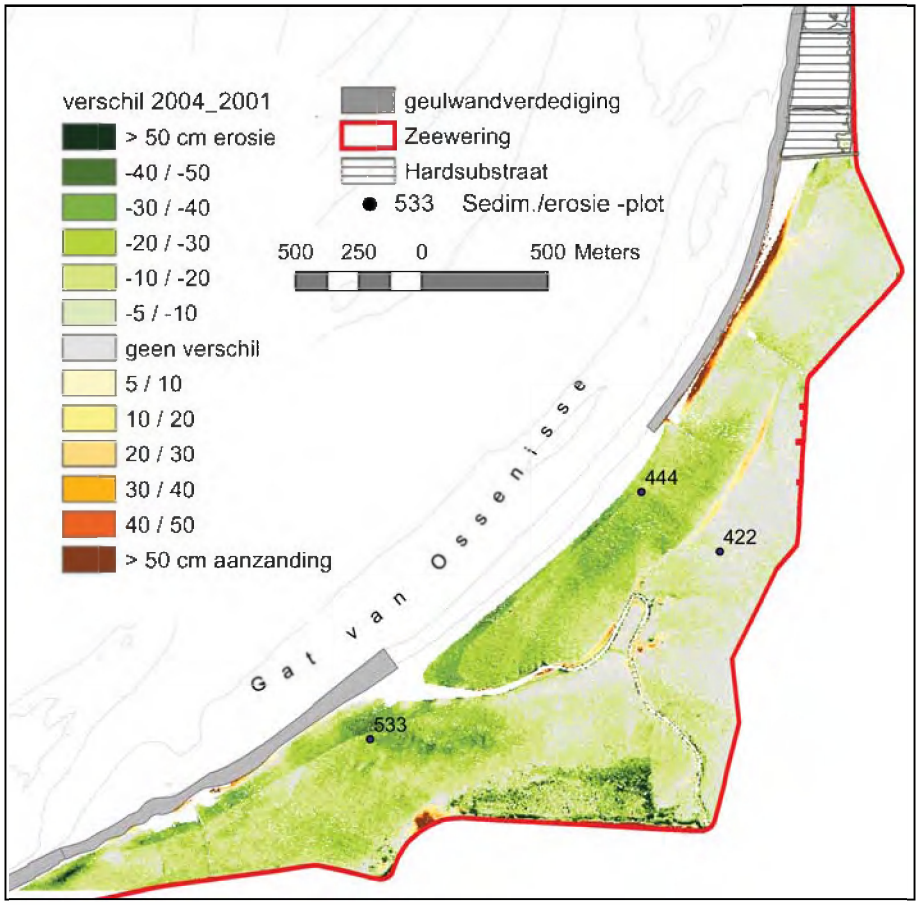


Figuur 2.11-3: Verschilkaart geulwand Gat van Ossenisse periode oktober 2005 – oktober 2002

2) Ontwikkeling slik

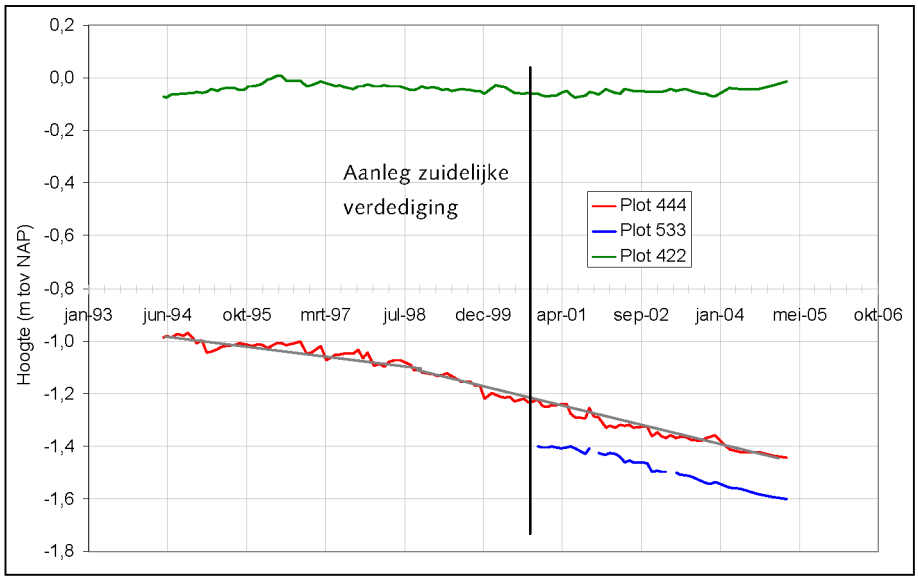
In het hypothesendocument van 2003 is geconstateerd dat het slik - ook wel Platen van Hulst genoemd - achter de verdedigde geulwanden stabiel was, maar over het deel achter het onverdedigde gedeelte nog steeds erosie plaats vond. Dit is onjuist gebleken omdat de gesuggereerde erosie niet het gevolg was van morfodynamiek, maar van een systematische meetfout die zichtbaar is geworden doordat met een ander (beter) meetsysteem is gewerkt (Marijs & Parée, 2004).

Het verschil van de twee laseraltimetrieopnamen van 2001 en 2004 tonen een gedetailleerd inzicht in de ontwikkelingen achter de (onverdedigde) geulwand (zie Figuur 2.11-4). Hieruit blijkt dat over een groot deel van het slik (behalve meest oostelijke en noordelijke deel) erosie heeft plaats gevonden.



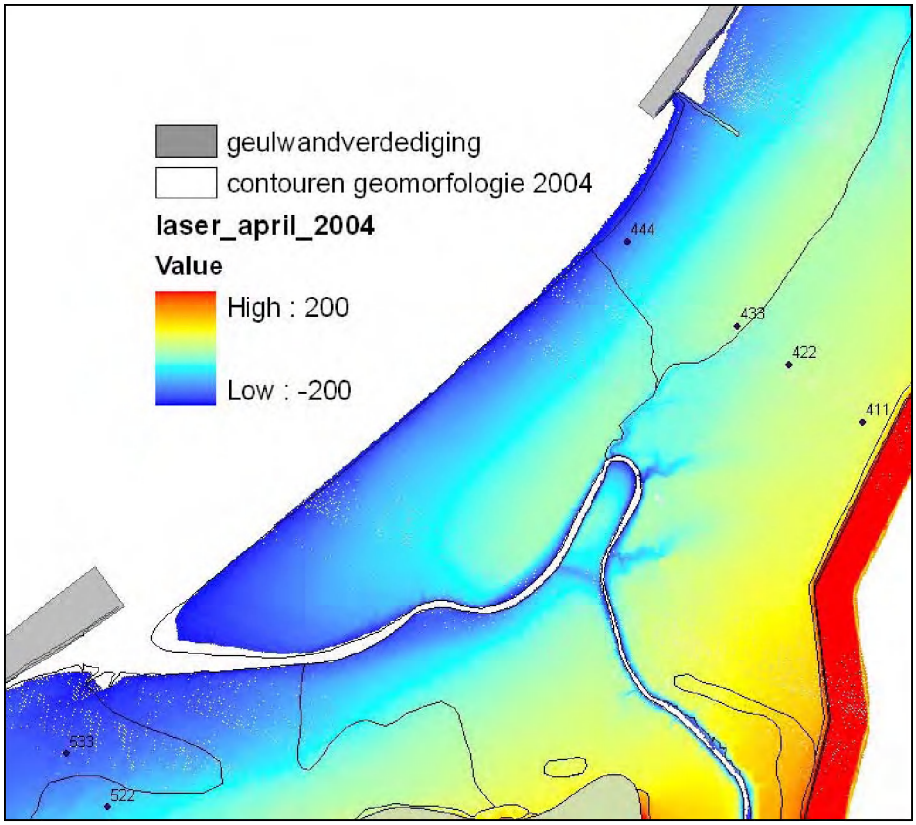
Figuur 2.11-4: Verschilkaart "Platen van Hulst", perioder april 2004 – oktober 2001

De gegevens van de sedimentatie-erosie plots op het slik laten zien dat de erosie een continu proces is van gemiddeld 8 cm per jaar (Figuur 2.11-5). De hoogte van het oostelijk, hoger gelegen slik is vrijwel constant. Vanaf juli 1998 erodeert de bodem bij plot 444 sneller dan daarvoor. Een relatie met de aanleg van de verdediging is niet te zien (pas in 2000 aangelegd). Juli 1998 is daarentegen wel het moment dat de 2e verruiming gereed was. Anders kan ook gedacht worden aan het erosieproces dat een zachtere (erosiegevoeligere) laag heeft bereikt.



Figuur 2.11-5: Hoogtereeksen sedimentatie-erosieplots 444, 533 en 422 op de Platen van Hulst, periode juni 1994 t/m maart 2005.

De geomorfologiekaart laat hier twee typen bodem zien; ten westen van plot 433 zandig (met schelpresten), ten oosten van plot 433 slibrijk zand met slibschollen aan oppervlak wat minder erosiegevoelig is (Figuur 2.11-6).

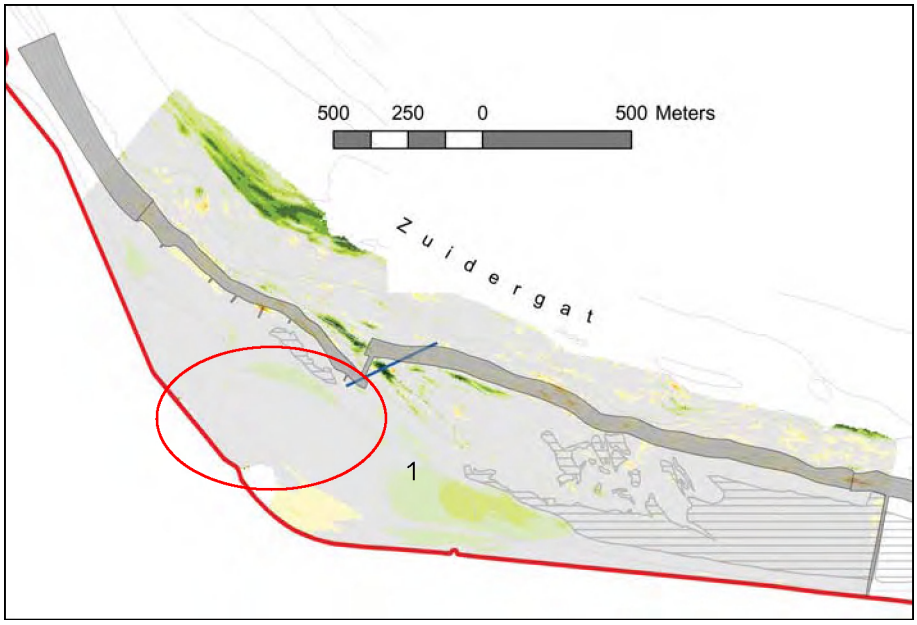


Figuur 2.11-6: Hoogtekaart (in cm tov NAP) slik Platen van Hulst april 2004 (met de geulwand-verdedigingen Ossenisse; tevens locaties S/E plots en contouren geomorfologiekaart weergegeven.

Zuidergat (opgeleverd in 1998)
Verder uitbochting is na de aanleg van de verdediging in principe uitgesloten. Het hele oevervak langs het Zuidergat is vanaf Walsoorden tot en met de aanliggende verdediging "Overloop van Valkenisse" verdedigd (zie Figuur 2.11-1).

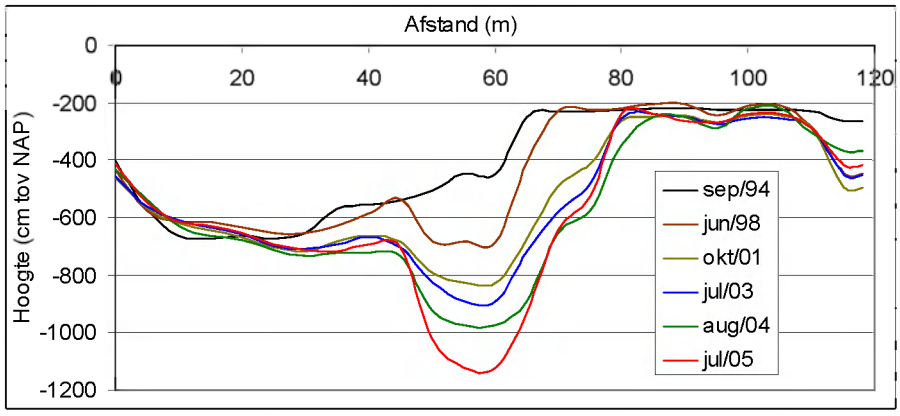
1) Ontwikkeling geulwand
De analyses geven aan dat de verdediging stabiel is en hierdoor de geulwand niet verder uitbocht.

Figuur 2.11-7: Verschilkaart geulwand Zuidergat periode juli 2005 – oktober 2001 (legenda zie Figuur 2.11-3).



De verlaagde drempel (NAP –4m) die in de verdediging is aangebracht, om contact van de geul met het slik te houden, zorgt voor problemen. Zowel voor als achter de drempel ontstaat een slijpgeul (binnen rode circel als groen weergegeven in Figuur 2.11-7). Aan de slikzijde is er hierdoor al een slipgeul met een diepte van bijna NAP –12m ontstaan (Figuur 2.11-8:). Als dit erosieproces zich voortzet kan op niet al te lange termijn de stabiliteit van de geulwandverdediging hierdoor in gevaar komen.

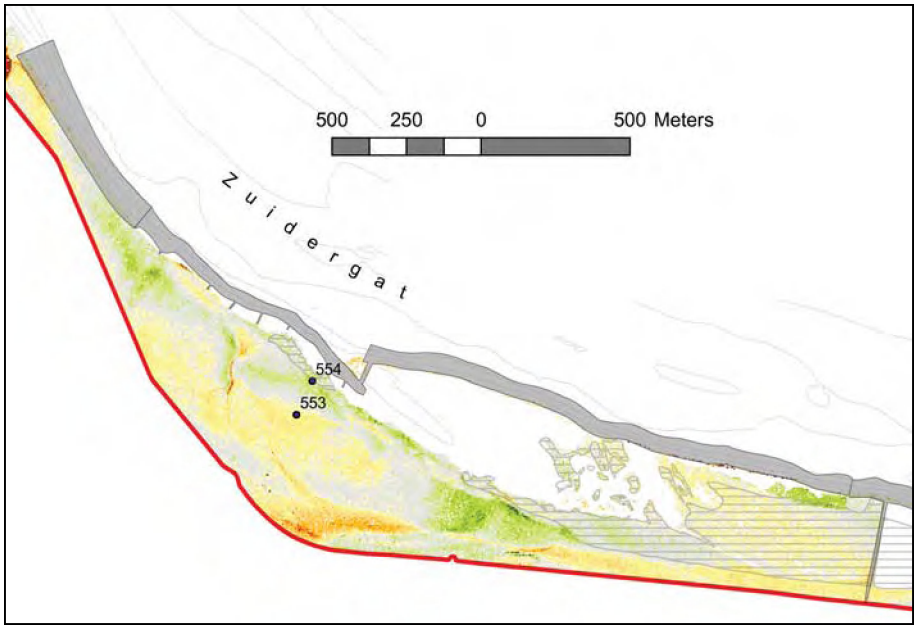
Figuur 2.11-8: Zuidergat; dwarsprofielen over slijpgeul aan slikzijde van drempel, periode september 1994 – juli 2005



2) Ontwikkeling slik

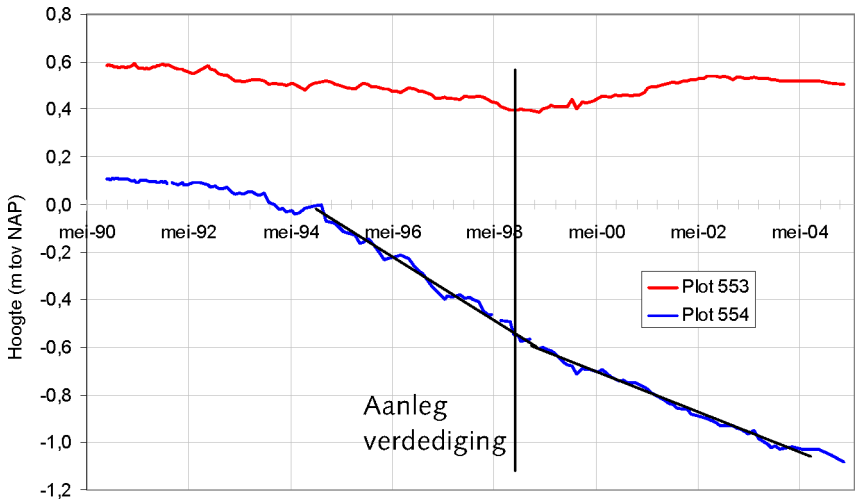
Op het slik treedt erosie maar vooral sedimentatie op. Sedimentatie op voornamelijk de hoger delen, en erosie op de lager gelegen delen voornamelijk ten zuidoosten van de knik (zie Figuur 2.11-9).

Figuur 2.11-9: Verschilkaart slik voor geulwand in Zuidergat, periode april 2004 – oktober 2001 (legenda zie figuur 2.13.4)



De datareeksen van de sedimentatie-erosieplots laten lokale hoogteontwikkeling van het slik zien (figuur 2.13.10). Het lager gelegen plot toont een structureel erosieproces. Dit proces lijkt na de aanleg van de constructie iets minder hard te gaan. Het hoger gelegen plot laat licht erosie tot de aanleg zien en na de aanleg enige sedimentatie. Hier lijkt dus enige positieve invloed van de constructie op het slik zichtbaar te zijn.

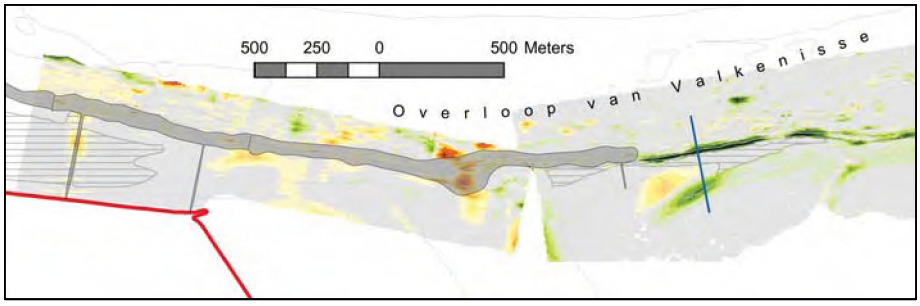
Figuur 2.11-10: Zuidergat; hoogtereeksen sedimentatie-erosieplots 553 en 554, periode september 1990 – mrt 2005



Ook aan de slikzijde, zo'n 300 à 400m ten oosten van de knik, vlak tegen de geulwandverdediging is erosie waarneembaar (zie "1" in figuur 2.13.7). Dit kan het begin van achterloopsheid betekenen en op den duur de stabiliteit van de constructie in gevaar brengen *(achterloopsheid: het fenomeen waarbij door erosie een geul vormt tussen de bovenkant van de verdediging en het slik; het stromende water kan een eroderende werking hebben waardoor de stabiliteit van de constructie vanaf achter/bovenin gevaar kan komen).*

Baalhoek / Overloop van Valkenisse

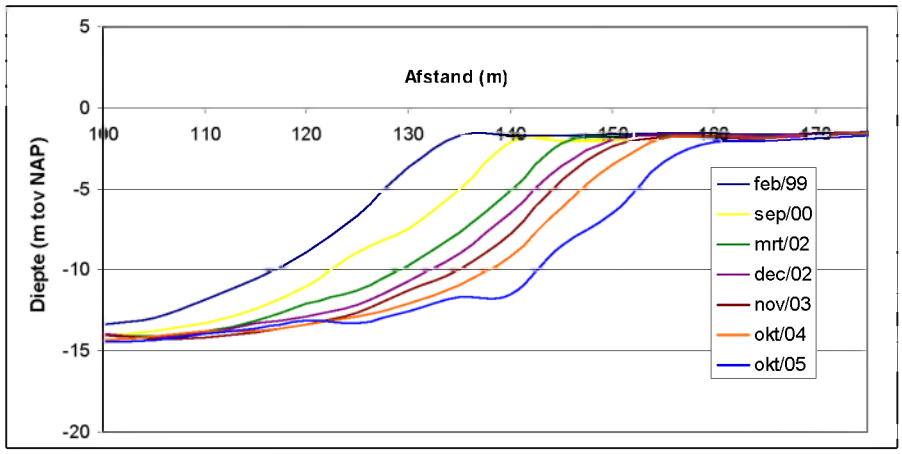
De verdediging "Overloop van Valkenisse" - opgeleverd oktober 2001 - sluit aan de oostzijde van de verdediging "Baalhoek" (dec. 1994) aan en wordt daarom samen met Baalhoek beschouwd.



Figuur 2.11-11: Verschilkaart geulwand Overloop van Valkenisse, periode oktober 2004 – maart 2002 (legenda zie figuur 2.13.3)

1) Ontwikkeling geulwand

Deze geulwanden maken deel uit van een groot beschermd oevervak, waarvan de Overloop van Valkenisse de meest oostelijke van het vak is en tevens het meest recent geleden is aangelegd. Verdere uitbochting is hierdoor in principe uitgesloten. De analyses laten ook zien dat de verdediging stabiel is en hierdoor de geulwand niet verder uitbocht. Aan de oostzijde van de verdediging van Valkenisse houdt de bestorting op; vanaf hier is de geulwand onverdedigd. De verschilkaart (Figuur 2.11-11) en dwarsprofielen (Figuur 2.11-12) tonen aan dat hier de erosie zich minstens lineair doorzet.

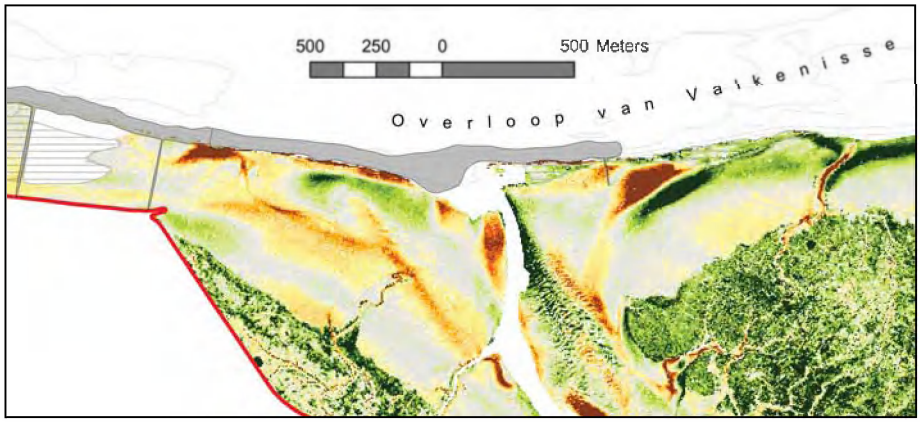


Figuur 2.11-12: Overloop van Valkenisse; dwarsprofielen ten oosten van bestorting, periode februari 1999 – oktober 2005

2) Ontwikkeling slik

Het slik achter de verdediging Baalhoek is stabiel. Dit kan ook bijna niet anders, dit slik is geheel ingesloten tussen de verdediging, twee strekdammen en de zeewering. Analyses tonen ook aan dat het slik stabiel is.

Figuur 2.11-13: Verschilkaart slik voor geulwand Overloop van Valkenisse, periode april 2004 – oktober 2001 (legenda zie figuur 2.13.4)

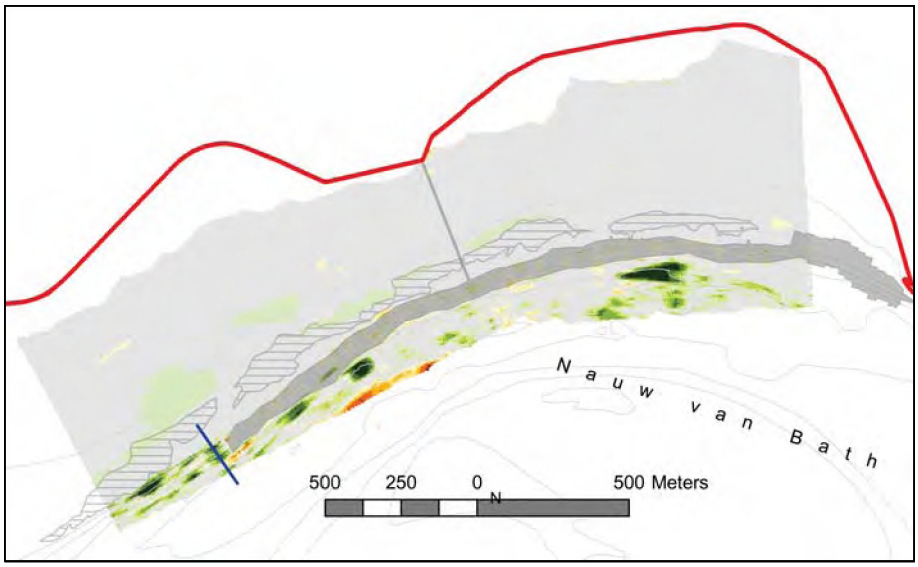


Het slik achter de geulwandverdediging Overloop van Valkenisse maakt deel uit van het grootschalige schorcomplex Saeftinge en heeft daarom een extra dynamisch karakter. Een van de grootste geulen van Saeftinge "Het Speelmansgat" maakt deel uit van het slik en mondt (over de verdediging Valkenisse) uit in de Overloop van Valkenisse. Uit de verschilkaart (Figuur 2.11-13) zijn diverse lokale sedimentatie- en erosiepatronen waar te nemen. Achter de verdediging (slikzijde) treedt juist aanzanding op.

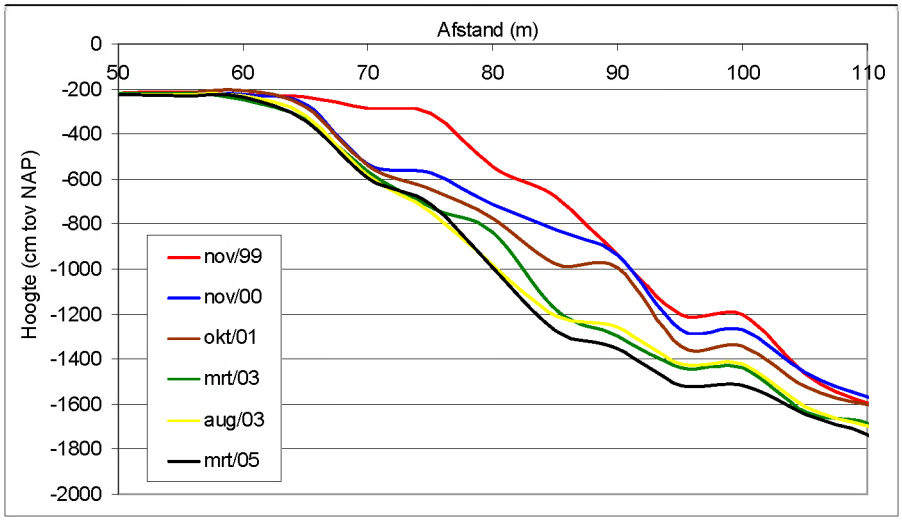
Nauw van Bath (opgeleverd augustus 1997).

1) Ontwikkeling geulwand
De geulwand is voor het grootste deel verdedigd en tegen uitbochting beschermd. Op de verschilkaart (Figuur 2.11-14) is duidelijk te zien dat direct ten westen van de verdediging erosie plaats vindt.
Dwarsprofielen van deze locatie (blauwe streep ten westen van de geulwandverdediging in de verschilkaart) laten zien dat deze erosie t/m 2000 vooral boven in de geulwand plaats vindt (tussen NAP –2 en –7m) en na 2000 dieper (tussen NAP –7 en –13m) (zie Figuur 2.11-15).

Figuur 2.11-14: Verschilkaart geulwand Nauw van Bath, periode maart 2005 – oktober 2001 (legenda zie figuur 2.13.3)



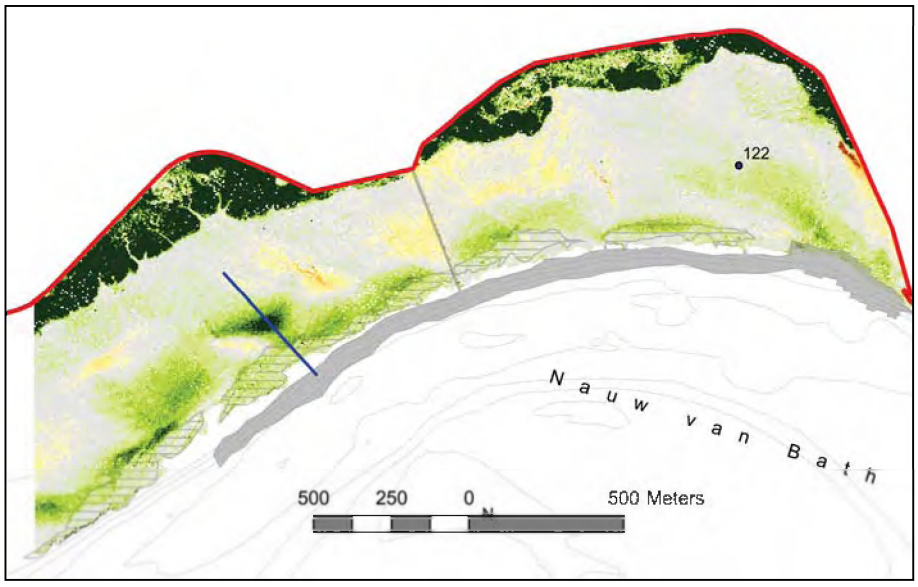
Figuur 2.11-15: Dwarsprofielen over geulwand van het Nauw van Bath direct ten westen van eind bestorting voor de jaren 1999 t/m 2005



2) Ontwikkeling slik

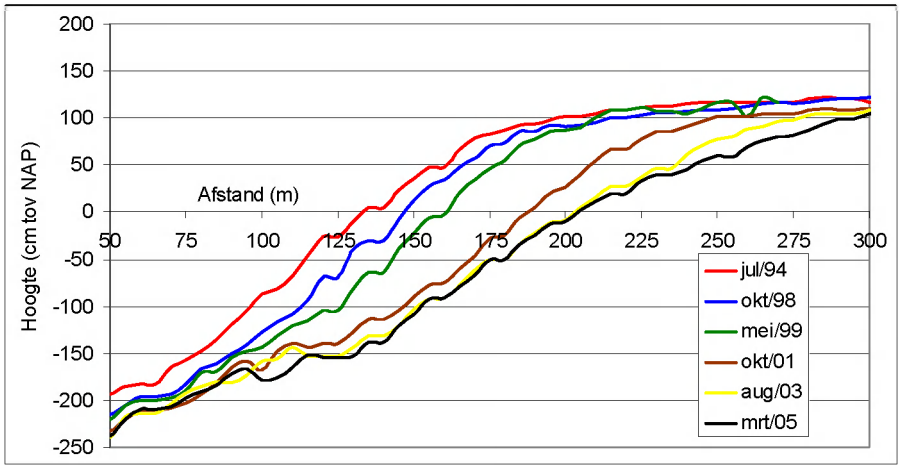
Ondanks de verdedigde geulwand vindt lokaal nog erosie van het slik plaats. Deze erosie komt voornamelijk op het lager gelegen deel van het slik voor en is het sterkst op de westelijke helft van het slik. Voor de aanleg van de verdediging was dit ook al het geval.

Figuur 2.11-16: Verschilkaart slik voor geulwand Nauw van Bath, periode april 2004 – oktober 2001 (legenda zie figuur 2.13.4)



Met dwarsprofielen (zie Figuur 2.11-17), waarvan de locatie wordt weergegeven door de blauwe streep over het slik ten noorden van de geulwandverdediging in de verschilkaart (Figuur 2.11-16), is dit erosieproces in beeld gebracht. Erosie van het slik is hier juist het sterkst na aanleg van de verdediging. De meest recente meting toont (ten opzichte van 2003) geen erosie onder NAP aan. Boven NAP erodeert het slik nog wel verder. Vermoedelijk kan het slik onder NAP hier niet verder eroderen door de aanwezigheid van erosiebestendige lagen.

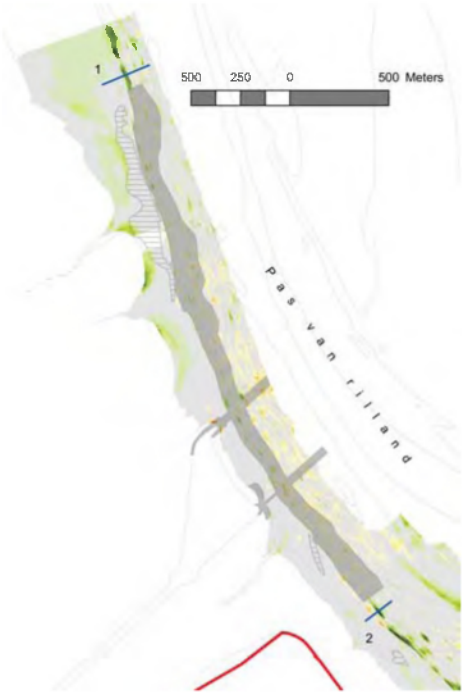
Figuur 2.11-17: Dwarsprofielen van de hoogteligging van het slik langs geulwandverdediging Bath voor de periode juli 1994 tot maart 2005



Doordat de geulwandverdediging tot NAP –2m (laagwater) is aangelegd, wordt de erosie van het westelijke deel van de geulwandverdediging mogelijk veroorzaakt door de ebstroom die over de verdediging het slik nog op kan stromen (maximale snelheden ebstroom treden op in de geul pal voor het westelijke deel van de verdediging, bron: SCALWEST). Toch is de hoger gelegen helft van het slik stabiel en vindt er daar ook enige aanzanding plaats.

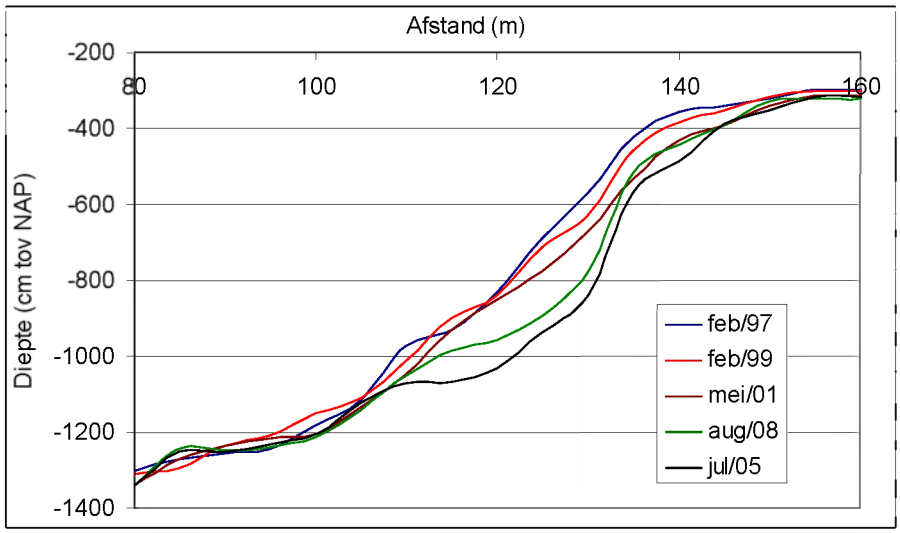
Noord-Oost Saeftinge (opgeleverd november 2000).

Figuur 2.11-18: Verschilkaart geulwand "NO-Saeftinge" langs de Pas van Rilland, periode juli 2005 – mei 2001 (legenda zie figuur 2.13.3)



1) Ontwikkeling geulwand
De verdedigde geulwand is stabiel. Zowel ten noorden als ten zuiden van de bestorting gaat de uitbochting van de aanliggende onverdedigde geulwand verder met gemiddeld 1m per jaar (ook al voor de aanleg het geval). Dit is als erosie in Figuur 2.11-18 waar te nemen. In figuur 2.13.19 is deze uitbochting middels dwarsprofielen gevisualiseerd.

Figuur 2.11-19: Dwarsprofielen over geulwand van de Pas van Rilland direct ten noorden (1) van eind bestorting "NO-Saeftinge", periode februari 1997 tot juli 2005.



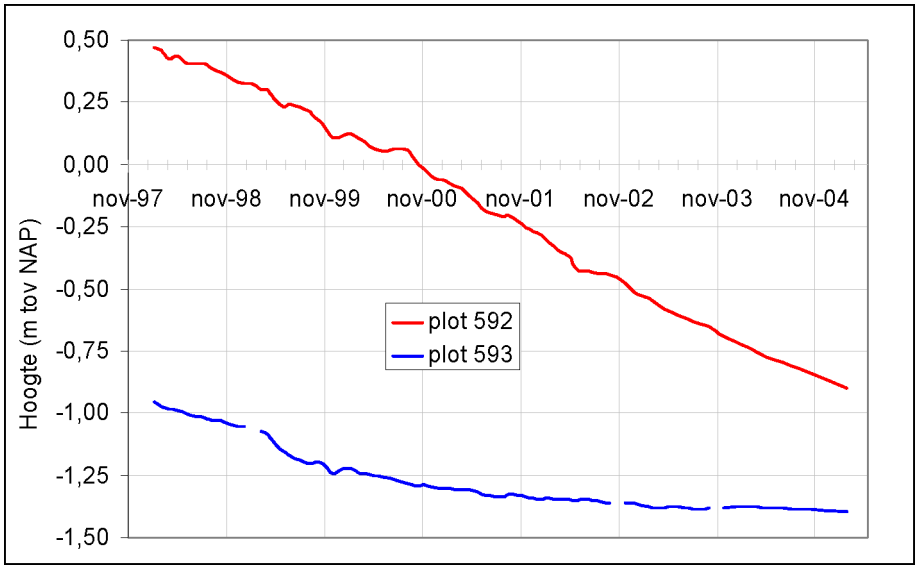
Figuur 2.11-20: Verschilkaart slik "NO-Saeftinge", periode april 2004 – oktober 2001 (legenda zie figuur 2.13.4)



2) Ontwikkeling slik
Het slik achter de geulwandverdediging is aan erosie onderhevig. Lichte erosie (tot 5cm/jr) op de lager gelegen delen, sterkere erosie (10cm/jr) op de hoger gelegen delen nabij het schor. Op de verschilkaart (Figuur 2.11-20) is dit proces ruimtelijk weergegeven.

Van twee sedimentatie-erosie plots zijn in figuur 2.13.21 de hoogteontwikkelingen voor de periode 1999-2005 weergegeven. De invloed van de verdediging op het slik lijkt nihil. Sinds 2001 lijkt het lager gelegen plot min of meer stabiel, maar de oorzaak hier is dat (slecht erodeerbare) klei/veenbanken dagzomen.

Figuur 2.11-21: Hoogtereeksen van sedimentatie-erosieplots op het slik langs geulwandverdediging NO Saeftinge voor de periode februari 1998 tot maart 2005



In Tabel 2.2-1 zijn de resultaten met betrekking tot de hypothesen in tabelvorm samengevat.

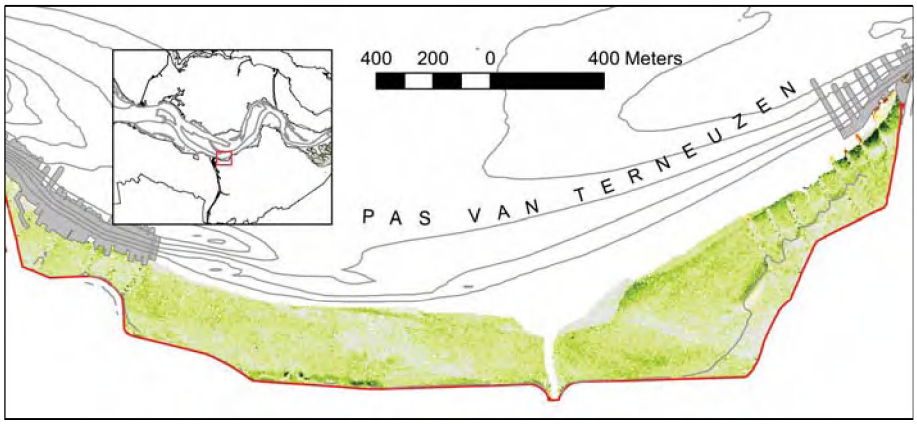
Tabel 2.11-1: Samenvatting ontwikkelingen geulwand en slik bij de geulwandverdedigingen

Naam bocht in hoofdgeul	Hypothese O1 Inscharing van de bocht	Hypothese O2 Slikverlaging in de bocht
Gat van Ossenisse	Nee. Nog wel enkele meters per jaar inscharing bij het onverdedigde deel.	Ja, op veel plaatsen en het sterkst achter het onverdedigde deel
Zuidergat	Nee	Ja, achter de open knik in de geulwandverdediging en lager gelegen delen
Overloop van Valkenisse	Nee. De aansluitende oostelijke onverdedigde geulwand schaart nog wel in met gemiddeld 2m/jr.	Nee (niet structureel)
Nauw van Bath	Nee. Nog wel inscharing in de onverdedigde overgang tussen Overloop van Valkenisse en Nauw van Bath.	Ja, lokaal, lager gelegen delen.
NO Saeftinge	Nee. Aansluitende onverdedigde delen scharen nog wel in met gemiddeld 1m/jr.	Ja, met name op hoger gelegen delen nabij het schor.

Als de tabel globaal beschouwd wordt kan gesteld worden dat de uitbochting van de geulwanden in de bochten gestopt is, maar dat de aansluitende onverdedigde delen nog wel verder eroderen. Wat betreft de slikverlaging in de bochten kan gesteld worden dat in de meeste bochten op plaatsen waar slikverlaging optreedt dit erosieproces geen halt is geroepen.

Om de hypothesen te kunnen toetsen is tot nu toe alleen gekeken naar de slikken achter de betreffende geulwandverdedigingen. Om een referentiesituatie te hebben als voorbeeld is ook naar een slik met een

onverdedigde geulwand gekeken; het slik ten noordwesten van Terneuzen (zie Figuur 2.11-22).



Figuur 2.11-22: Verschilkaart slik ten noordwesten van Terneuzen periode april 2004 – oktober 2001 (legenda zie figuur 2.13.4)

Het aantal slikken in de buitenbochten van de Westerschelde zonder een verdedigde geulwand is schaars. Het slik ten noordwesten van Terneuzen is het meest dichtbij gelegen ten opzichte van de andere geulwandverdedigingen. Analyses hebben aangetoond dat deze onverdedigde geulwand stabiel is. In de verschilkaart (Figuur 2.11-22) is te zien dat in de periode 2001- 2004 het grootste deel van het slik aan lichte erosie (enkele cm per jaar) onderhevig is. Deze erosie doet zich voor vanaf 2001. Hiervoor waren de veranderen nihil of was sprake van lichte aanzanding (1 à 2 cm per jaar).

2.11.4. Conclusies ontwikkeling geulwandverdediging

Hypothese O1: De geulen in het oostelijk deel zullen niet verder inscharen. Wat betreft de effectiviteit van de geulwandverdedigingen om de inscharing van de bochten in het oostelijk deel van de Westerschelde tegen te gaan kan geconcludeerd worden dat dit tot nu toe in het algemeen werkt. Toch treedt overal daar waar de bestorting ophoudt nog erosie van de geulwand op. Dit kan verklaard worden doordat de bodem zich aanpast aan de nieuwe situatie. Waar water en bodem eerst vrij spel hadden ligt de bodem (geulwand) nu vast. De energie van het water concentreert zich nu daar waar de bestorting ophoudt (neerwerking) en resulteert in (versnelde) erosie. Er kan wel opgemerkt worden dat erosie van de aanliggende onverdedigde delen het sterkst is tot enkele jaren na het gereedkomen van de verdediging. Hierna is deze erosie beperkt tot 1 à 2m per jaar. De erosie kan dus gezien worden als het aanpassen aan de nieuwe situatie en heeft tot nu toe geen gevolgen voor de stabiliteit van de (verdedigde) geulwand geleid.

Hypothese O1 blijkt juist te zijn en wordt niet verworpen aangezien bij de bochtdelen waar een geulwandverdediging is aangebracht, de inscharing van deze bochten tot staan is gebracht.

Hypothese O2: De slikken achter de geulwandverdedigingen zullen niet verder verlagen. De slikverlaging achter de geulwandverdedigingen is niet overal een halt toegeroepen. In vier van

de vijf bochten treedt nog steeds (lokaal) slikverlaging op. Geconcludeerd kan worden dat over het algemeen de lager gelegen slikdelen eroderen (met ca. 5 à 10cm/jr) en dat de aanwezigheid van een geulwandverdediging nauwelijks invloed op dit (reeds bestaande) erosieproces heeft.

Hypothese O2 blijkt tot nu toe niet juist te zijn en wordt verworpen, aangezien op een groot deel van de slikken achter de geulwandverdedigingen lokaal nog steeds slikverlaging optreedt.

2.11.5. Discussie en aanbevelingen

Zoals reeds in de conclusies naar voren is gekomen, blijkt een geulwandverdediging een zeer effectief middel te zijn om inscharing van bochten te voorkomen of te stoppen. In het geval dat in een gedeelte van een bocht geen verdediging is aangebracht (Gat van Ossenisse), gaat de inscharing verder. Echter lijkt de inscharing hier de laatste jaren af te nemen wat waarschijnlijk te danken is aan het ontstaan van een nieuwe evenwichtsituatie.

Voorts moet opgemerkt worden dat de verdedigingen lager (NAP –2m) zijn uitgevoerd dan oorspronkelijk gepland (NAP) om nog enige dynamiek toe te laten op het slik. Echter wordt met dynamiek niet alleen erosie bedoeld, wat nu op enkele plaatsen wel het geval is, maar een afwisseling van erosie en sedimentatie.

Zoals o.a. enkele hoogtereeksen van de sedimentatie-erosie plots hebben laten zien lijken de verdedigingen tot nu toe weinig invloed te hebben op de (al bestaande) erosieprocessen van het intergetijdengebied. Dit kan het gevolg zijn van het feit dat de verdedigingen lager zijn aangelegd dan oorspronkelijke bedacht (NAP – 2m in plaats van NAP). Anders kan ook gedacht worden aan een tekortkomend ontwerp; bijvoorbeeld de onderbreking in de verdediging bij het Gat van Ossenisse, de "knik" in de verdediging bij het Zuidergat en dat de verdediging bij Bath eigenlijk nog verder had moeten doorlopen naar het westen. Bij de beoordeling moet beseft worden dat de verdedigingen in hoofdzaak zijn aangelegd om verdere uitbochting te voorkomen. Naast deze argumenten kan het ook zijn dat de evaluatieperiode te kort is om de verwachte ontwikkelingen te kunnen waarnemen.

De scherpte van de bocht heeft ook invloed op de ontwikkeling van het slik en de geulwand. De grootte van de bochtstraal heeft sterke invloed op de spiraalwerking en zo de erosie in de bocht. De geulwandverdediging "NO Saeftinge" en "Overloop van Valkenisse" liggen langs een flauwer deel van de bocht. Hier is de invloed van de vloed- en/of ebstroom minder sterk. Erosieprocessen zijn hier minder sterk en/of er is zelfs sprake van een dynamisch slik (erosie èn sedimentatie – zoals bij Valkenisse). Ook de afstand tot de geul, de helling van het slik en eventueel voorkomende dagzomende harde (veen)lagen kunnen invloed op het voorkomen en de mate van erosie hebben.

Het slik ten noordwesten van Terneuzen (zonder geulwandverdediging) vertoont een zelfde beeld wat ontwikkeling van het slik betreft; geen aanzanding en een groot deel is aan erosie van gemiddeld 1 à 2 cm per jaar onderhevig. Met het feit van een stijgende zeespiegel en een mogelijke verdere verruiming van de vaargeul is het de vraag of zonder aanvullende maatregelen de huidige erosieprocessen op korte termijn wel gestopt kunnen worden.

Wat betreft de slikverlaging in het Zuidergat valt op te merken dat de 'knik' in de geulwandverdediging een negatief effect heeft op het slik, aangezien de vloedstroom nu nog steeds het slik op kan stromen en zo lokaal sterke erosie veroorzaakt. De knik is verlaagd uitgevoerd (NAP – 4m) om nog enige dynamiek op het slik mogelijk te maken. Wanneer deze dynamiek (lees erosie) hier niet meer gewenst is, is het wellicht verstandig de 'knik' uit de geulwandverdediging te halen c.q. op te vullen op de manier van een reguliere geulwandverdediging.

GWV blijven gevoelige objecten in de vaargeul. Regelmatig monitoren van de constructie en de omgeving van de verdediging maken het mogelijk om tijdig ongunstige ontwikkelingen te kunnen signaleren zoals achterloopsheid, ondermijning, te steile taluds etc. In het bijzonder bij het Gat van Ossenisse moeten de onverdedigde delen nauwlettend gemonitord worden of de erosie/inscharing niet alsnog verder gaat zodat de huidige bestorting en de hydraulische bochtstraal niet in gevaar kan komen.

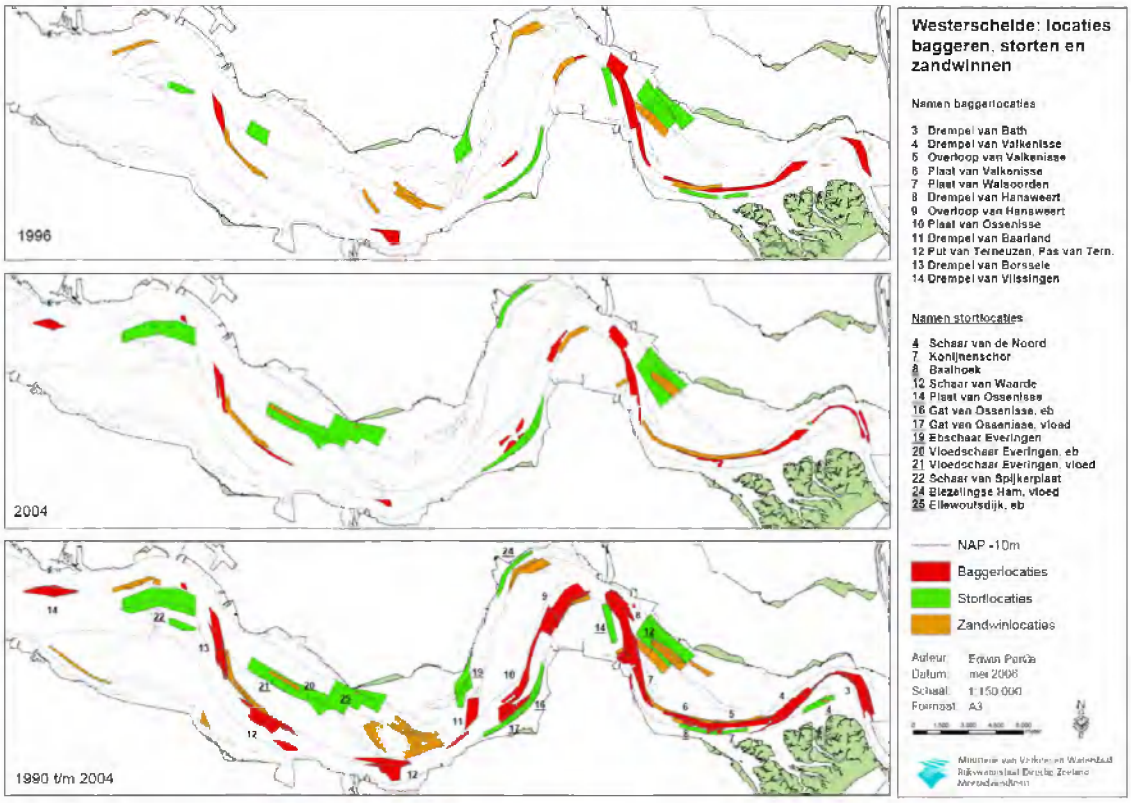
2.12 Baggeren, storten en zandwinning

De bagger-, stort- en zandwinstrategie houdt in: "een doelmatige keuze van de stort- en zandwinplaatsen ten opzichte van de baggerplaatsen en de verdeling van de hoeveelheden onderhoudsbaggerwerk en te winnen zand over deze locaties. Een passende strategie voor baggeren, storten en zandwinnen kan het systeem bijsturen" (Vroon et al., 1997).

Na de eerste verruimingswerken van 1967 tot 1978 werd in het oostelijke deel van de Westerschelde het materiaal dat vrijkwam bij het baggerwerk om de drempels op diepte te houden (onderhoudsbaggerwerk) weer in de nevengeulen van het oostelijke deel teruggestort. De gevolgen van deze stortstrategie waren verlies aan natuurlijke dynamiek en verlies aan diversiteit van ecotopen (Vroon *et al.*, 1997). Bij de verruiming van 1997-2001, de verruiming 48'/43', verwachtte men dat het onderhoudsbaggerwerk in de gehele Westerschelde zou toenemen. Het oostelijk deel had niet de capaciteit om deze extra hoeveelheid ook nog te bergen. Vanaf de verruiming 48'/43' wordt het onderhoudsbaggerwerk dan ook grotendeels in het midden en westen van de Westerschelde gestort. Naast het feit dat deze nieuwe strategie een positieve uitwerking kan hebben op herstel van de dynamiek in het oostelijke deel, was de verwachting dat de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk op de drempels door deze nieuwe strategie in het oostelijke deel tijdelijk minder snel zou toenemen. De retourstroom naar het oosten zou pas later op gang komen dacht men.

In Figuur 2.12-1 is een overzicht gegeven van de locaties voor het baggeren, storten en zandwinnen vanaf 1990 in de Westerschelde. Niet alle jaren zijn weergegeven omdat er in veel jaren op dezelfde locatie gebaggerd, gestort of zandgewonnen wordt. Er is gekozen voor het weergeven van een representatief jaar vóór de verruiming '48/'43 (1996) en een representatief jaar na de verruiming '48/'43 (2004) en voor een totaal overzicht. De figuur laat zien dat het baggeren, storten en zandwinning duidelijk verschillend is in de periode voor en na de verruiming '48/'43.

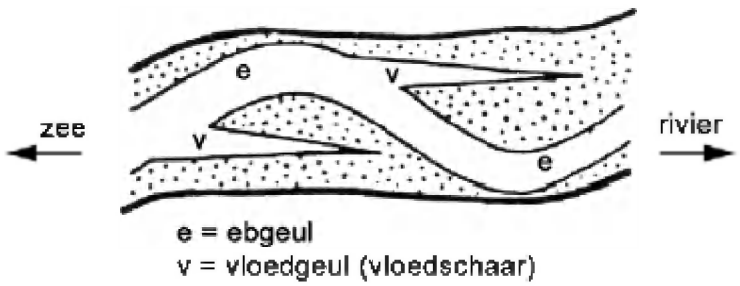
Figuur 2.12-1: Overzicht van de bagger-, stort- en zandwinlocaties in de Westerschelde 1990-2004



2.12.1. Baggeren

Al in 1923 werd in de Westerschelde gebaggerd en wel op de drempel van Bath om de vaargeul naar de haven van Antwerpen op de gewenste diepte te houden (Kornman *et al*., 2002).
Een drempel ligt in het overgangsgebied tussen twee opeenvolgende bochten, waar het estuarium van nature op zijn ondiepst is (Kater, 2005). Elke grote bocht van de belangrijkste ebgeul van de Westerschelde gaat gepaard met een vloedgeul. Deze vloedgeulen ontstaan omdat het water als het ware 'uit de bocht vliegt' (Figuur 2.12-2). De vloedgeulen lopen bijna recht en worden richting bovenstroom van het estuarium ondieper en smaller (van Veen, 1950). De vloedgeul eindigt in een drempel op de plaats waar het water weer samenvloeit met de ebgeul.

Figuur 2.12-2: Geschematiseerd patroon van de eb- en vloedgeulen. (Naar van Veen, 1950)



Rond de jaren 1920-1930 lagen de drempels op NAP –8 m tot 10 m. Aangenomen wordt dat deze diepte min of meer de 'natuurlijke' diepte van de drempels is (Pieters *et al.*, 1991).
In de loop der jaren zijn de schepen echter groter geworden en om deze schepen toegang te geven tot de haven van Antwerpen is de vaarweg van de Westerschelde al twee keer verruimd. De eerste verruimingswerken begonnen in 1967 met het verdiepen van de drempel bij Bath en eindigde in 1978 met het verdiepen van de drempel bij Hansweert (Belmans, 1988). De tweede verruimingswerken van de Westerschelde zijn grotendeels uitgevoerd van juli 1997 tot juli 1998 en aanvullend in 2001 in de monding (De Wielingen). In het hoofdstuk zandtransporten wordt een hypothese over dit aanlegbaggerwerk besproken.

Omdat de drempels constant aanzanden is continu onderhoudsbaggerwerk nodig om de vaargeul op de gewenste diepte en breedte te houden. In dit hoofdstuk gaat het uitsluitend om dit onderhoudsbaggerwerk ten behoeve van de (hoofd)vaargeul.
Baggeren op drempels alleen is niet genoeg. De breedte van de vaargeul ondervindt hinder van opdringende platen en zandgolven. De gegarandeerde drempeldiepten in dm t.o.v. GLLWS (Gemiddeld Laag-LaagWater-Spring, de laagst mogelijke waterstand) in de loop der jaren en de huidige nautische drempelbreedtes staan in Figuur 2.12-3 vermeld. Daarnaast worden in de Westerschelde, maar ook in de Beneden Zeeschelde, de toegangsgeulen naar de havens gebaggerd. In de Westerschelde wordt dit materiaal weer dicht bij de havens teruggestort.

Figuur 2.12-3: Gegarandeerde drempeldiepten in dm t.o.v. GLLWS

	Drempeldiepte		Drempelbreedte
	Vóór 1997	Na 1997	
Wielingen	13,4	15,1	500
Drempel van Vlissingen	12,8	14,5	520
Drempel van Borssele	12,2	13,9	330
Drempel van Baarland	12,1	13,4	500
Drempel van Hansweert	11,7	13,3	370
Drempel van Valkenisse	11,9	13,3	370
Drempel van Bath	11,9	13,3	370

Om de vaardieptes en breedtes te handhaven wordt naast op de drempelgebieden ook gebaggerd in de zogenaamde 'overige gebieden'. Er zijn vanaf 1986 voor de Westerschelde een zestal drempelgebieden en een zestal "overige" locaties relevant, zie Figuur 2.12-4.

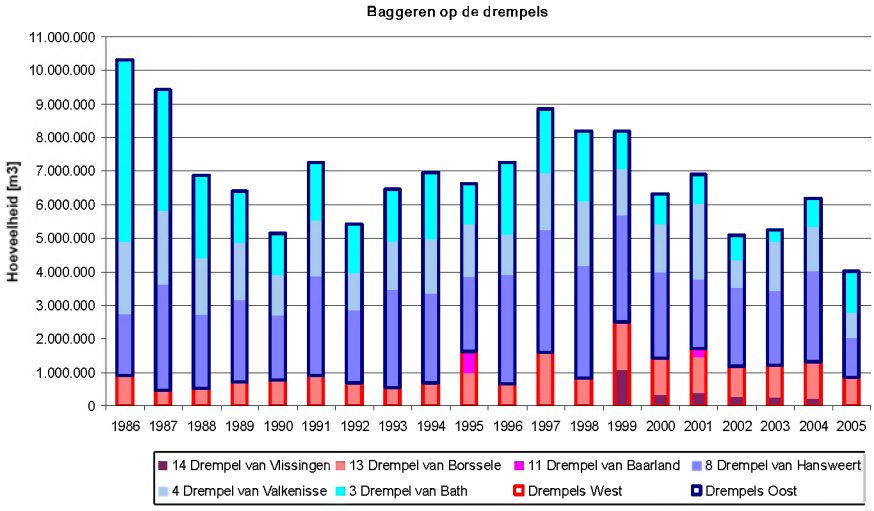
Figuur 2.12-4: Relevante drempel- en overige baggerlocaties in de Westerschelde 1986-2005

	Drempelocaties	Overige locaties
West	14 Drempel van Vlissingen 13 Drempel van Borssele 11 Drempel van Baarland	12 Pas van Terneuzen
Midden		10 Plaat van Ossenisse 9 Overloop van Hansweert
Oost	8 Drempel van Hansweert 4 Drempel van Valkenisse 3 Drempel van Bath	7 Plaat van Walsoorden 6 Plaat van Valkenisse 5 Overloop van Valkenisse

De drempellocaties met het grootste volume onderhoudswerk zijn Borssele, Hansweert, Valkenisse en Bath. De "overige" locaties met de grootste volumes zijn Overloop van Hansweert, Plaat van Walsoorden en Overloop van Valkenisse.
Het reguliere drempelonderhoud bedroeg zowel in de periode voor als na de verruimingswerken circa 6 ± 1 Mm^3. In periode met verruimingswerken was dit 2,5 Mm^3 meer. Er is dus geen verschil tussen de periode voor en na verruimingswerken wat het reguliere drempelonderhoud betreft. Dit is ook beschreven in de hypothesen van hoofdstuk 2.6 Zandtransporten.

Het onderhoudswerk aan de drempels gebeurt vooral in het oosten (Figuur 2.12-5). In de periode tot de verruimingswerken werd 70 tot 90% van het onderhoudswerk in het oostelijke deel van de Westerschelde gedaan. Na 1998 is dit 50 tot 75%.

Figuur 2.12-5: Baggerhoeveelheden per drempellocatie in de Westerschelde tussen 1986-2005

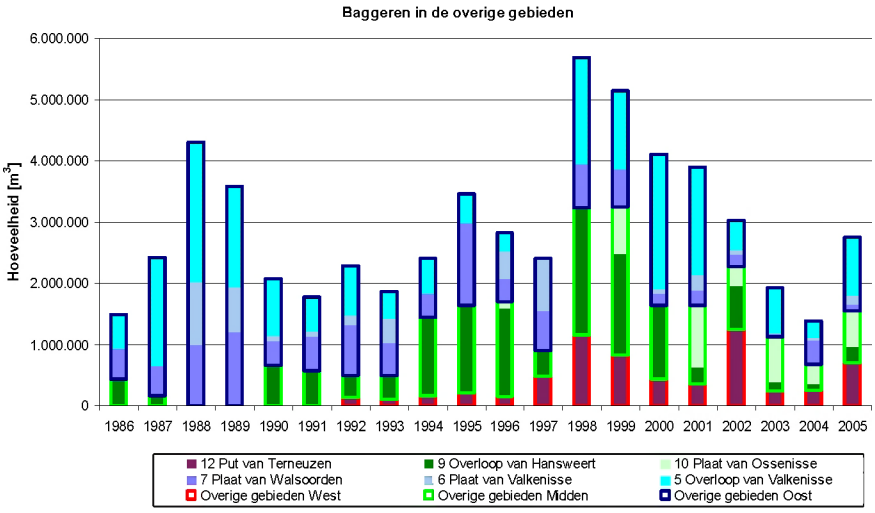


Uit de baggerhoeveelheden per drempel blijkt dat de drempel van Vlissingen pas vanaf 1999 wordt onderhouden, er op de drempel van Borssele na 1997 meer wordt gebaggerd dan ervoor, terwijl de drempel van Baarland slechts in 1995 en 2001 is onderhouden. De drempel van Hansweert heeft de grootste oppervlakte en het grootste onderhoudsvolume welke net als de drempel van Valkenisse min of meer constant is. Het baggervolume op de drempel van Bath is na 1998 afgenomen. Tot slot is duidelijk de extra baggerinspanning in de jaren 1997/1998, waarin de tweede verruimingswerken zijn uitgevoerd, te zien.

Het onderhoudswerk van de overige locaties ligt rond de 2 Mm^3 in de periode voor de verruimingswerken en neemt dan af van 5 Mm^3 tot 2 Mm^3 in 2004. Dit betekent dat de afname van het totale onderhoudswerk na 1997/1998 voor het grootste deel komt door de afname van het onderhoudswerk van de "overige" locaties. De toename tijdens de verruimingsperiode kwam door het op diepte en breedte brengen van de nieuwe vaargeul.

Ook het onderhoudswerk in de overige gebieden gebeurt vooral in het oosten en midden (Figuur 2.12-6). In de jaren van de verruiming, 1997-1998, is het onderhoudsbaggerwerk in zowel het oosten als midden en westen groot. Na 1998 is het onderhoudsbaggerwerk in het westen toegenomen.

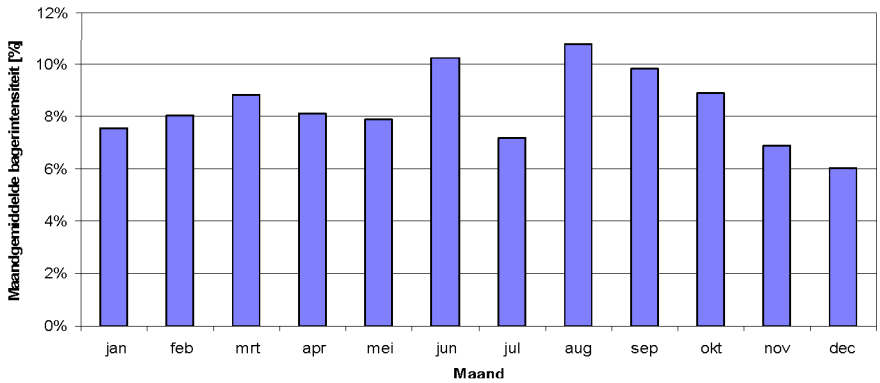
Figuur 2.12-6: Baggerhoeveelheden op de overige locaties in de Westerschelde van 1986-2005



De onderhoudsbaggerwerkzaamheden op de overige locaties laten zien dat er weinig onderhoudswerk in de periode 1990-1996 op de Pas van Terneuzen heeft plaats gevonden. Daarna zijn de hoeveelheden groter geworden vanwege het feit dat zandgolven tot boven de gegarandeerde vaardiepte uitsteken. De plaat van Ossenisse heeft jaren zonder onderhoud en jaren met veel onderhoud. De Overloop van Hansweert en Plaat van Walsoorden hebben meer onderhoud voor 1997, met een piek tijdens de verruimingswerken, waarna vervolgens het onderhoud afneemt. De plaat van Valkenisse laat een sterk wisselend onderhoud in de tijd zien. Het onderhoud op de Overloop van Valkenisse neemt af na 1989 tot 1997 en na 2001.

Het baggerbedrijf is voorts een continu bedrijf. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van het gemiddelde percentage per maand dan gebaggerd wordt in de periode 1986-2005 (Figuur 2.12-7). Hieruit blijkt dat het gemiddeld uitgevoerde onderhoudswerk per maand min of meer constant is. Afwijkingen treden op in juli, de vakantieperiode, en in december, vanwege kerstmis-nieuwjaar.

Figuur 2.12-7: Maandgemiddeld baggerwerk Westerschelde

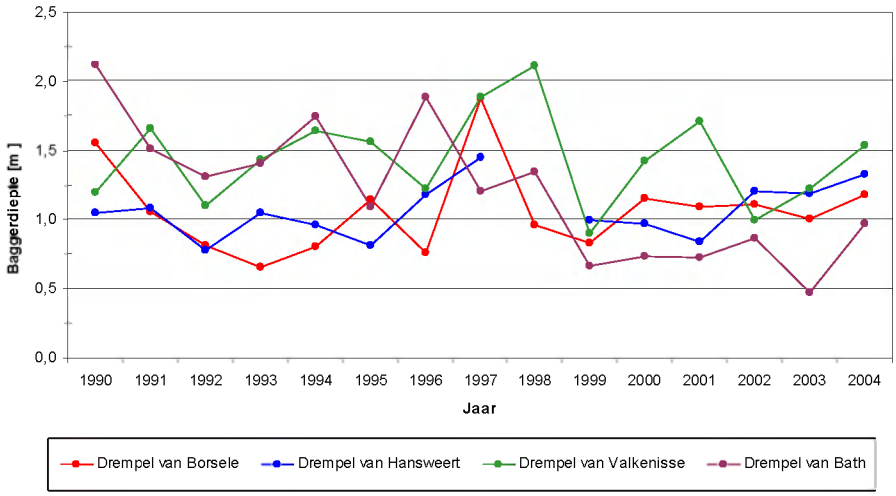


2.12.1.1 Aanzandingssnelheid drempels en "overige" gebieden

Vroon *et al*. (1993) veronderstelden dat meer overdiepte door de tweede verruimingswerken meer aanzanding van een drempel zou gaan betekenen. Er werd op grond hiervan voorspeld dat het reguliere onderhoudsbaggerwerk na de tweede verruimingswerken sterk zou toenemen en wel met 6 Mm^3. Figuur 2.12-5 en Figuur 2.12-6 laten zien dat het onderhoudswerk tijdens en kort na de verruimingswerken inderdaad is gestegen maar daarna, tegengesteld aan de verwachtingen, weer is afgenomen tot waarden zoals in de periode voor de tweede verruimingswerken.

In het MOVE evaluatierapport 2003 (p. 39) staat dat de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk van de drempels na de tweede verruiming niet lijkt te zijn toegenomen. Gesuggereerd werd dat diverse drempels, met name in het oostelijk deel van de Westerschelde, een maximum aanzandingssnelheid hebben bereikt en dat een geconstateerde toename van het onderhoudswerk van een drempel slechts veroorzaakt wordt doordat het te onderhouden oppervlak van de drempel is veranderd. Om dit nader te onderzoeken is voor de drempels per jaar het gebaggerde volume onderhoudsspecie gedeeld door het in dat jaar gebaggerde oppervlakte (Figuur 2.12-8).

Figuur 2.12-8: Baggerdiepte op de drempels

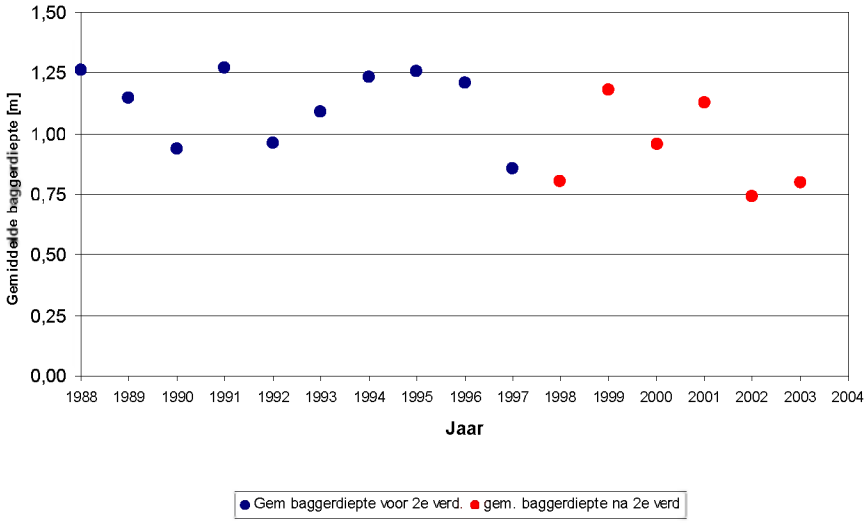


Hieruit valt voor de drempellocaties het volgende te concluderen: Voor de drempellocaties in het oostelijke deel, Valkenisse en Hansweert, is het onderhoudsvolume per ha drempel in de periode 1990-2005 constant. Voor de drempellocatie Bath lijkt het volume na 1998 af te nemen. Het volume per ha is voor de drie locaties vergelijkbaar, rond maandgemiddelden van 10.000 m^3 per ha per jaar. Een constant volume in de tijd met omvang rond 12.000 m^3 per ha per jaar geldt ook voor de drempel van Borssele. Voor de verruiming in 1998 van de nieuwe drempellocatie Vlissingen (niet vermeld in de figuur) geldt, zoals voor de andere drempellocaties, wel een constant volume in de tijd maar het niveau is duidelijk lager dan dat van de overige drempels. De drempel Baarland is buiten beschouwing gelaten omdat de drempel slechts af en toe wordt onderhouden. Het lijkt er dus op dat de drempels van de Westerschelde een in de tijd constante min

of meer vergelijkbare jaarlijkse aanzanding van rond 1000 m^3 per ha drempel per maand of te wel rond 10.000 m^3 per ha per jaar hebben.

De gemiddelde jaarlijkse aanzanding op de drempels in de Westerschelde is circa 1 m per jaar zowel voor als na de verruiming (Figuur 2.12-9). In de periode voor de verruiming lijkt de aanzanding op de drempels wat hoger, hetgeen vooral komt door de lagere waarden voor de sinds 1999 nieuwe locatie Vlissingen.
Deze min of meer gelijke aanzanding van de drempels voor en na de verruiming terwijl het storten naar het westen is verplaatst, ondersteunt de visie van Kornman *et al* (2002) dat de afstand tussen bagger- en stortlocaties niet de aanzandingssnelheid bepaalt.

Figuur 2.12-9: Gemiddelde baggerdiepte voor en na de verruiming '48/'43



De (fysische) verklaring (zie Kornman *et al.*, 2002) voor de constatering van een min of meer gelijke aanzandingssnelheid van de drempels voor en na de tweede verruimingswerken is de volgende:

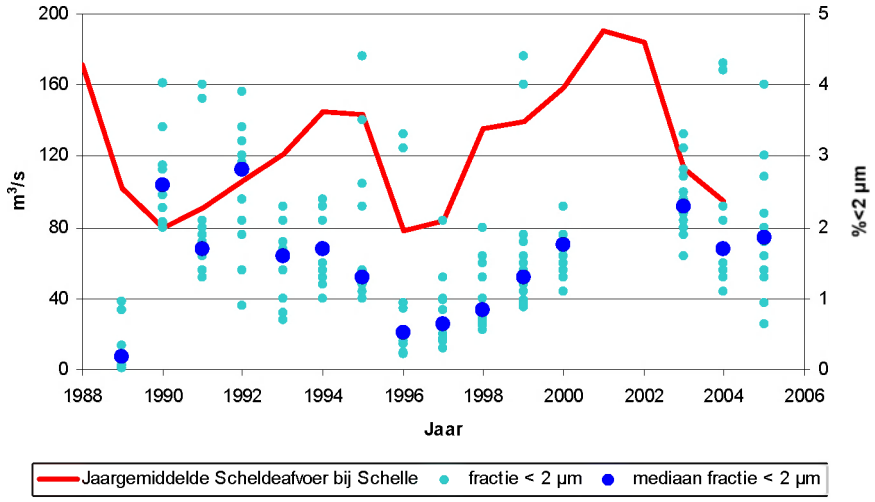
De natuurlijke drempeldiepte is te klein voor de scheepvaartfunctie. Daarom is in de tijd via verruimingswerken een zogenaamde "overdiepte" gecreëerd waarnaar vervolgens zand wordt getransporteerd. Het resulterende baggervolume van een drempel is afhankelijk van de grootte van het drempelgebied, de grootte van de "overdiepte", de aanvoer van zand uit de omgeving naar de drempel en de verticale uitwisselingssnelheid (de mogelijke afvoer van zand vanuit de drempel). Vervolgens is een eenvoudig model afgeleid voor het te baggeren volume op een drempel als functie van deze variabelen en toegepast op de Westerschelde. De resultaten laten zien dat de "overdiepte" inmiddels zo groot is dat het baggerbezwaar de maximale waarde van het baggerbezwaar nadert. Het model verklaart ook waarom de nieuwe drempel van Vlissingen, met een geringere "overdiepte", een lagere aanzandingssnelheid heeft.
Geconcludeerd wordt, net als Kornman (2002), dat er tot op heden geen echte bewijzen zijn dat storten van sediment in de nabijheid van de drempels leidt tot een grotere sedimentbeschikbaarheid en daarmee toename van de baggerinspanning.

De constante aanzandingssnelheid heeft verder mogelijk consequenties voor het bagger- en stortbeleid. Het suggereert als eerste dat wellicht optimaler gebaggerd kan worden. Er kan mogelijk dicht(er) bij baggerlocaties gestort worden. Hoe dichtbij is niet aan te geven. Ten tweede suggereert het dat storten mogelijkerwijs ook in de hoofdgeul kan gebeuren. Nader onderzoek naar optimalisering van het bagger- en stortbeleid wordt dan ook aanbevolen.

2.12.1.2 Samenstelling baggerspecie

Elk jaar vanaf 1988 worden de baggerlocaties bemonsterd om de waterbodemkwaliteit vast te stellen. Van de genomen monsters wordt ook de korrelgrootteverdeling bepaald. Microverontreiniging hecht zich vooral aan het fijne sediment <2 µm. De laagste percentages van het sediment <2 µm komen voor in de periode 1996-1998 (Figuur 2.12-10). In de perioden ervoor en erna zijn de percentages hoger.

Figuur 2.12-10: Mediane waarde %<2µm van de drempels en overige gebieden in de Westerschelde en jaargemiddelde afvoer van de Schelde bij Schelle



De oorzaak van de afnemende slibpercentages voor de verruiming en de toename erna is niet (helemaal) duidelijk. Er lijkt een relatie met jaargemiddelde Schelde afvoer aanwezig, zeker voor de periode na 1996. In jaren met lage debieten is het gehalte <2 µm of lutumgehalte ongeveer 1%, in jaren met hoge debieten circa 2%. In de jaren voor 1993 is de relatie minder duidelijk o.a. omdat in die periode twee miljoen ton droge stof baggerspecie is verwijderd uit de Beneden Zeeschelde (Salden, 1998).

2.12.2. Storten

Al het materiaal dat bij het onderhoudsbaggerwerk wordt opgebaggerd, wordt in principe teruggestort in de Westerschelde. De basisgedachte hierbij is, dat het aanwezige materiaal het fundament vormt van de huidige situatie van natuurlijkheid en veiligheid. Bij het terugstorten wordt een bepaalde strategie gevolgd. Vóór de verruiming 48'/43' werd het zand gestort in de (oostelijke) nevengeulen omdat de vaarroute voor de baggerschepen dan kort en het onderhoudswerk daarmee dus goedkoop was. Bovendien werd verondersteld dat het bodemmateriaal uit het oosten meer vervuild was dan de bodem van het westen en dus ook het best weer in het oosten gestort kon worden. Op basis van de studie OOSTWEST (Vroon *et al.*, 1997) is vanaf 1997

(tot heden) een ander stortbeleid gevolgd. Nu wordt het zand dat in het oosten wordt gebaggerd voornamelijk in het westen en middengedeelte van de Westerschelde teruggestort. De bedoeling van deze strategie is dat de morfologische dynamiek in het oostelijke deel terugkomt door het verminderen van het aaneengroeien van plaatcomplexen. Daarnaast zou het onderhoudsbaggerwerk op deze wijze efficiënter zijn, omdat de stortlocaties nu verder van de drempels in het oosten af liggen, waardoor de retourstroom wordt geminimaliseerd en de drempels in het oosten minder snel zouden aanzanden.

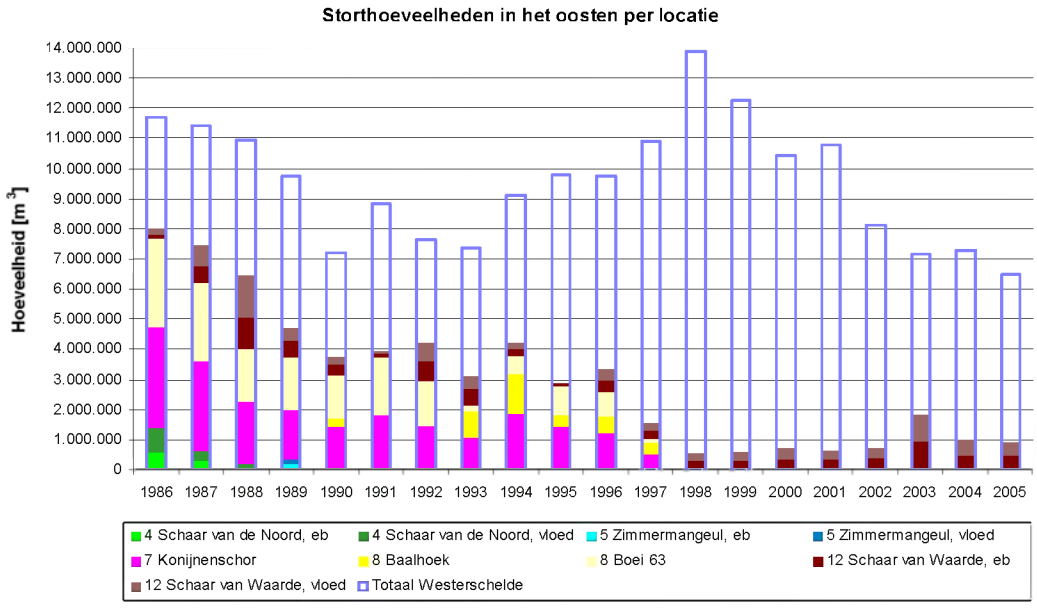
Vanaf 1990 tot heden zijn er in de Westerschelde dertien relevante stortlocaties (Figuur 2.12-1). De locaties in het oostelijke, midden en westelijke deel van de Westerschelde met hun stortperiode staan vermeld in Tabel 2.13.3.

Figuur 2.12-11: Stortlocaties in de Westerschelde 1986-2005

Oostelijke deel	Middendeel	Westelijke deel
4 Schaar van de Noord	14 Plaat van Ossenisse	19 Ebschaar Everingen
7 Konijnenschor	24 Biezelingse Ham, vloed	25 Ellewoutsdijk, eb
8 Baalhoek	16 Gat van Ossenisse, eb	20 Vloedschaar Everingen, eb
12 Schaar van Waarde	17 Gat van Ossenisse, vloed	21 Vloedschaar Everingen, vloed
		22 Schaar van Spijkerplaat

In het oostelijk deel wordt na 1997 nog maar weinig gestort ten opzichte van de totale hoeveelheid die er gestort wordt in de Westerschelde. Dit vind vervolgens nog maar plaats op één stortlocatie, de nevengeul de Schaar van Waarde bij zowel eb als vloed (Figuur 2.12-12).

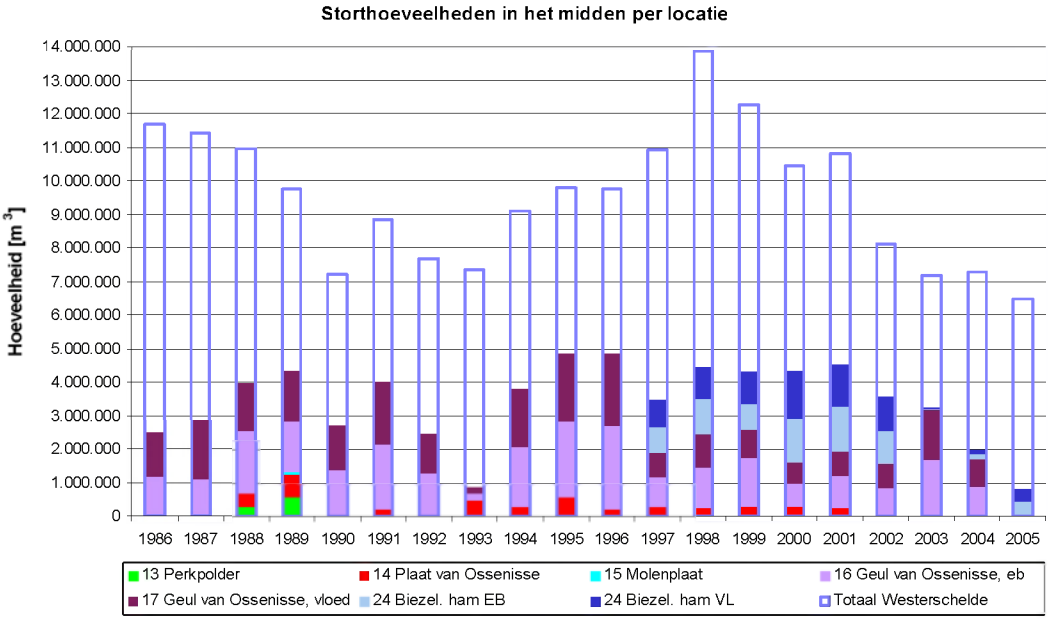
Figuur 2.12-12: Storthoeveelheden in het oosten van de Westerschelde voor de periode 1986-2005



De Schaar van de Noord, Konijnenschor en Baalhoek (plus Boei 63) vormden samen het stortgebied bij Saeftinge dat sinds 1997 niet meer bestaat.

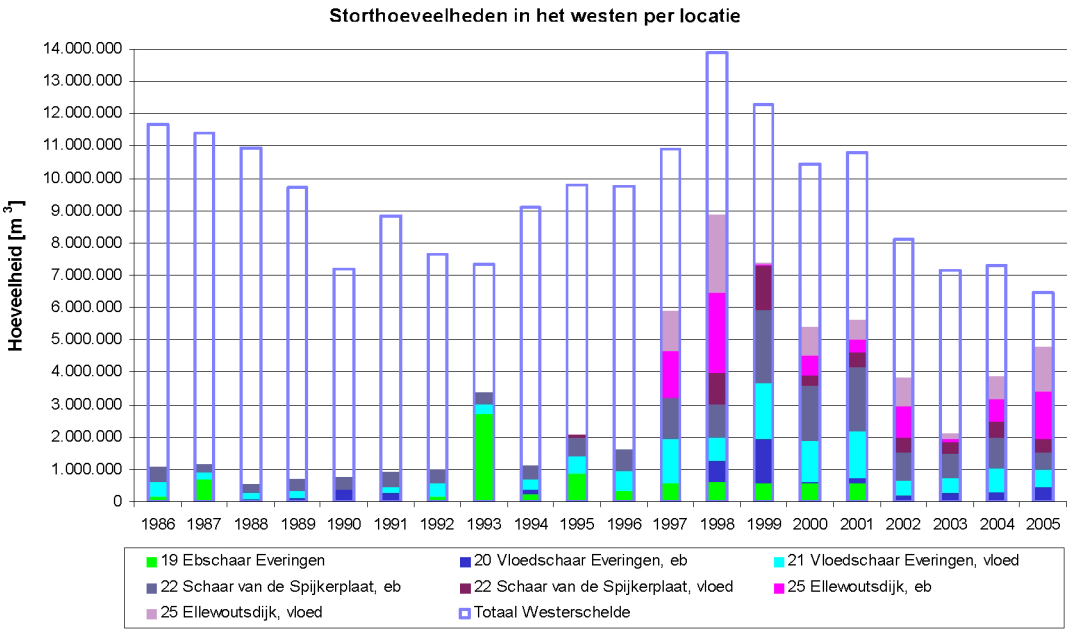
In het middendeel zijn er drie vrijwel permanente locaties geweest Plaat van Ossenisse en Geul van Ossenisse eb en vloed (Figuur 2.12-13). Na de aanbeveling uit de evaluatie in 2003 (Stikvoort *et al*, 2003) zijn de stortingen in het Gat van Ossenisse gestopt.
De locatie Biezelingse Ham is nieuw vanaf de verruiming. De locatie Biezelingse Ham ligt in de nevengeul terwijl het Gat van Ossenisse nabij de hoofdgeul ligt.

Figuur 2.12-13: Storthoeveelheden in het midden van de Westerschelde per locatie voor de periode 1986-2005



Er wordt na 1997 voornamelijk in het westelijke deel gestort (Figuur 2.12-14). In de Vloedschaar Everingen eb en vloed en Schaar van Spijkerplaat wordt permanent gestort. De stortingen in de ebschaar Everingen zijn gestopt in 2001 terwijl Ellewoutsdijk, eb nieuw is vanaf 1997.
De locaties Ellewoutsdijk, Ebschaar en Vloedschaar Everingen en Schaar van Spijkerplaat liggen in de nevengeulen.

Figuur 2.12-14: Storthoeveelheden in het westen van de Westerschelde per locatie voor de periode 1986-2005



De belangrijkste stortlocaties na de verruimingswerken zijn Schaar van Waarde voor het oostelijke deel, Biezelingse Ham en Gat van Ossenisse voor het midden deel en Vloedschaar Everingen, Schaar van Spijkerplaat en Ellewoutsdijk voor het westelijke deel. Het aanlegwerk is voornamelijk gestort in Ellewoutsdijk (1997 en 1998) en Schaar van Spijkerplaat (1999).
De figuren laten verder de overgang na de tweede verruimingswerken zien van het storten in het oosten naar het storten in het westen. Omdat al het materiaal dat wordt gebaggerd ook weer wordt gestort in de Westerschelde is de hoeveelheid en het verloop in de tijd van het regulier gestorte materiaal min of meer gelijk aan dat van het gebaggerde materiaal.

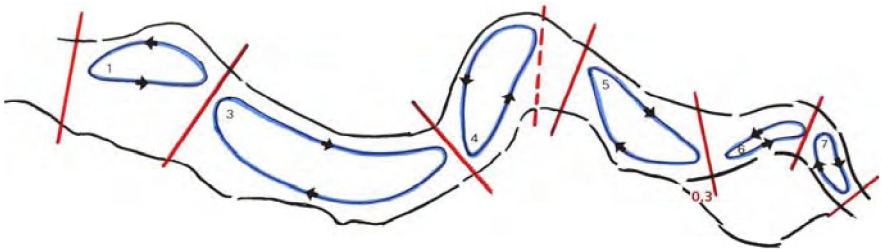
In het oostelijke deel overheerst het baggeren en in het midden en westelijke deel het storten. Het aanlegbaggerwerk is vooral in het oosten geweest en in het westen gestort. Vrijwel al het gebaggerde materiaal is weer teruggestort in de Westerschelde. Het verschil is het zand dat de Vlaamse en Nederlands overheid en de handel mag winnen (zie paragraaf 2.12.3 zandwinning).

2.12.2.1 Stortcapaciteit

WLIDelft Hydraulics heeft in het kader van het project Langetermijnvisie Schede-estuarium het "cellenconcept" ontwikkeld. Hiermee kan bepaald worden of het voortbestaan van het meergeulensysteem van de Westerschelde in gevaar komt door bagger- en stortactiviteiten. In het cellenconcept wordt het systeem van geulen en platen van de Westerschelde als een 'ketting' van morfologische cellen weergegeven. Iedere cel bestaat uit een ebgedomineerde (eb)geul en een vloedgedomineerde (vloed)geul met daartussen een

plaat en binnen zo'n cel is sprake van een circulerend netto-sedimenttransport. De grote geulen (hoofdgeulen) van de Westerschelde vormen de macrocellen. De mesocellen worden gevormd door de kleinere geulen of inscharingen (Figuur 2.12-15).

Figuur 2.12-15: Macrocellen Westerschelde



Stortcriterium

Voor elke cel kan met behulp van het cellenconcept op basis van waargenomen morfologische ontwikkelingen en ingrepen een stortcriterium vastgesteld worden: de hoeveelheid sediment die per jaar netto in de geulen gestort kan worden zonder dat deze op den duur verdwijnen. Netto wil hier zeggen dat als in een cel ook wordt gebaggerd of zand wordt gewonnen, de stortcapaciteit met deze gebaggerde hoeveelheid kan worden vergroot. Als beide geulen in een cel morfologisch niet veranderen en er netto dus geen zand bijkomt in of verdwijnt uit de cel, geldt het theoretische 5-10% stortcriterium (SC_0). Als in de cel echter wel netto zand bijkomt of verdwijnt dan worden de stortcriteria volgens Jeuken (2003) per geul (SC_{geul}) gelijk aan:

$$SC_{geul2} = SC_0 - \Delta V_{geul2} + \Delta V_{geul1}$$
$$SC_{geul1} = SC_0 - \Delta V_{geul1} + \Delta V_{geul2} \qquad (2)$$

ΔV_{geul} geeft de volumeverandering van de geul aan. Indien ΔV_{geul} positief is dan betekent dat de geul sedimenteert. Voor de ΔV_{geul} kan de ΔV_{tot} (wat je uit de loding meet) gebruikt worden of de ΔV_{cor} (de voor ingrepen gecorrigeerde volumeverandering) of de ΔV_{gem} (de gemiddelde van ΔV_{tot} en ΔV_{cor}). Jeuken (2003) concludeert uit de vergelijking met waarnemingen dat voor het vaststellen van een stortcapaciteit volstaan kan worden met een stortcapaciteit gebaseerd op ΔV_{tot} en ΔV_{gem}. De ΔV_{tot} geeft een ondergrens van de stortcapaciteit en ΔV_{gem} een bovengrens. De onzekerheidsmarge (bandbreedte) van de stortcapaciteit neemt toe naarmate de ingrepen belangrijker worden in de morfologische ontwikkeling (Jeuken, 2003).

Als echter in beide geulen netto wordt gestort geldt als stortcriterium:

$$SC_{geul\ 1+geul\ 2} = SC_{geul\ 1} + SC_{geul\ 2} \qquad (3)$$

Hierbij moet worden opgemerkt dat als voor één van beide geulen het stortcriterium een negatieve waarde heeft er in die desbetreffende geul niet netto gestort kan worden.

Jeuken (2005) heeft voor de waarden voor het SC_0 criterium ook minimum en maximum waarden bepaald die samenhangen met de aanname voor de korrelgrootte in de bepaling van de bruto transport capaciteit (zie Jeuken, 2001). Deze waarden zijn in deze studie overgenomen.
Het beleid voor vaargeulonderhoud en zandwinning zoals dat sinds 1997 uitgevoerd kan dus geëvalueerd worden door de werkelijk waargenomen netto stortingen te vergelijken met de stortcriteria. Zodoende kan bepaald worden in hoeverre de stortcapaciteit in de cellen is benut, onderschreden of overschreden. In onderstaande tabel staan de gegevens voor de evaluatie van de stortcapaciteit in de macrocellen waar sinds 1997 gestort wordt tot en met 2004 in Mm^3/j in profielkuubs. Deze gegevens zijn afkomstig vanuit de database die is opgesteld door Haecon (2006) in het kader van de actualisatie van de zandbalans van de Westerschelde in opdracht van ProSes2010. In de tabel staan enkel de macrocellen weergegeven waarin vanaf 1997 daadwerkelijk gestort is. Zodoende ontbreken macrocellen 6 en 7, aangezien daar slechts netto wordt gebaggerd.

Tabel 2.12-1: Evaluatie stortcapaciteit in de macrocellen sinds 1997

	Macrocel 1 Vlissingen	Macrocel 3 Terneuzen	Macrocel 4 Hansweert	Macrocel 5 Valkenisse
Waarnemingen				
Waar netto gestort?	G2[1)]	G2	G1 + G2	G2
Hoeveel gestort?	1,5 in G2	2,9	0,3 in G1 & 1,6 in G2	0,2
Volumeveranderingen G1	Honte (=EG)	Pas van Terneuzen (=EG)	Gat van Ossenisse (=VG)	Zuidergat (=EG)
ΔV_{tot}	-0,8	-0,7	-3,2	-2,5
ΔV_{cor}	-0,8	1,0	-3,5	2,3
ΔV_{gem}	-0,8	0,2	-3,4	-0,1
Volumeveranderingen G2	Sch. vd Spijkpl (=VG)	Everingen (=VG)	Middelgat (=EG)	Schaar van Waarde (=VG)
ΔV_{tot}	0,9	-0,2	2,7	-0,3
ΔV_{cor}	0,3	-3,2	1,0	-0.5
ΔV_{gem}	0,6	-1,7	1,9	-0,4
Theoretisch stortcrit.				
$SC_{0, min}$	1,4	1,9	1	0,8
$SC_{0, max}$	1,7	2,3	2,1	1,1
Stortcriterium				
$SC_{geul\ 1, min}$ [2)]	3,1	nvt	6,9	nvt
$SC_{geul\ 1, max}$ [3)]	3,2	nvt	7,4	nvt
$SC_{geul\ 2, min}$ [4)]	-0,3	1,4	-4,9	-1.4
$SC_{geul\ 2, max}$ [5)]	0,2	4,2	-3,2	1.4
Evaluatie	Ruimte in G1 Overschrijding in G2	Ruimte in G2	Ruimte in G1 Overschrijding in G2	Ruimte in G2

1) De geul die als hoofdvaarwater geldt wordt aangeduid als geul 1, dit is meestal ook de ebgeul (uitgezonderd macrocel 4).

2) $SC_{geul\ 1, min} = SC_{0, min} - \Delta V_{tot, geul\ 1} + \Delta V_{tot, geul\ 2}$

3) $SC_{geul\ 1, max} = SC_{0, max} - \Delta V_{gem, geul\ 1} + \Delta V_{gem, geul\ 2}$

4) $SC_{geul\ 2,\ min} = SC_{0,\ min} - \Delta V_{tot,\ geul\ 2} + \Delta V_{tot,\ geul\ 1}$

5) $SC_{geul\ 2,\ max} = SC_{0,\ max} - \Delta V_{gem,\ geul\ 2} + \Delta V_{gem,\ geul\ 1}$

Uit de tabel kan worden opgemaakt dat de totale netto stortcapaciteit in de periode 1997 t/m 2004, rekening houdend met de waargenomen morfologische ontwikkelingen, tussen de 10 en 16,4 $Mm3^3/j$ lag (tussen 11 Mm^3/j en 18 Mm^3/j in beunkuubs). De som van de waargenomen gemiddelde netto stortingen in die periode is kleiner dan die netto stortcapaciteit. De som van de netto stortingen is ook kleiner dan wat er bruto gestort is, aangezien de waarden van baggeren en zandwinning hierin natuurlijk zijn meegenomen.

Opmerkingen bij macrocel 1:
Er wordt in de beschouwde periode zowel in de eb- als de vloedgeul netto gestort. Het totale stortcriterium in de cel bedraagt dus maximaal 3,1 Mm^3/j en dit wordt dus met de totale netto stortingen in de cel van 1,5 Mm^3/j niet overschreden. Er is nog ruimte om te storten in de ebgeul (Honte), maar er is dus geen ruimte beschikbaar in de vloedgeul (Schaar van de Spijkerplaat). Gemiddeld over de periode is de stortcapaciteit in de vloedgeul dan ook overschreden. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat dit gemiddelden zijn over de periode 1997 t/m 2004 en dat er in de praktijk al sinds 2000 ook in de ebgeul gestort wordt. Bij voorzetting van het huidige stortbeleid zou gekeken moeten worden of het mogelijk is om nog meer in de ebgeul te storten en de stortingen in de vloedgeul zo veel mogelijk verder te beperken.

Opmerkingen bij macrocel 3:
Er wordt gemiddeld 2,9 Mm3/j gestort in de vloedgeul (Everingen). Dit ligt nog wel binnen de bandbreedte van het stortcriterium, alhoewel wordt aanbevolen de ontwikkelingen in deze macrocel goed te volgen. Dit omdat de ontwikkelingen in deze periode wel worden beïnvloed door de stortingen (ΔV_{tot} en ΔV_{cor} hebben bijna een tegengesteld teken).

Opmerkingen bij macrocel 4:
Er wordt in de beschouwde periode zowel in de eb- als de vloedgeul netto gestort. Er is in de ebgeul (Middelgat) geen ruimte beschikbaar om te storten. In het verleden werd in de ebgeul juist heel veel gestort (2,2 Mm3/j in de periode 1997 t/m 2002). Na een eerder advies in het kader van MOVE (Peters *et al.*, 2003) zijn de stortingen in de ebgeul vanaf 2003 dan ook sterk gereduceerd (gemiddeld 0,1 Mm3/j in de jaren 2003 en 2004) en zijn de stortingen in de vloedgeul juist toegenomen tot gemiddeld 2 Mm3/j in de jaren 2003 en 2004, hetgeen ruim binnen de stortcapaciteit voor deze geul valt.

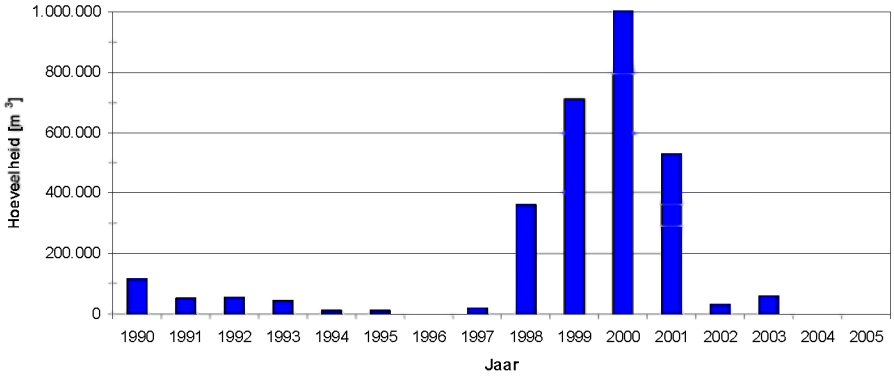
Opmerkingen bij macrocel 5:
In deze macrocel is beneden de stortcapaciteit gestort en kijkend naar de bandbreedte van het stortcriterium is er dus nog ruimte om meer te storten.

Algemene opmerking:
Er worden geen aanbevelingen gedaan om het stortregime aan te passen, zoals in het vorige MOVE evaluatierapport (Peters *et al.*, 2003) wel is gedaan. Dit omdat er in het kader van de MER van de derde verruiming thans onderzoek gedaan wordt naar de operationalisering van de zogenaamde flexibele stortstrategie, die waarschijnlijk vanaf 2008 in werking treedt. De huidige stortstrategie, met vergunningen voor vaste stortlocaties voor een aantal jaar, wordt dan verlaten.

2.12.3. Zandwinning

Naast baggeren en storten wordt in de Westerschelde sinds 1956 zand gewonnen. Er is een flink aantal zandwinlocaties (geweest) in de Westerschelde (Figuur 2.12-1). Op basis van de zandbalans van '85/'90 en ervaringen uit het verleden is de hoeveelheid zand die jaarlijks gewonnen mag worden 2,6 Mm^3: 2 Mm^3 voor de handel, 0,3 Mm^3 voor de Nederlandse overheid en 0,3 voor de Vlaamse overheid (Figuur 2.12-16). De figuur laat zien dat in de meeste jaren minder dan 0,3 Mm^3 is gewonnen. Incidenteel is extra zand gewonnen. De Vlaamse overheid heeft vanaf 1955 circa 32Mm^3 zand gewonnen.

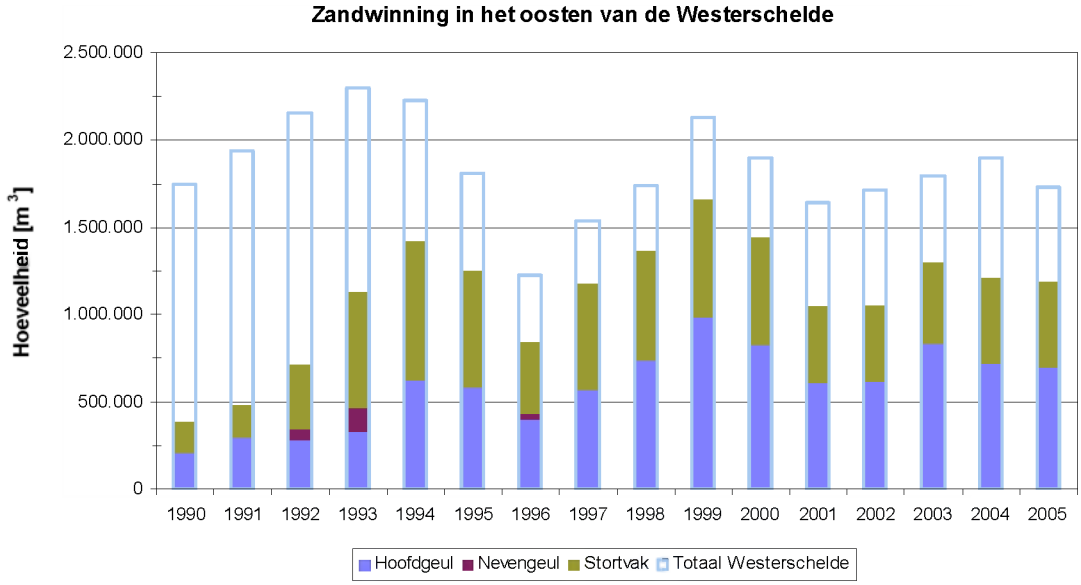
Figuur 2.12-16: Zandwinning Nederlandse overheid 1986-2005



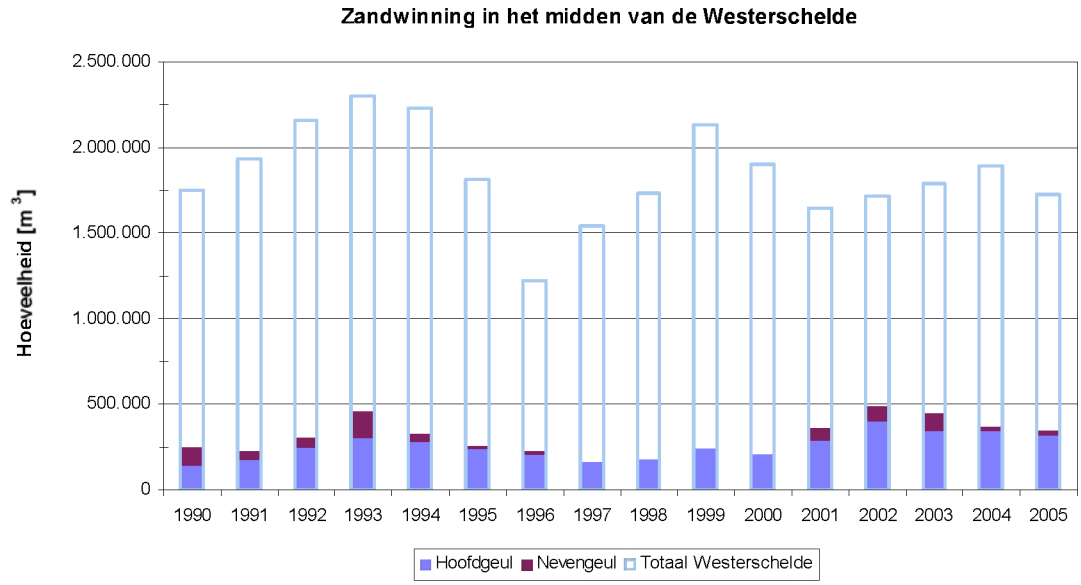
Het zandwinbeleid in de Westerschelde is vastgelegd in het beleidsplan 'Zand in de hand' en geldt voor 2001-2011. Er zijn twee inhoudelijke uitgangspunten waarop het zandwinbeleid is gebaseerd. Het eerste uitgangspunt is *'handhaven van een sluitende zandbalans'*. Per jaar mag niet meer zand worden gewonnen dan de grootte van het sedimentimport ter hoogte van de lijn Vlissingen Breskens. De toegestane hoeveelheid zand die jaarlijks mag worden gewonnen komt overeen met deze in OOSTWEST bepaalde import (Vroon *et al.*, 1997). Dit uitgangspunt is mede gebaseerd op het feit dat de Westerschelde van nature een zandimporterend systeem is. Halverwege de jaren negentig is de Westerschelde echter van zandimporterend zandexporterend geworden (Nederbragt, 2004) en is het uitgangspunt 'handhaven van een sluitende zandbalans' losgelaten (Arcadis, 2006). Het tweede uitgangspunt is *'het zwaartepunt van de zandwinning ligt in het oostelijk deel van de Westerschelde'* (Arcadis, 2006). Tot 1991 werd voornamelijk in het westen zand gewonnen (Figuur 2.12-17 en Figuur 2.12-19). Van de gewonnen hoeveelheid komt na de verruiming 70 % uit het oostelijke deel van de Westerschelde, 20% uit het middendeel en 10% uit het westelijke deel.

De zandwinning vindt plaats langs de hoofdgeul, langs de nevengeul en in de stortvakken. Gemiddeld zo'n 60% van het totaal aan zandwinning, is langs de hoofdgeul gewonnen. In de stortlocaties wordt zo'n 30% gewonnen en langs de nevengeul 10%. Na de verruimingswerken vindt de zandwinning in het oostelijke deel van de Westerschelde uitsluitend plaats langs de hoofdgeul en in het stortvak (Figuur 2.12-17), in het middendeel voornamelijk in de hoofdgeul (Figuur 2.12-18) en in het westen in zowel hoofdgeul, nevengeul als stortvak (Figuur 2.12-19).

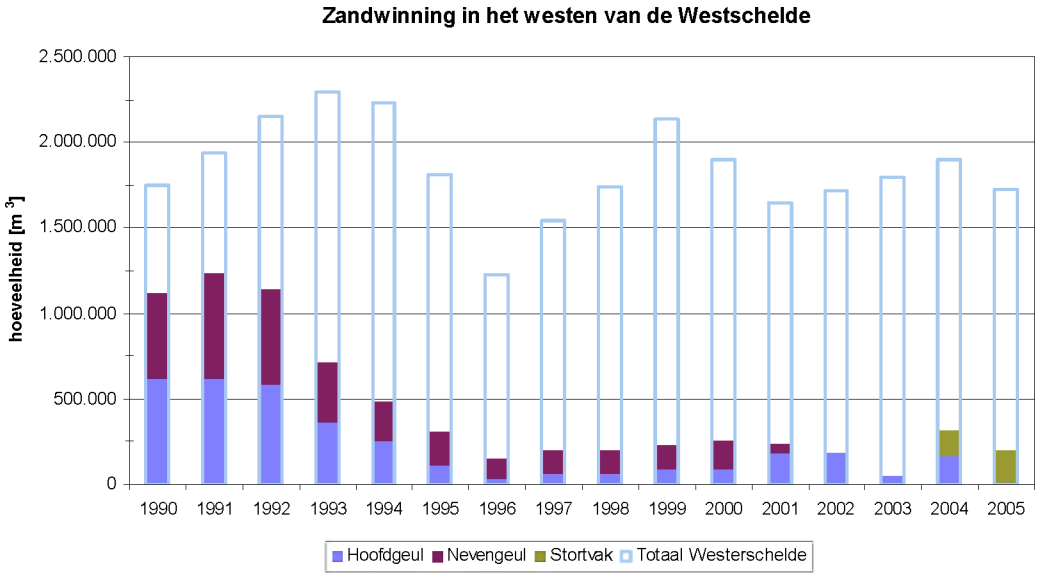
Figuur 2.12-17: Zandwinning in het oosten van de Westerschelde voor de periode 1986-2005



Figuur 2.12-18: Zandwinning in het midden van de Westerschelde voor de periode 1986-2005



Figuur 2.12-19: Zandwinning in het westen van de Westerschelde voor de periode 1986-2005



In 'Zand in de hand' werd een tussenevaluatie van het zandwinbeleid in 2006 voorzien omdat de wet- en regelgeving sterk zou veranderen en omdat er vele onzekerheden waren rond de morfologische kennis en verdere ontwikkelingen rond de Westerschelde. Deze evaluatie wordt uitgevoerd en valt buiten dit rapport.

2.12.4. Conclusies baggeren storten en zandwinning

Baggeren

- Het baggerwerk is een continu bedrijf. Er zijn geringe seizoensfluctuaties.
- Het drempelonderhoud (1/3 van het totaal) voor en na de verruiming is min of meer hetzelfde. Het onderhoudsbaggerwerk "overige" locaties (1/3) neemt na de verruiming lineair af tot waarden voor de verruiming. Dit betekent dat huidige baggerwerk min of meer gelijk is aan dat voor de verruiming.
- Het onderhoudswerk vindt vooral in het oosten plaats. Het baggerwerk in het oosten is t.o.v. het baggerwerk in het oosten voor de verruiming gedaald en wel van ruwweg 3/4 naar 2/3 van het totaal.
- Het slibpercentage van de drempels neemt vanaf 1996-1998 toe en wel tot de waarden in de periode daarvoor. De percentages lijken te fluctueren met de Schelde afvoer.

Storten

- De gebaggerde onderhoudsspecie wordt na de verruiming minder in het oosten gestort (nog 10% van het totaal) en meer in het midden en westen (elk 45% van het totaal). Voor de verruiming was dit respectievelijk 45, 45 en 10% voor oost, midden en west. In het oostelijke deel is nog maar 1 stortlocatie over. Het aanlegwerk is vooral in het westen gestort.

- Het stortcriterium, afgeleid uit het cellenconcept, is in de Schaar van de Spijkerplaat en het Middelgat tijdelijk overschreden. Na aanpassing van het stortbeleid hebben de geulen weer capaciteit gekregen en wordt het stortcriterium niet langer overschreden.

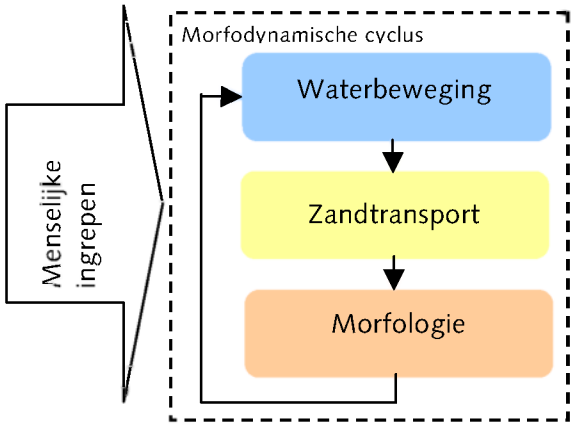
Relatie Baggeren - Storten

Na de verruiming wordt netto in het oostelijke deel gebaggerd en in het midden en westelijke deel gestort. Bijna al het gebaggerde materiaal wordt weer (terug)gestort in de Westerschelde Uit de gegevens is niet gebleken dat de retourstoom opgang is gekomen.

2.13 Synthese morfodynamica

Het getij zorgt ervoor dat het water de Westerschelde in en uitstroomt. Het stromende water veroorzaakt zandtransport. Dit zorgt voor veranderingen in de bodemmorfologie die op hun beurt weer veranderingen in de waterbeweging veroorzaken. Dit wordt de morfodynamische cyclus genoemd (zie Figuur 2.13-1). Dit proces levert een continue veranderend patroon van geulen, platen, ondiepwatergebieden, slikken en schorren op. De menselijke ingrepen veranderen de morfologie en hebben daarmee invloed op de morfodynamische cyclus van de Westerschelde. Deze synthese geeft een beeld, hoe de Westerschelde als systeem reageert op menselijke verstoringen en de fysische processen die er spelen.

Figuur 2.13-1: Morfodynamische cyclus



Na de tweede verdieping en de aanpassing van het bagger- en stortbeleid is het morfologische systeem van de Westerschelde zich gaan aanpassen. Die aanpassing is vermoedelijk nog steeds gaande en er is nog geen nieuw evenwicht bereikt. Ook oudere ingrepen kunnen nog steeds hun effect hebben op de huidige morfologische aanpassingen. De metingen van arealen en volumes laten zien dat de veranderingen niet plotseling zijn, maar een geleidelijke aanpassing. De aanpassingen tonen dus eerder een verandering van trend.

De monitorgegevens worden per deelgebied (West, midden oost) bekeken. Wat is er gebeurd, de monitorgegevens op een rijtje. Hierbij wordt er gekeken naar de “natuurlijke” ontwikkeling, welke is gebaseerd op de periode 1986-1996, en naar de ontwikkeling na 1996 ten opzichte van de “natuurlijke” ontwikkeling. Per gebied wordt getracht de relaties tussen de verschillende parameters weer te geven en waar mogelijk te verklaren.

De verwachte veranderingen van de Westerschelde als gevolg van de verruiming 48'/43' zijn gebaseerd op een denkmodel. Hierin is aangenomen dat de morfologische ontwikkelingen van de verruiming 48'/43' op een soortgelijke wijze zullen verlopen als na de vorige verruiming van 1970-1975.

HET DENKMODEL

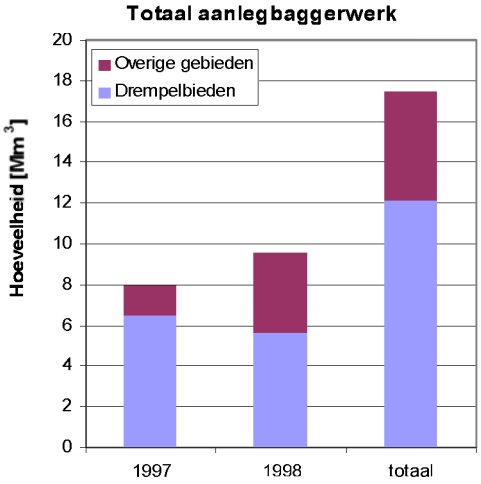
Als gevolg van de **baggerinspanning** worden de drempels verlaagd waardoor de getijgolf minder weerstand ondervindt en er **meer water (debiet**) door de geul kan stromen. De stroomsnelheid kan hierdoor toenemen. Als reactie hierop **verdiepen en verbreden de geuldelen** aan weerszijden van de drempel. Het sediment dat hierbij vrijkomt, en het sediment dat wordt gebaggerd om de drempels op diepte te houden, wordt voornamelijk opgeslagen in de nevengeulen, kortsluitgeulen en plaatcomplexen. De **platen** nemen hierdoor zowel in oppervlak als in gemiddelde hoogte toe. Dit draagt bij aan een sterke **achteruitgegaan van het areaal van ondiepwater** en leidt dit tot een kleinere komberging van de Westerschelde. Ook **versmallen en verlagen de slikken** in de buitenbochten. De diepere geulen versterken het binnendringen van het getij, zodat de **getijslag** met name in het oostelijk deel zal toenemen. Dit compenseert de afname in komberging.

2.13.1. Baggerinspanning verruiming 48'/43'

De verruiming omvat vier onderdelen: *het verwijderen van wrakken*, *extra baggerwerkzaamheden met een veranderde stortstrategie en zandwinstrategie*, *het aanleggen van geulwandverdedigingen* en de *natuurherstel-activiteiten* als compensatie voor het verlies van natuurwaarden door de verruiming (Arends, 1998). De natuurherstel-activiteiten en de wrakken worden hier buiten beschouwing gelaten. Het grootste deel van de verruimingswerkzaamheden in de Westerschelde is uitgevoerd tussen 1 juli 1997 en 31 juli 1998. De aanpassingen van de vaarbreedten van de geulen in het mondingsgebied zijn in juli 1998 nog niet afgerond. De Wielingen en de Scheur in het mondingsgebied zijn pas in 2001 gebaggerd.

Als gevolg van de baggerinspanning tussen 1 juli 1997 en 31 juli 1998 zijn de drempels verlaagd. In deze periode is in de gehele Westerschelde op de drempels en de overige gebieden in totaal 17,5 miljoen m^3 zand gebaggerd (Figuur 2.13-2). Dit is zowel het onderhoudsbaggerwerk (10 miljoen m^3) als aanlegbaggerwerk (7,5 miljoen m^3). De in verband met de verruiming 48'/43' gebaggerde hoeveelheid is minder dan de geraamde hoeveelheid van 11,3 miljoen m^3. Dit wordt mede veroorzaakt door het feit dat niet alle vaarbreedten zijn aangepast (Arends, 1999).

Figuur 2.13-2: Totaal aanlegbaggerwerk



2.13.2. Morfodynamische ontwikkelingen in het oosten

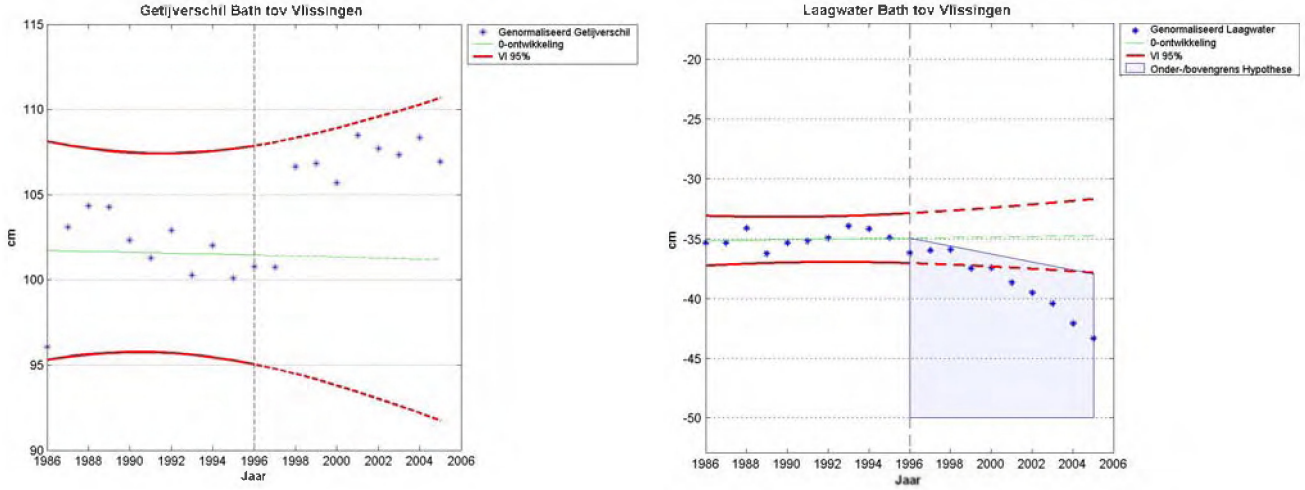
In het oosten van de Westerschelde wordt jaarlijks het meeste gebaggerd (zie hoofdstuk 2.12 baggeren en storten Figuur 2.12-5). Dit gebeurt voornamelijk op de Drempel van Bath, de Drempel van Valkenisse en de Drempel van Hansweert. Op de Overloop van Valkenisse, de Plaat van Valkenisse en de Plaat van Walsoorden zijn wisselende hoeveelheden gebaggerd. De totale baggerinspanning per jaar in het oosten neemt af.
Voor 1996 werd het gebaggerde sediment voornamelijk in de buurt van de baggerlocatie teruggestort. Na 1996 is dit beleid gewijzigd en wordt gebaggerde specie uit het oosten voornamelijk in het westen teruggestort. Van de totale hoeveelheid baggerspecie die in de Westerschelde wordt teruggestort wordt in het oosten dus sinds 1996 het minste gestort (zie hoofdstuk baggeren en storten Figuur 2.12-12). Voor 1996 werd er vooral gestort op Konijnenschor en Baalhoek. Na 1996 is er alleen nog maar in de Schaar van Waarde gestort.
En tot slot is er de zandwinning. Voor 1990 vond de zandwinning voornamelijk in het westen van de Westerschelde plaats. Na 1996 is dit verplaatst naar het oosten waar nu 2/3 van de totale hoeveelheid zand gewonnen wordt. De zandwinning in het oosten vindt voornamelijk plaats in de hoofdgeulen en het stortvak Schaar van Waarde (zie hoofdstuk 2.12 baggeren en storten Figuur 1.3-1).
Van het nieuwe beleid in het baggeren, storten en zandwinning na 1996 wordt verwacht dat het verstarrende effect van baggeren en storten in het oosten wordt verminderd en dat er minder onderhoudsbaggerwerk nodig is.

Het verlagen van de drempels zorgt ervoor dat de getijgolf minder weerstand ondervindt van de bodem. Hierdoor kan het water makkelijker het estuarium in en uitstromen. In het oosten ondervindt de getijgolf een relatief grotere afname van de weerstand dan in het westen doordat naar verhouding de waterdiepte in het oosten kleiner is dan in het westen waardoor het effect van het verwijderen van de drempels groter is. Het getijvolume in het oosten is vanaf Bath richting het oosten licht toegenomen (2%). De verdeling van het getijvolume

over de hoofd- en nevengeul is duidelijk veranderd. In de gehele Westerschelde is er een tendens waarneembaar waarbij het getijvolume in de hoofdgeul toeneemt en in de nevengeul afneemt. Deze tendens geldt echter niet voor alle geulen in het oosten.

De lichte toename van het getijvolume heeft gezorgd voor een toename van het getijverschil bij Bath. Ten opzichte van Vlissingen is het getijverschil in Bath met circa 6 cm (gestegen in de periode 1996 - 2005. Deze toename van het getijverschil bij Bath ten opzichte van Vlissingen wordt voornamelijk veroorzaakt door een afname van de laagwaterstand ten opzichte van Vlissingen van circa 7 cm (Figuur 2.13-3).

Figuur 2.13-3: a) Ontwikkeling van het getijverschil in Bath t.o.v. Vlissingen. b) Ontwikkeling van het laagwater in Bath t.o.v. Vlissingen

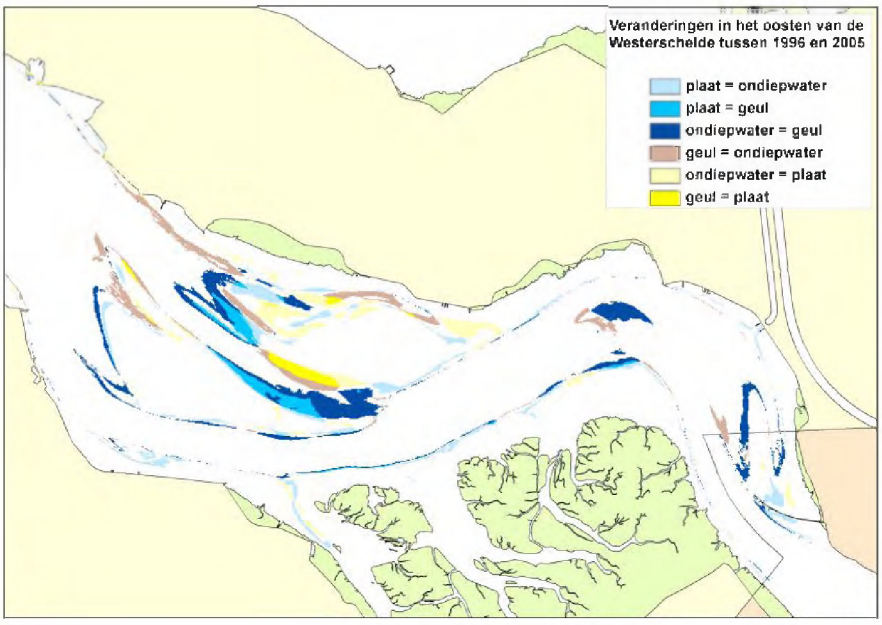


Het getijvolume in de Overloop van Valkenisse (hoofdgeul) volgt de tendens van de gehele Westerschelde en neemt toe. Het getijvolume door de Zimmermangeul (nevengeul) neemt ondanks de bagger- en zandwinactiviteiten steeds verder af (zie hoofdstuk 2.3 Getijvolume Figuur 2.3-6).
De Zimmermangeul wordt steeds ondieper terwijl de vloedschaar Schaar van Waarde zich verruimt. De scheepvaart maakt dan ook steeds meer gebruik van deze geul. De Schaar van Valkenisse migreert in zuidelijke richting. In deze geul is zijn toenames van stroomsnelheden te zien tot 0,5 m/s. In de Zimmermangeul is door de verondieping sprake van een sterke afname van de stroomsnelheid.

De tendens van een verschuiving van het getijvolume van de nevengeul naar de hoofdgeul geldt niet voor het Nauw van Bath en het Vaarwater bij Bath. Voor 1996 nam het getijvolume in deze geulen nog toe maar na 1996 neemt hier het getijvolume in de hoofdgeul af ten koste van de nevengeulen, Schaar van de Noord en Ballastplaat (zie hoofdstuk 2.3 Getijvolume Figuur 2.3-7en Figuur 2.3-8). Voor 1998 werd er voornamelijk in de Schaar van de Noord en Appelzak gestort. Na 1998 zijn deze stortingen volledig beëindigd.

De Schaar van de Noord verplaatst richting het zuiden en heeft zich tevens verruimd. Deze verruiming komt overeen met de zandbalans (Haecon, 2006). De geul biedt nu een goede tweede route voor de recreatievaart om het smalle en drukke Nauw van Bath te omzeilen. Het ziet er naar uit dat de geulen hier mogelijk terugkeren naar een 'natuurlijke' situatie.

Veranderingen in het getijvolume, stroomsnelheid en het doorstroomprofiel van de geulen zorgen voor aanpassing van de inhoud en het areaal geul, ondiepwater en platen. Voor het oosten van de Westerschelde resulteert dit in de volgende globale veranderingen van areaal en inhoud. In het oosten is in de periode 1986-1996 het areaal en de inhoud van de geulen toegenomen (zie hoofdstuk 2.8 Arealen Figuur 2.8-24 en hoofdstuk 2.7 Inhouden en volume Figuur 2.7-10). Hierbij neemt de inhoud van de nevengeulen meer toe dan de inhoud van de hoofdgeul. De inhoud van de hoofd- en nevengeulen worden bepaal ten opzichte van –2 m NAP. Dit betekent dat de inhoud van het ondiepwater in de inhoud van de hoofd- en nevengeul meegenomen is. De toename van het areaal geul gaat ten koste van voornamelijk het areaal ondiepwater (zie hoofdstuk 2.8 Arealen Figuur 2.8-14) en het plaatareaal (zie hoofdstuk 2.8 Arealen Figuur 2.8-19). In de periode na 1996 neemt het areaal geul minder sterk toe wat ten gunste komt aan het areaal ondiepwater. Terwijl de inhoud van de hoofdgeulen wel sterker toeneemt dan voor 1996 (zie hoofdstuk 2.7 Inhouden en volumes Figuur 2.7-10). De inhoud van de nevengeulen neemt nog steeds in dezelfde mate toe als voor 1996 (zie hoofdstuk 2.7 Inhouden en volumes Figuur 2.7-15).
Het areaal schor is gelijk gebleven terwijl het areaal slik is afgenomen (5%).

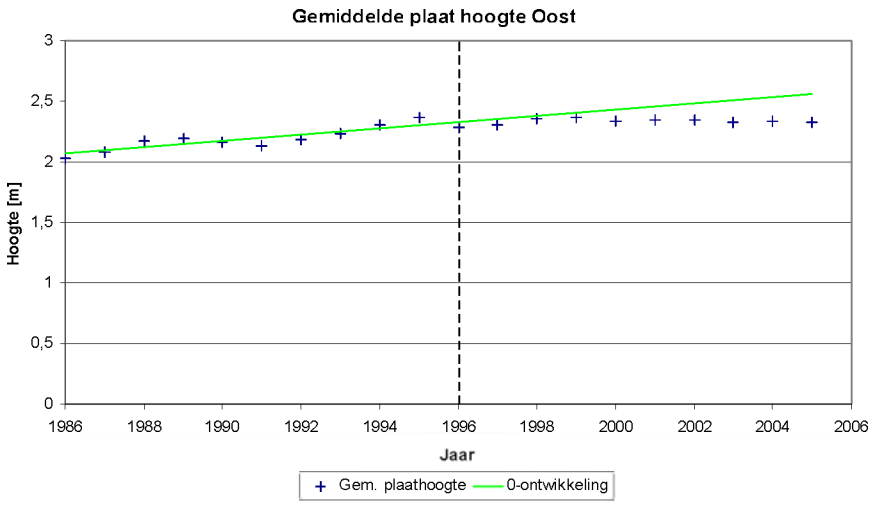


Figuur 2.13-4: Areaalveranderingen in het oosten van de Westerschelde.

De verwachting is dat zowel door de verdere verdieping als door het verder weg storten van het gebaggerde materiaal na 1998 de geulen in het oosten zullen toenemen, zowel in areaal als in inhoud. Dit komt

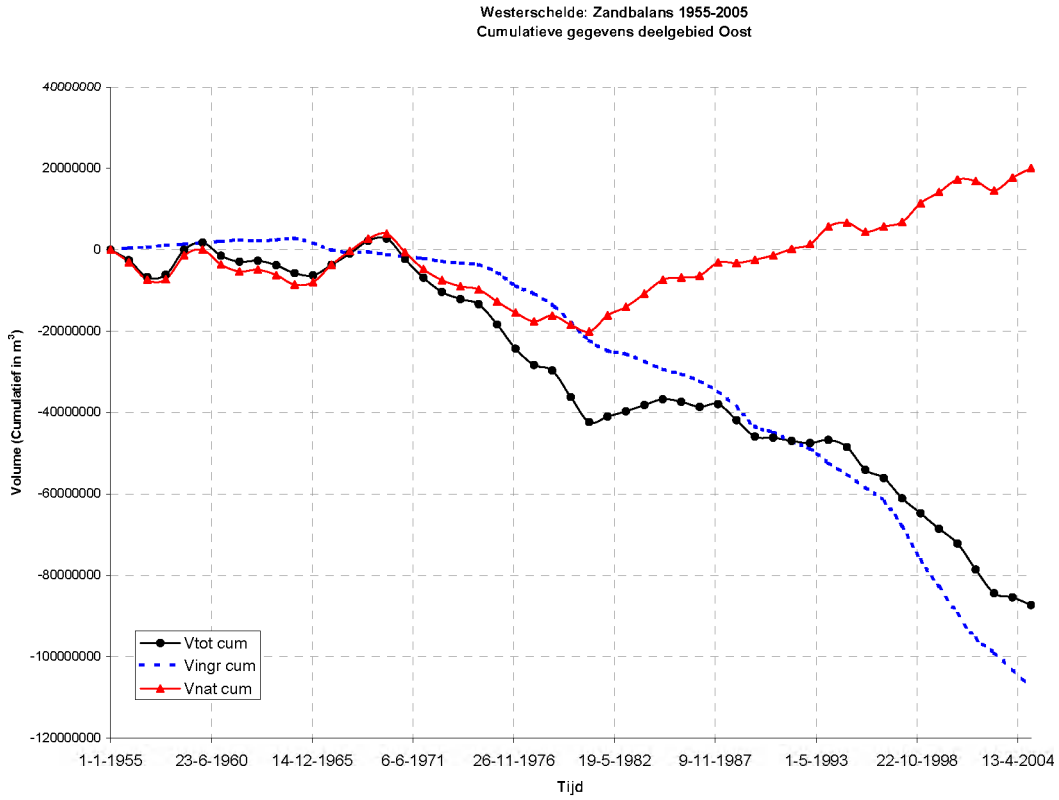
overeen met de metingen, alleen de afgenomen toename van het geulareaal is merkwaardig. Het lijkt erop dat deze verandering in het geul areaal er voor zorgt dat de afname van het areaal ondiepwater stagneert en min of meer constant blijft op het niveau van 1996. De lokale areaalveranderingen tussen 1996 en 2005 zijn weergegeven in Figuur 2.13-4. Deze laten zien dat de hoofdgeul niet breder is geworden. Vooral rond de Zimmermangeul, welke steeds minder water voert, en voor de Schor van Waarde is veel ondiepwater gebied is bijgekomen. Tevens heeft de migratie richting het zuiden van de Schaar van Valkenisse ervoor gezorgd dat de plaat van Valkenisse aan de zuidkant is aangegroeid.
Het areaal platen neemt na 1996 nog steeds af met een regelmatige schommeling, gelijk aan de periode 1986-1996.
Het volume van de platen daarentegen neemt in de periode 1986-1996 toe (5%) (zie hoofdstuk 2.7 Inhouden en volumes Figuur 2.7-5), terwijl na 1996 het volume van de platen juist licht is afgenomen. Dit betekent dat voor 1996 de gemiddelde plaathoogte toe nam (20cm) terwijl na 1996 de gemiddelde hoogte van de platen nauwelijks is toegenomen (2 cm) (Figuur 2.13-5). Het zandtekort in het oostelijk deel is groter geworden. Hierdoor is de verwachting dat plaatareaal en plaatvolume zullen afnemen. Vanuit de metingen is alleen een relatieve afname van de inhoud van de platen ten opzichte van de nulontwikkeling geconstateerd.

Figuur 2.13-5: Gemiddelde plaat hoogte in het oosten van de Westerschelde voor de periode 1996-2005



De zandbalans geeft de uiteindelijke ontwikkeling in het oosten weer. In Figuur 2.13-6 zijn de cumulatieve gegevens uit de zandbalans voor het oosten van de Westerschelde weergegeven. Hieruit blijkt dat in het oosten het zandvolume minder is geworden als gevolg van de cumulatieve ingrepen zoals baggeren, storten en zandwinning. De hoeveelheid stortingen in het oosten is afgenomen en de hoeveelheid baggeren is gelijk gebleven.

Figuur 2.13-6: Zandbalans voor het oosten van de Westerschelde. Cumulatieve gegevens van de periode 1955-2005



NB. $V_{nat\ cum} = V_{tot\ cum} - V_{ingr\ cum}$

2.13.3. Morfodynamische ontwikkelingen in midden

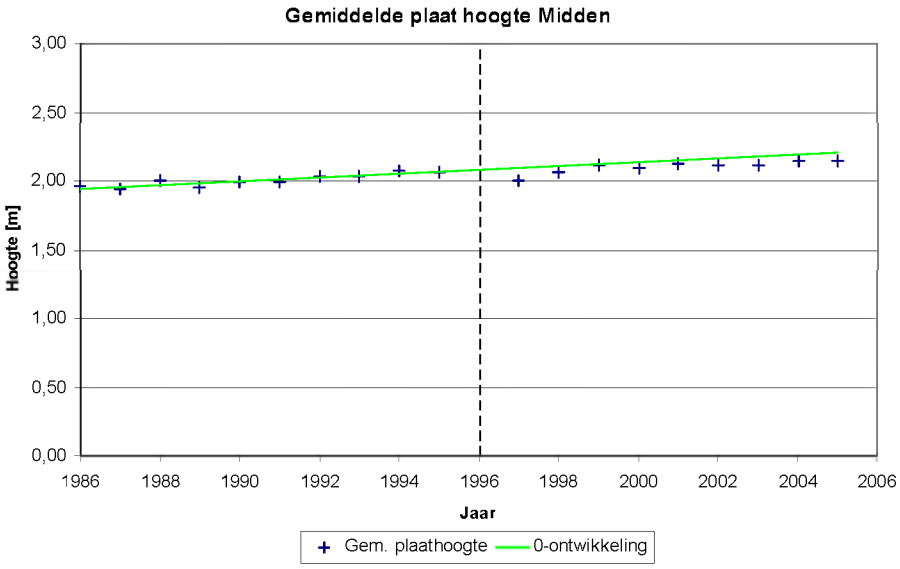
In het midden gebied wordt naar verhouding zeer weinig gebaggerd. In de Overloop van Hansweert wordt al vanaf 1975 gebaggerd. Bij de Plaat van Ossenisse wordt pas vanaf 1999 regelmatig gebaggerd (zie hoofdstuk 2.12 Figuur 2.12-5). Ook de stortingen in het midden van de Westerschelde zijn zeer beperkt vergeleken met het westen (zie hoofdstuk 2.12 Figuur 2.12-13). Vanaf 1986 wordt er ook gestort in de Biezelingse Ham bij eb en vloed. Netto wordt er meer gestort dan gebaggerd. De zandwinning vindt voornamelijk plaats in de hoofdgeul (zie hoofdstuk 2.12 Figuur 2.12-18).
In het midden gebied zijn de hoeveelheden die gebaggerd, gestort en gewonnen worden niet zo groot. Wel moet er rekening gehouden worden dat dit het kleinste deelgebied is waarin de Westerschelde is opgedeeld binnen MOVE.

Het getijvolume in het midden deel is niet veranderd. Wel is de verdeling van het getijvolume via het Middelgat en het gat van Ossenisse gewijzigd. Het ziet er naar uit dat er steeds meer volume via het Gat van Ossenisse stroom dan via het Middelgat (zie hoofdstuk 2.3 Figuur 2.3-2). Het totale getijvolume is niet toegenomen maar als gevolg van het baggeren van de drempels kan het water wel makkelijker het middendeel in- en uitstromen, waardoor de laagwaterstand in Hansweert ten opzichte van Vlissingen met circa 3 cm is gedaald (zie hoofdstuk 2.2 Figuur 2.2-29).

De stroomsnelheden in het Gat van Ossenisse-Overloop van Hansweert zijn langs de plaat randen het hoogst en bedraagt maximaal 50 cm/s bij vloed. Deze stroomsnelheden hangen samen met de toename van het getijvolume in deze geul en de aanpassing van het geulprofiel. Dit is goed terug te zien in de ontwikkeling van de inhouden en arealen van de geulen.

In het midden van de Westerschelde neemt het areaal geul toe. Na 1996 is deze toename nog iets sterker geworden (zie hoofdstuk 2.8 Figuur 2.8-23). Hierbij is de inhoud van de hoofdgeul na 1996 zeer sterk gestegen ten opzichte van de stijgende nulontwikkeling (zie hoofdstuk 2.7 Figuur 2.7-9). Deze toename van de stijgende ontwikkeling is al in 1992 te zien. Er is sprake van een trendbreuk. De inhoud van de nevengeulen daarentegen daalt en is na 1996 sterker gaan dalen (zie hoofdstuk 2.7 Figuur 2.7-14). Verwacht werd dat de extra stortingen een dempende werking zouden hebben op stijgende nulontwikkeling van het areaal geul, maar dit is niet gebleken.
Voor 1996 ging de toename van het areaal geul voornamelijk ten koste van het areaal ondiepwater. Het areaal ondiepwater had een dalende ontwikkeling maar blijft nu min of meer constant op het niveau van 1996 (zie hoofdstuk 2.8 Figuur 2.8-13). Het ziet er dus naar uit dat vooral de platen areaal verliezen aan de geulen en ondiepwater gebieden. Er is een zand tekort.
Zowel het areaal als de inhoud van de platen had een stijgende ontwikkeling voor 1996 maar deze is voor het areaal omgeslagen in een daling (zie hoofdstuk 2.8 Figuur 2.8-18) en voor de inhoud min of meer constant gebleven na 1996 (zie hoofdstuk 2.7 Figuur 2.7-4). Er is hier duidelijk sprake van een trendbreuk in het areaal platen. Er werd juist een toename van de inhoud en het areaal platen verwacht als gevolg van de toegenomen hoeveelheid van de stortingen.

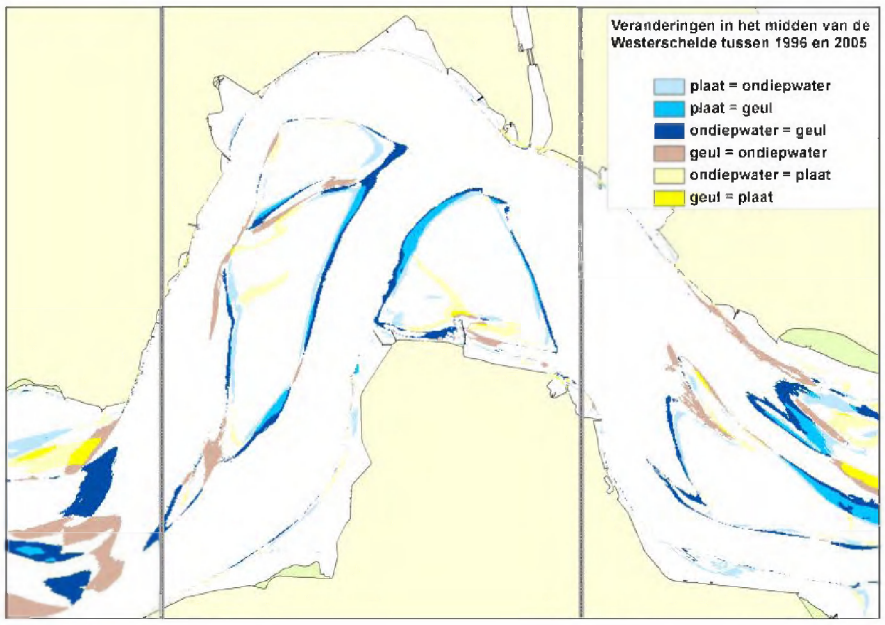
Figuur 2.13-7: Gemiddelde plaathoogte van de platen in het midden van de Westerschelde voor de periode 1986-2005



De veranderingen in de ontwikkeling van het areaal en de inhoud van de platen heeft er echter niet toe geleidt dat de ontwikkeling van de gemiddelde hoogte van de platen is veranderd, zoals dit wel in het oosten is gebeurd (Figuur 2.13-7).

Het areaal slik en schor is ook wat afgenomen (zie hoofdstuk 2.8 Figuur 2.8-6 en Figuur 2.8-9). Wel is het areaal schor vrij klein zodat een kleine afname een relatief grote verandering voor het betreffende areaal betekent.

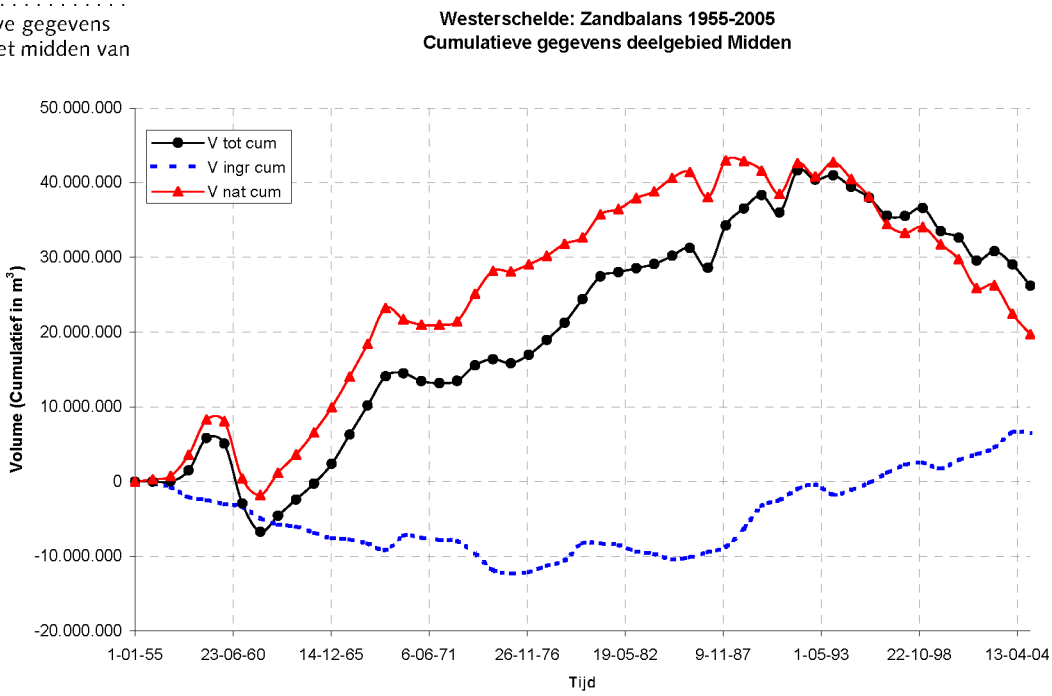
De lokale veranderingen in het areaal plaat, geul en ondiepwater voor het midden zijn weergeven in Figuur 2.13-8. Hieruit blijkt dat er vooral langs de randen van de Platen van Ossenisse en de Rug van Baarland diep water beneden de –5 m NAP is ontstaan. De geul van de Molenplaat voert meer water en is dieper geworden. Hierdoor is de Molenplaat bijna volledig los komen te liggen van de Rug van Baarland. Als gevolg van de afname van het getijvolume in het Middelgat is aan die zijde van de Rug van Baarland ondiepwater ontstaan dat is zowel koste van het plaat als geul areaal gegaan. Het gaat hier om relatief kleine veranderingen tussen 1996 en 2005, zo ongeveer 60 tot 90 ha.



Figuur 2.13-8: Areaalontwikkelingen in het midden van de Westerschelde tussen 1996 en 2005

De cumulatieve gegevens van de zandbalans voor het midden van het gebied laten zien dat het gebied niet ingreep gestuurd is. Wat tevens opvalt is dat het gebied sinds 1992 zand aan het verliezen is (Figuur 2.13-9). Ondanks dat er voornamelijk gestort in plaats van gebaggerd wordt in dit gebied.

Figuur 2.13-9: Cumulatieve gegevens van de zandbalans voor het midden van de Westerschelde



NB. $V_{nat\ cum} = V_{tot\ cum} - V_{ingr\ cum}$

2.13.4. Morfodynamische ontwikkelingen in het westen

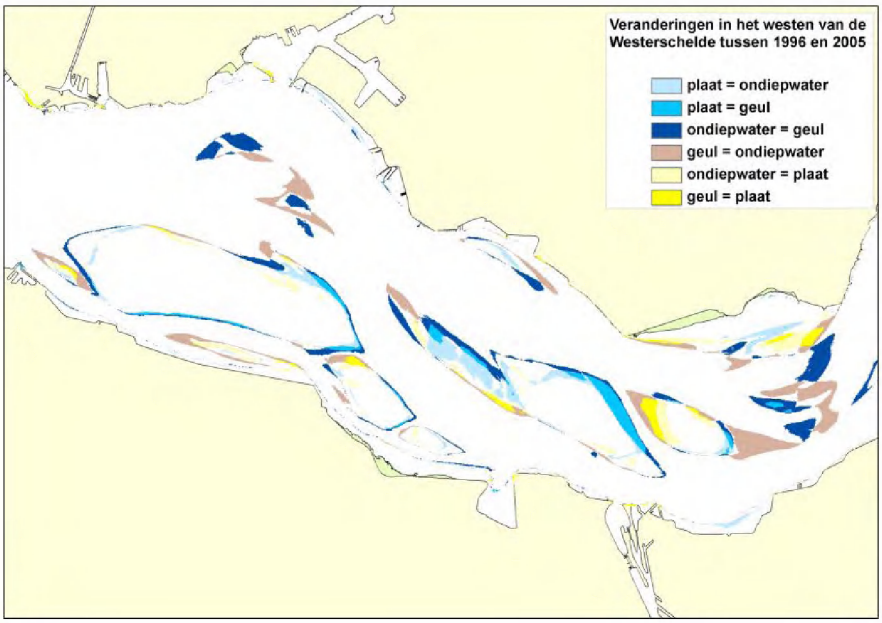
In het westen van de Westerschelde worden grote hoeveelheden gestort (zie hoofdstuk 2.12 Figuur 2.12-14). Vooral bij Ellewoutsdijk is in een zeer korte periode een grote hoeveelheid gestort. Verder wordt er vooral gestort in de Everingen. Er wordt voornamelijk gebaggerd op de Drempel van Borssele en na 1992 ook in de Put van Terneuzen (zie hoofdstuk 2.12 Figuur 2.12-5) De zandwinning vindt voornamelijk plaats in zowel de hoofd- als nevengeul en is sinds 1992 zeer weinig (zie hoofdstuk 2.12 Figuur 2.12-19).

Ondanks de grote hoeveelheid die in het gebied gestort worden is het getijvolume en de waterstanden niet veranderd.
Er vinden in dit gebied wel een aantal morfologische processen plaats. Zo migreert de Schaar van de Spijkerplaat in noordwaardse richting en is er een nieuwe kortsluitgeul ontstaan juist ten noorden van de Hooge Platen. Dit is een cyclisch proces wat zich al eerder heeft afgespeeld. De stroomsnelheidtoename/afname in de hoofdgeul van maximaal 0,5 m/s hangen hier mee samen.
Ten zuiden van de Hooge Platen vindt aanzanding plaats. Het Vaarwater lans de Hoofdplaat verplaatst zich richting het noorden waardoor de vaarweg open blijft.
De Suikerplaat ligt te westen van de Middelplaat. De verwachting was dat de Geul van de Suikerplaat de Suikerplaat zou gaan doorsnijden. Dit is echter niet gebeurd. De plaat is geërodeerd tot een smalle richel maar groeit nu weer langzaam aan. Dit is ook te zien in Figuur 2.13-10 waar de lokale areaal veranderingen in het westen zijn weergegeven.
De Zuid Everingen vertoont ook een cyclisch proces. De Zuid Everingen verplaatst richting het westen en het straatje van Willen verzand.
Tijdens de verruiming '48/'43 is er zeer veel gestort bij Ellewoutsdijk.

Hierdoor dreigde de nabijgelegen ankerplaats te verzanden. Tevens is de geul van Baarland zich aan het verdiepen. Nu wordt er minder gestort en is de ankerplaats weer goed bruikbaar.

Deze processen zorgen voor stroomsnelheidveranderingen en areaal veranderingen in het gebied. Globaal gezien is in het westen het areaal ondiepwater niet afgenomen zoals verwacht werd als gevolg van de stortingen, maar fluctueert het rond de 1650 ha (zie hoofdstuk 2.8 Figuur 2.8-12). Voor 1996 veranderde vooral het areaal plaat in geul (zie hoofdstuk 2.8 Figuur 2.8-17). Na 1996 is het plaat areaal nog sterker gaan afnemen maar er heeft in het areaal geulen geen sterkere toename plaats gevonden (zie hoofdstuk 2.8 Figuur 2.8-22).
De inhoud van de platen lijkt minder sterk te reageren op de verruiming '48-'43 en het nieuwe bagger- en stortbeleid dan verwacht werd. De verwachte toename in plaatvolume als gevolg van het verhoogde aantal stortingen in het westen lijkt niet te zijn opgetreden. Er vind juist na 1996 een sterker afname van het plaatvolume in het westelijk deel van de Westerschelde plaats (zie hoofdstuk 2.7 Figuur 2.7-3). Dit zorgt er samen met de afname van het plaatareaal ervoor dat de gemiddelde hoogte van de platen min of meer gelijk blijft.
De inhoud van de hoofdgeulen blijft stijgen, gelijk aan de nulontwikkeling (zie hoofdstuk 2.7 Figuur 2.7-8). De inhoudsontwikkeling van de nevengeulen stijgt tot 1996 waarna het een daling laat zien. Dit kan het gevolg zijn van de toegenomen stortingen in de kortsluit- en nevengeulen in dit gebied (zie hoofdstuk 2.7 Figuur 2.7-13).
Het areaal schor neemt af volgens de nulontwikkeling terwijl het areaal slik is gestegen.

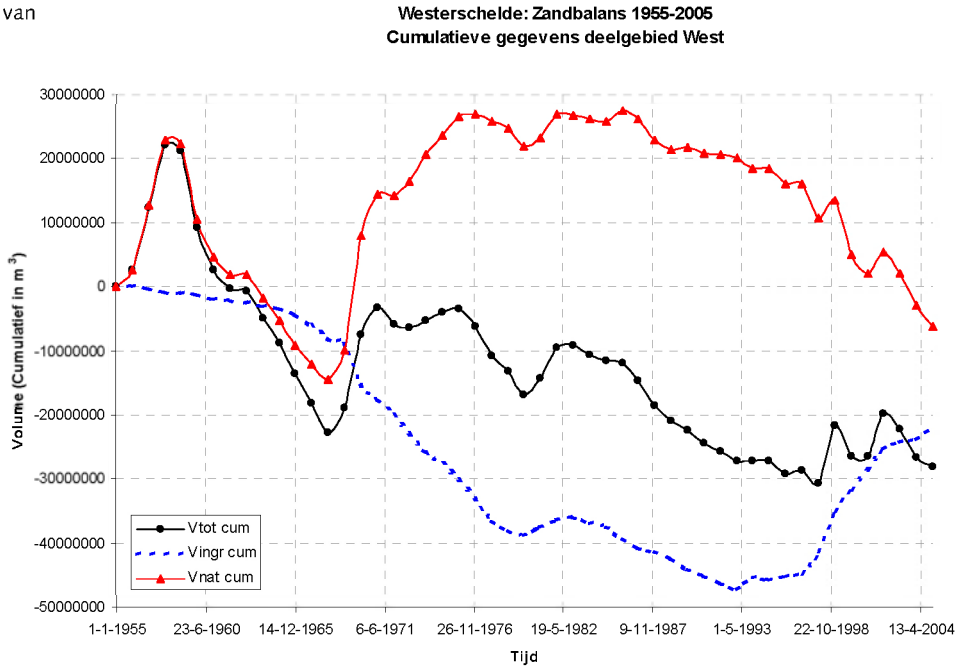
De lokale areaalveranderingen zijn weergegeven in Figuur 2.13-10. Hierin zijn de processen rondom de Schaar van de Spijkerplaat, de Zuid Everingen en het Straatje van Willem goed te zien.



Figuur 2.13-10: Areaalontwikkelingen in het westen van de Westerschelde

De cumulatieve gegevens van de zandbalans voor dit gebied geven weer dat de toegenomen stortingen vanaf 1992 niet tot gevolg hebben gehad dat het zandvolume in dit gebied is toegenomen (Figuur 2.13-11). Ondanks toevoer van zand is er sprake van een te kort.

Figuur 2.13-11: Cumulatieve gegevens van de zandbalans voor het westen van de Westerschelde,



NB. $V_{nat\ cum} = V_{tot\ cum} - V_{ingr\ cum}$

2.13.5. Evaluatie bagger-, stort- en zandwinbeleid

Met betrekking tot het na de tweede verruimingswerken ingevoerde andere bagger-, stort- en zandwinbeleid kan het volgende gezegd worden.

Het baggerbeleid is succesvol geweest vooral doordat de overdiepte van de belangrijkste drempels zo groot was dat de aanzandingssnelheid min of meer de maximumwaarde heeft bereikt (zie hoofdstuk 2.6 Zandtransporten). Daardoor is het resulterende te baggeren volume vrijwel hetzelfde gebleven na de verruiming in tegenstelling tot de verwachting. Daarnaast hebben de zandwinning langs de hoofdgeul en het baggerwerk op de "overige" locaties welke als preventief vaargeulonderhoud (verhinderen plaatval bijvoorbeeld) gezien kunnen worden, bijgedragen aan een succesvol baggerbeleid. Door de commerciële zandwinning is voldaan aan de randvoorwaarde voor de zandwinning (max 2Mm^3) die is gehanteerd bij het vast stellen van het strotcriterium ter behoud van het meergeulenstelsel. Met andere woorden de zandwinning is altijd onderdeel geweest van het bagger- en stortbeleid.

Gezien het feit dat de drempels een maximum aanzandingssnelheid lijken te hebben gereikt, wordt aanbevolen een proef met storten in de hoofdgeul uit te voeren. Dit mede omdat het stortvolume in de toekomst niet zal dalen maar naar verwachting zal stijgen vooral ook omdat de zandwinning de komende jaren zal worden afgebouwd.

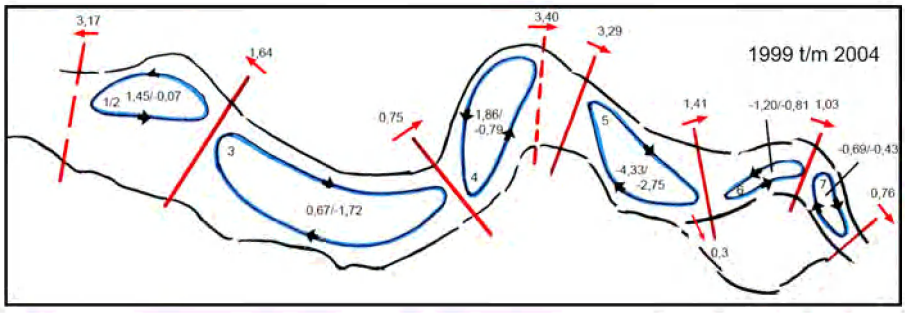
Het stortbeleid, de verplaatsing van het storten naar het westen o.a. omdat de capaciteit in het oosten te gering zou zijn en er herstel van dynamiek in het oosten zou op kunnen treden, is zodanig geweest dat het stortcriterium in de macrocellen, ontwikkeld als criterium voor het behoud van het meergeulenstelsel, (vrijwel) niet is overschreden. Herstel van de dynamiek in het oosten is lastig te evalueren. In het oosten zijn (neven)geulen wel verruimd. Cyclische morfologische processen als kortsluitgeul migratie is niet ontstaan. Veranderingen in stortlocaties, forse variaties in gestorte hoeveelheden op bepaalde locaties, het storten van volumes baggerspecie op locaties in veel kortere tijd dan verwacht, het regelmatig ad-hoc moeten ingrijpen en het enige malen overschrijden van de stortcapaciteit volgens het macrocellen concept geven aan dat het storten in de Westerschelde geen eenvoudige zaak is. Dit is mede de reden van de aanbeveling om een proef met storten in de geulen te doen.

De zandwinning had twee doelen. Herstel van de dynamiek en concentratie van de zandwinning in het oosten. In het oosten zijn (neven)geulen wel verruimd. Dit komt niet alleen door de zandwinning maar ook doordat in het oosten veel meer wordt gebaggerd dan gestort en de zandexport naar de Beneden Zeeschelde. Cyclische morfologische processen als kortsluitgeul migratie zijn niet ontstaan. De concentratie van de zandwinning langs de geulranden en op de enige stortlocatie in het oostelijke deel van de Westerschelde heeft wel gezorgd voor vermindering van het onderhoud van de hoofdvaargeul en het instandhouden van de capaciteit van de enige stortlocatie. Aanbevolen het effect van de zandwinning en andere autonome ontwikkelingen zoals die de laatste 50 jaar heeft plaatsgevonden op het systeem Westerschelde te onderzoeken.

De zandbalans van de Westerschelde tenslotte laat zien dat de Westerschelde, in plaats van van nature zandimporterend, zandexporterend is geworden over de grens Breskens-Vlissingen en er zijn aanwijzingen dat dit mede komt door het na de tweede verruimingswerken gevoerde stortbeleid waarbij het storten is verplaatst naar het midden en westen van de Westerschelde, ook al was de trend naar zandexport al voor de verruiming ingezet.

Het bagger- en stortbeleid is gebaseerd op het aansturen van een retourstroom als gevolg van een sedimentoverschot versus een sedimenttekort en de waterbeweging. In het oosten wordt een kunstmatig tekort aan sediment instandgehouden door de baggerwerkzaamheden en in het westen en midden wordt een overschot aan sediment opgebouwd door het storten. De verwachting was dat als het verschil tussen het tekort in het oosten en het overschot in het westen groot genoeg is er een transport op gang komt, waardoor sediment zich van het westen naar het oosten verplaatst. Uit de zandbalans van de Westerschelde inclusief de monding en de Zeeschelde is gebleken dat sedert 1994 de import vanuit de mondingszone geleidelijk is afgenomen en uiteindelijk is omgeslagen naar een vrij aanzienlijke export gedurende de laatste jaren (Haecon,

2006). In Figuur 2.13-12 is te zien dat naast de export uit het westen naar de monding er een geringe hoeveelheid zand vanuit het westen naar het midden wordt getransporteerd. Terwijl het transport van het midden naar het oosten veel groter is. Dit is een mogelijke verklaring voor het te kort aan zand dat in het midden is opgetreden waardoor de geulen sterk verruimen. Van een echte retourstroom lijkt geen sprake te zijn.



Figuur 2.13-12: Zandbalans voorde Westerschelde inclusief monding en Zeeschelde voor de periode 1999 t/m 2004

3. Aanbevelingen

Dit hoofdstuk geeft de belangrijkste aanbevelingen van het hypothesenrapport. Naast enkele algemene aanbevelingen zijn per hypothese onderwerp de aanbevelingen gegeven. Hieraan liggen conclusies en informatie ten grondslag, die terug is te vinden bij de desbetreffende hoofdstukken.

Algemeen: Het gebruik van onafhankelijke referenties buiten de Westerschelde is wenselijk om de effecten van ontwikkelingen binnen de Westerschelde goed te kunnen onderscheiden. Aanbevolen hierna in het algemeen een studie te doen. Er zou kunnen worden nagegaan of analysetechnieken als BOX-Jenkins leidt tot betere modelresultaten. Verder blijft het nodig aandacht te blijven besteden aan de koppelingen die er zijn tussen morfologie, biologie en chemie.

Waterstanden en getijverschillen: Doordat de getijgolf minder weerstand ondervindt in het estuarium is het getij meer symmetrisch van vorm geworden. Aanbevolen wordt na te gaan wat de effecten hiervan zijn op de zandhuishouding.

Getijvolume: Aanbevolen wordt de ontwikkelingen van het getijvolume te blijven volgen om te weten waartoe het ingezette beleid leidt. Regelmatige debietmetingen zijn van belang om de effecten van de 18,6 jarige getijcyclus te kunnen blijven onderscheiden.

Stroomsnelheid: Aanbevolen wordt de ontwikkeling van de stroomsnelheden middels monitoring te blijven volgen, zodat tijdig kan worden geanticipeerd op (onverwachte) veranderingen

Zout: Omdat het zoutgehalte sterk afhankelijk is van de zoetwaterafvoer van de Schelde dient er meer aandacht te komen voor het optreden van de frequentie van extremen, wat voor de ecologie tot een beter beeld kan leiden van de voorkomende toestanden.

Zandtransporten: Uit de gegevens van volumes/inhouden, baggeren/storten en zandwinnen sinds 1955 is de conclusie getrokken dat vanaf enkele jaren vóór de verruiming de Westerschelde netto sediment zeewaarts exporteert. Jarenlang onttrekken van zand aan het estuarium, direct door zandwinnen op de Westerschelde en indirect door continu export naar de Zeeschelde leveren hieraan een bijdrage. Waarschijnlijk wordt dit transport nog versterkt door het westwaarts wegbrengen van de gebaggerde specie. Deze ontwikkelingen zullen met het oog op behoud van kustfundament nauwlettend moeten worden gevolgd.

Inhouden / volumes en arealen: Tot nu toe zijn inhouden / volumes en arealen geclusterd naar west, midden en oost. Clustering op basis van

morfologische eenheden zoals macrocellen in plaats van oost, midden en west verdient aanbeveling omdat dit beter aansluit bij de werking van het fysisch systeem. Vanuit ecologisch is het zinvol de ontwikkelingen van met name de afzonderlijke platen te blijven volgen in samenhang met de inhouden en volumes om te kunnen bepalen wanneer een omslag optreedt.

Bodemsamenstelling: De bodemsamenstelling is soms lokaal veranderd, wat niet is te herleiden naar veranderingen in baggeren en storten. Daarom wordt aanbevolen na te gaan of de wijze van bepaling op dezelfde wijze moet worden voortgezet. Wellicht is meer aandacht nodig voor invloeden van meteorologie en voor clustering van de gegevens van een gebied.

Sedimentatie op schorren: De sedimentatie op de oeverwallen in de schorren neemt in tegenstelling tot de verwachting sterk af. Nagaan of dit te maken heeft met lokale effecten, het einde van hun ontwikkeling of de beschikbaarheid aan zandig sediment

Ontwikkeling geulwandverdediging: Zijwaarts van de geulwandverdediging treden wel wat neveneffecten op en op diverse plaatsen achter de geulwandverdediging vindt wat verlaging van het slik plaats. Zolang hier geen evenwicht optreedt is monitoring gewenst en moet eventueel worden onderzocht in hoeverre de (vorm van de) verdediging ongunstig werkt op de slikverlaging, zodat duidelijk is of er aanpassingen nodig zijn. Verder blijft nauwlettende aandacht geboden voor zowel verdedigde als onverdedigde geulwanden.

Baggeren, storten en zandwinning: Sinds het nieuwe baggerbeleid wordt baggerspecie van west naar oost gebracht. Er kan niet worden vastgesteld of er hierdoor een retourstroom van zand van west naar oost is ontstaan. Bij nieuwe evaluatie is het belangrijk hier aandacht aan te schenken.

Literatuur

Anoniem (1990-2005). Jaarlijkse rapportages van de chemische kwaliteit van baggerspecie in de Westerschelde en Zeeschelde. Vlaamse Milieu Maatschappij, Aalst.

Arcadis (2005) Inventarisatie uitgangspunten zandwinbeleid Westerschelde, /Br5/119/000102, oktober 2005

Arends, A.A., P. Kamermans, E.C. Stikvoort & B. de Winder (1999) Monitoring van de effecten van de verruiming 48'-43'; een eerste evaluatie van de bagger- en stortstrategie, rapport 4, Rapport RIKZ-99.019, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Arts F.A. & Meininger P.L. (1995). *Foeragerende sterns in het Westerschelde estuarium: een verkenning in verband met de verdieping.* Rijksinstituut voor Kust en Zee, Werkdocument RIKZ/OS-95.835X, Bureau Waardenburg Rapport 95.50, Middelburg/ Culemborg.

Aquasense (2004) Overzicht monitoringsdata Zeeschelde. Beoordelen van de effecten van het terugstorten van baggerspecie in de beneden Zee-Schelde. Rapportnummer 2181.

Baggelaar, P.K, Baggelaar, D.H en van Eck, G.T.M (1999), Trends in verontreinigingen sediment van Beneden Zeeschelde en Westerschelde. KIWA N.V, Nieuwegein. Kiwarapport KOA 99.195

Baggelaar, P. en van der Meulen, E. (2006) Tijdreeksanalyse effecten verruiming Westerschelde

Baggelaar, P.K. & E.C.J. van der Meulen (2006) Trendanalist, gebruikershandleiding. AMO, Hengelo & Icastat, statistisch adviesbureau, Amstelveen.

Baggelaar, P.K., E.C.J. van der Meulen, G.T.M. van Eck & F. Twisk. (2006) Statistische validatie ecotopenkaarten Westerschelde. Rapport Icastat, Amstelveen en AMO, Hengelo.

Barranquet, C. & J. Kromkamp (2000) Estimating primary production rates from photosynthetic electron transport in estuarine microphytobenthos. Marine Ecology Progress Series 204: 39-52

Berchum van, A.M., Stikvoort, E.C. (1999) Monitoring van effecten van de verruiming 48'/43': werkdocument met betrekking tot chemie en biologie, periode 1997 en 1998: project monitoring verruiming Westerschelde behorende bij voortgangsrapportage april 1999-rapport

3. Werkdocument RIKZ/AB-99 .811 x. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Berrevoets C.M. & Strucker R.C.W. & Meininger P.L. (2003). Watervogels in de Zoute Delta 2001/2002. Rapport RIKZ/2003.001. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Berrevoets C.M. & Strucker R.C.W., Arts F.A., Lilipaly S. & Meininger P.L. (2005). *Watervogels en zeezoogdieren in de Zoute Delta 2003/2004, inclusief de tellingen in 2002/2003.* Rapport RIKZ/2005.011. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Boer de, W.F. (2000) Ontwikkeling van de biomassa van het microfytobenthos in het Eems-Dollard estuarium in de periode 1992-1999. Rapportnr 2000-31, Bureau Koeman & Bijkerk, Haren

Bouma, H., D.J. de Jong, F. Twisk & K. Wolfstein (2005) Zoute wateren Ecotopenstelsel (ZES.1): Voor het in kaart brengen van het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen in zoute en brakke rijkswateren. Rapport RIKZ/2005.024

Belmans, H. (1988). Verdiepings- en onderhoudsbaggerwerken in Wester- en Zeeschelde. Water nr 43, pp 184-194.

Bijkerk, R. & P. Esselink (2004) Naar een MEP en een GEP voor het fytoplankton van de Westerschelde. Een beschrijving van het Maximaal en Goed Ecologisch Potentieel in het kader van het project KRW-SCALDIT. Rapport 2004-108, Bureau Koeman & Bijkerk, Haren

Boynton, W.R., W.M. Kemps & C.W. Keefe (1982) A comparative analysis of nutrients and other factors influencing estuarine phytoplankton production. In V.S. Kennedy (ed.), Estuarine comparisons. Academic Press, New York: 69-90

Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1976) Time Series Analysis, Forecasting and Control'. Holden Day, San Francisco.

Brenninkmeijer A., Doeglas G. & de Fouw J. (2002). Foerageergedrag van sterns in de westelijke Westerschelde in 2002. Altenburg & Wymenga, Veenwouden.

Cadée, G.C. & J. Hegeman (1991) Phytoplankton primary production, chlorophyll and species composition, organic carbon and turbidity in the Marsdiep in 1990, compared with foregoing years. Hydrobiol. Bull. 25: 29-35

Chen, M.S., S. Wartel, B. van Eck & D. van Maldegem (2005) Suspended matter in the Scheldt estuary. Hydrobiologia 540: 79-104

Consemulder, J., C.Storm, W. Houmes (1998) Experimentele schorverdedigingen: kleibekleding Anna Jacobapolder; bezinkvelden Zuidgors, Een evaluatie van de aanleg van het functioneren van twee

experimentele schorverdedigingen in de Oosterschelde en Westerschelde, Rapport RIKZ-98-017, AXW nota 98.1007, Rijksinstituut voor Kust en Zee / Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelburg

Cole, B.E. & J.E. Cloern (1987) An empirical model for estimating phytoplankton primary productivity in estuaries. Mar. Ecol. Prog. Ser. 36: 299-305

Daemen, E.A.M.J. (1986) Comparison of methods for the determination of chlorophyll in estuarine sediments. Neth. J. Sea Res. 20: 21-28

Dekker, L. (1994) Verdieping Westerschelde, getijberekeningen Scaldis100. Rapport AX94.043, Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelburg

Dekker L (2006) Beschouwing m.b.t. de stroming in de Westerschelde in de periode (1988-) 1996-2005 Memo 10 mei 2006, Rijkswaterstaat, Directie Zeeland

Delany S., Reyes C., Hubert E., Pihl S., Rees E., Haanstra L. & van Strien A. (1999). Results from the International Waterbird Census in the Western Palearctic and Southwest Asia 1995 and 1996. Wetlands International Publication no. 54. Wageningen.

Fisher, T.R., L.W. Harding, D.W. Stanley & L.G. Ward (1988) Phytoplankton, nutrients and turbidity in the Cheasapeake, Delaware, and Hudson estuaries. Estuar. coast. Shelf Sci. 27: 61-93

Frandzel, T. (1993) Research on the dynamics of microphytobenthos in the Western Scheldt 1989-1993. Study report of Technion, Israel Institute of Technology

Geelhoed S,C.V. & Swaan A.H. (2002). Ruiende Bergeenden in de Westerschelde. Bureau Fauna Onderzoek (BFO), Egmond-Binnen.

Gillbricht, M. (1988) Phytoplankton and nutrients in the Helgoland region. Helgoländer Meeresunters. 42: 435-467

Graveland, J., B. Kornman en J. Mulder, (2005) De zandhuishouding in Westerschelde en monding: de samenhang tussen waargenomen ontwikkelingen, RIKZ-adviezen en beleid (conceptversie 1 dec. 2005)

Haecon (2006). Actualisatie van de zandbalans van de Zee- en Westerschelde (in prep.). Rapport 1249760008/lvp, Haecon, Gent.

Herman, P.M.J., J.J. Middelburg, J. van der Koppel & C.H.R. Heip (1999) Ecology of estuarine macrobenthos. Advances in Ecological Research 29: 195_240.

Heuvel_Greve van den M.J., Hoekstein, M.S.J., Lefèvre, F.O.B., Meiniger, P.L. & Vethaak, A.D. (2003) Mogelijke oorzaken van slecht broedsucces in de visdiefkolonie bij Terneuzen: stand van zaken en aanbevelingen. Rapport RIKZ 2003.037. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Hoeksema , H.J., (2002) Grevelingenmeer van kwetsbaar naar weerbaar, Rapport RIKZ/20002.033, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelbrug

Huijs, S. & G.M. Krijger (1998) Prognose ecotooparealen over 25 jaar. Nota AXW-98.007, Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelburg.

Jeuken, C. (2001). Verificatie van het cellenconcept Westerschelde op basis van historische gegevens. Rapport Z3078, WLIDelft hydraulics, Delft.

Jeuken, M.C.J.L., Ruessink, G., Wand, Z.b. (2002) Adviezen voor het maken van een gezamenlijke zandbalans voor Westerschelde en monding. Rapport Z3213, WL I Delft Hydraulics, Delft.

Jeuken, C., I. Tanczos & Z.B. Wang (2003). Evaluatie van het beleid voor vaargeulonderhoud en zandwinning sinds de tweede vaargeulverdieping op basis van waarnemingen en het verbeterde cellenconcept Westerschelde. Rapport Z3467, WLIDelft hydraulics, Delft.

Jeuken, C. & Z.B. Wang (2005). Advies voor het storten van baggerspecie uit het vaargeulonderhoud in de Westerschelde op de huidige stortlocaties. Memo Z4013, WLIDelft hydraulics, Delft.

Jonge de, V.N., 1992 Physical processes and dynamics of microphytobenthos in the Ems estuary (the Netherlands). Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen

Jong, D.J. & V.N. de Jonge (1994) Dynamiek van microphytobenthos in het Westerschelde-estuarium. Werkdocument RIKZ/OS 94.806x

Jong de, D.J., P.H. Nienhuis & B.J. Kater (1994) Microphytobenthos in the Oosterschelde estuary (The Netherlands), 1981-1990; consequences of a changed tidal regime. Hydrobiologia 282/283: 183-195

Jong de, S.A., Kleef van, A. (1996) Ontwikkelingen in de Westerschelde, prognose voor de komende 25 jaar. Nota AX-96.009/NWL-96.14/RIKZ-96.006, Rijkswaterstaat, Directie Zeeland/Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Jong de, J., Krijger, G., Nijsse, L. en Huijs, S. (1997) Beoordeling van de effecten van de verdieping 48'-43'. Plan van aanpak rapport 2, project Monitoring Verdieping Westerschelde. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelburg.

Jong, J., G. Krijger, L. Nijsse & S. Huijs (1998) Beoordeling van de effecten van de verdieping 48'-43'. Project Monitoring Verdieping Westerschelde. Plan van aanpak, rapport 2. RWS Directie Zeeland, Middelburg

Jong de, J.E.A. (2000) Zandbalans Westerschelde en monding periode 1955-1999. Notitie NWL-00.16, Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelbrug.

Kater, B.J.(red) (2005) Ontwikkelingen in de kennis van de morfodynam,ica en ecologie van de Westerschelde. Rapport RIKZ/2005.034. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Kempf N. (2001). Eiderenten und mausernden Brandenten im Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer 2000. Schriftenreihe des Nationalparks Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer, Sonderheft 76S. Landesamt für des Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. Kirk, J.T.O. (1983) Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University Press

Kirk, J.T.O. (1983) Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University Press

Kraan C., Piersma T., Dekinga A. & Fey B. (2006). Bergeenden vinden Slijkgarnaaltjes en rust op nieuwe ruiplaats bij Harlingen. *Limosa* 79: 19-24.

Kornman, B.A. & D.C. van Maldegem (2002) Evaluatie van de effecten van het verspreiden van Boomse klei in de Westerschelde. Eindrapportage monitoring boorspecie. Rapport RIKZ/2002.052

Kornman, B., Liek, G.A., Schippers, H.K. (2002) Baggeren en storten in de Westerschelde; een nieuwe kijk op onderhoudsbaggerwerk. Werkdocument RIKZ/AB/2002.840x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Kornman, B.A., P. Kamermans & P. Tydeman (2002) De handel en wandel van kokkel en nonnetje; kennis en inzicht voor herstel, inrichting en beheer op basis van literatuur en veldonderzoek. Rapport RIKZ/2001.036, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Kromkamp, J., J. Peene, P. van Rijswijk, A. Sandee & N. Goosen (1995) Nutrients, light and primary production by phytoplankton and microphytobenthos in the eutrophic, turbid Westerschelde estuary (The Netherlands). Hydrobiologia 311: 9-19

Kromkamp, J. & J. Peene (2005) Changes in phytoplankton biomass and primary production between 1991 and 2001 in the Westerschelde estuary (Belgium/The Netherlands). Hydrobiologia 540: 117-126

Lefèvre, F. & B. Kornman (2002) Pilotonderzoek naar de gevolgen voor de troebelheid van speciestortingen in de Schaar van Spijkerplaat. Werkdocument RIKZ/AB/2001.830x

Liek, G.A. (2001) Datarapportage fysica, beschrijving van de ontwikkelingen van de fysische parameters in de Westerschelde t/m 2000, Werkdocument RIKZ/AB/2001.815x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Liek, G.A. (2001) Monitoring van de effecten van de verruiming 48'-43'; beschrijving van de fysische toestand van de Westerschelde t/m 2000, rapport 5, Rapport RIKZ/2001.023, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Liek, G.A. (2002) Herziene versie van de hypothesenlijst uit MOVE-rapport 2. Werkdocument RIKZ/AB/2002.802x

Liek, G.A., Lefèvre, F.O.B. (2002) Datarapportage Fysica en chemie 2002. Werkdocument RIKZ/AB/2002.820x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Lievaart, M.A., & Stikvoort, E.C. (2002) Datarapportage ecologie Monitoring Verruiming Westerschelde (T3 t/m 2001), Werkdocument RIKZ/AB/2002.834x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelbrug.

Lievaart, M.A. (2003) MOVE microfytobenthos. Effecten van de verrruiming van de Westerschelde op de biomasa en primaire productie van het microfytobenthos 1989-2001. Werkdocument RIKZ/AB/2003.809x

Maldegem van, D.C. & J. Vroon (1995) Invloed speciestortingen uit haven van Zeebrugge op water- en bodemkwaliteit Westerschelde. Rapport RIKZ/94.049

Marijs, K. en E. Parée, (2004) Nauwkeurigheid vaklodingen Westerschelde- en monding: "de praktijk", Meetinformatiedienst Zeeland, Notitienummer: ZLMD-04.N.004, Vlissingen.

McLoud, G. (1983) Box Jenkins in Practice'. Time Series Library, Gwilym Jenkins & Partners Ltd., Lancaster.

Meininger P.L. & Graveland J. (2002). Leidraad ecologische herstelmaatregelen voor kustbroedvogels: balanceren tussen natuurlijke processen en ingrijpen. Rapport RIKZ/2001-046. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Meininger P.L., Schekkerman H. & van Roomen M.W.J. (1995). Populatieschattingen en 1%-normen van in Nederland voorkomende watervogelsoorten: voorstellen voor standaardisatie. *Limosa* 68: 41-48.

Meininger P.L., Hoekstein M., A., Lilipaly S. & Wolf P.A. (2006). Broedsucces van kustbroedvogels in het Deltagebied in 2005. Rapport RIKZ/2006.006. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Meininger P.L. & Snoek H. (1992). Non-breeding Shelduck Tadorna tadorna in the southwest Netherlands : effects of habitat changes on distribution, numbers, moulting sites and food. Wildfowl 43: 139-151.

Mol, G., Berchum van, A.M., Krijger, G.M. (1997) De toestand van de Westerschelde aan het begin van de verdieping 48'/43', beschrijving van de trends in de fysische, biologische en chemische toestand. Rapport RIKZ-97.049, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Nederbragt, G., Liek, G. (2004) Beschrijving zandbalans Westerschelde en monding. Rapport RIKZ/2004.020, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Den Haag.

Oosterbaan, B.W.J., Brouwer, R.E. & Boer, den W.A. (2004) Bergeenden in de Westerschelde: een telling van ruiende Bergeenden in 2004. Van der Goes en Groot, Honselersdijk.

Parée, E. (2002) De toestand van de bodem van de Westerschelde aan het begin van de verruiming 48'/43', herziene T0 voor de bodem van de Westerschelde. Notitie AXL-02.40, Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelbrug.

Peters, B.G.T.M., Liek, G.A., Wijsman, J.W.M., Kuijper, M.W.M., van Eck, G.Th. (2003) Monitoring van de effecten van de verruiming 48' / 43': een verruimde blik op waargenomen ontwikkelingen: move evaluatierapport 2003. Rapport RIKZ/2003.027 Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg

Pieters, T., C. Storm, T. Walhout, T. Ysebaert (1991). Het schelde-estuarium, méér dan een vaarweg, Nota GWWS-91.081, Dienst Getijdewateren, Directie Zeeland

Poot, M.J.M., Krijgsveld, K.L., Burgers, S.L.G.E., Horssen, van P.W. & Boudewijn, T.J. (2003) Ontwikkelingen bij watervogels in de Westerschelde in relatie tot mogelijke effecten van de vaargeulverruiming 48'-43': trendanalyse van aantallen watervogels en groei van visdiefkuikens. Rapport nr. 02-133. Bureau Waardenburg, Culemborg.

Rijn, L.C. van, (1994) Principles of fluid flow and surface waves in rivers, estuaries, seas and oceans. University of Utrecht, Department of Physical Geography, Utrecht. WLIDelft Hydraulics, Delft. Aqua Publications.

Roomen van M., van Winden E., Hustings F., Koffijberg K., Kleefstra R., SOVON Ganzen- en Zwanenwerkgroep & Soldaat L. (2005). Watervogels in Nederland in 2003/2004. SOVON-monitoringrapport

2005/03, RIZA-rapport BM05.15, SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen.

Rosca, A.V. (2003) A statistical analysis of traveling times and velocities of the tidal wave in the Western Scheldt. Faculteit Wiskunde en Informatica, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.

Rose P.M. & Scott D.A. (1994). Waterfowl population estimates. IWRB Publication 29, Slimbridge.

Rose P.M. & Scott D.A. (1997). Waterfowl population estimates (2nd edition). IWRB Publication 44, Wageningen.

Salden, R.M. (1998) Het effect van slibverwijdering in de Beneden Zeeschelde op de waterkwaliteit en slibhuishouding in de Westerschelde. Evaluatie van een bepaling uit de WVO-vergunning onderhoudsbaggerspecie. Rapport RIKZ/1998.015

Salden, R.M (1998) Prognose voor de ontwikkeling van de slibbalans in de beneden Zeeschelde bij continuering en beëindiging van de slibverwijdering bij Kallo: een blik in de toekomst als vervolg op RIKZ rapport RIKZ 98-015.Rapport 98.128x, Rijksinstituut voor kust en Zee.

Schep, I. (2006) Ecotopenkaarten Westerschelde. Werkdocument bij de edities 1996, 2001 & 2004. Notitienummer ZLMD-06N.016. Rijkswaterstaat Zeeland, Meetadviesdienst, Middelburg.

Scott D.A. & Rose P.M. (1996). Atlas of Anatidae populations in Africa and Western Eurasia. Wetlands International Publication 41, Wetlands International, Wageningen.

Spaendonk van, J.C.M., J.C. Kromkamp & P.R.M. de Visscher (1993) Primary production of phytoplankton in a turbid coastal plain estuary, the Westerschelde (The Netherlands). Neth. J. Sea Res. 31: 267-279

Hartog, G. den, Spronk. G. (1997) Deeltjesgrootte bepaling met voorbehandeling (RIKZ-methode) en zonder voorbehandeling (McLaren-methode) Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg

Stapel, J., D. de Jong (1998) Sedimentatiemetingen op het schor bij Waarde en het Verdronken Land van Saeftinge, Westerschelde (ZW Nederland), Sedimento et submergo, Rapport RIKZ-98-022, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg

Stapel, J. & D. de Jong (1998) Ontwikkelingen in de biomassa van het microfytobenthos in de Oosterschelde en Westerschelde in de periode 1981-1996. Rapport RIKZ-98.023

Stikvoort, E.C., & Vink, M.A., (2001) Datarapportage ecologie, Monitoring verruiming Westerschelde (T2, t/m 2000) Werkdocument RIKZ/AB/2001.817x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelbrug.

Stikvoort, E.C., D. de Jong (2003) Sedimentsnelheid op Westerscheldeschorren, 1988-2002, Werkdocument RIKZ/OS/2003.807x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg

Stikvoort, E.C. (2005) MOVE: update datarapportage benthos en sedimentatiesnelheden op schorrren. Werkdocument RIKZ/ZDO/2005.805.w, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Stikvoort E. (ed.), Berrevoets, C., Kuijper, M., Lefèvre, F., Liek, G-J., Lievaart, M., van Maldegem, D., Meininger, P., Peters, B., Pouwer, A., Schippers, H., en Wijsman, J. (2003). Monitoring van de effecten van de verruiming 48'-43'. MOVE-rapport 7: MOVE Hypothesendocument 2003. Onderliggende rapportage bij MOVE-rapport 8 (deel A en B) Evaluatierapport 2003. Rapport RIKZ/2003.009, Middelburg

Stoorvogel, A.A., Habets, L.C.G.J.M. (2002) Rapport tijdreeksanalyse Westerschelde, Faculteit Wiskunde en Informatica, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.

Stoorvogel, A.A. & L.C.G.J.M. Habets (2002) Vervolgrapport Tijdreeksanalyse Westerschelde - zoutgehalte, doorzicht, bodemdieren. Technische Universiteit Eindhoven

Storm, C., Van Maldegem, D.C. (1997) De scheldebodem in 1992/93, resultaten van een bodembemonstering vanaf de Scheldemonding tot aan Rupelmonde. Werkdocument RIKZ/AB-9783.4x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg

Stronkhorst, J. (1986) The influence of the spectral composition of irradiance on primary production in the Eastern Scheldt (The Netherlands). Hydrobiological Bulletin 22(2): 127-134

Strucker R.C.W. Hoekstein M.S.J. & Meininger P.L. (2005). Kustbroedvogels in het Deltagebied in 2004, met een samenvatting van 2003. Rapport RIKZ/2005.016. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Strucker R.C.W. Hoekstein M.S.J., Wolf P.A. & Meininger P.L. (2006). Kustbroedvogels in het Deltagebied in 2005. Rapport RIKZ/2006.008. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Technische Scheldecommissie, subcommissie Westerschelde (1984) Verdieping Westerschelde studierapport, programma 48'- 43'.

Tulp I., Poot M.J.M., Meininger P.L., Berrevoets C.M. & Boudewijn T.J. (2001). Aantalsontwikkeling van watervogels in de Westerschelde. Mogelijke effecten van de vaargeulverruiming in 1997-2000. Bureau Waardenburg rapport nr. 01-045, Rijksinstituut voor Kust en Zee Werkdocument RIKZ OS/2001-825x. Culemborg/Middelburg.

Veen van, J (1950). Eb-, en vloedsschaar systemen in de Nederlandse getijwateren. Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap, pp. 303-325

Vereeke, S.J., A.W. van Kleef, N.L. Houtekamer & S.A. de Jong (1995) Verwachte effecten verdieping Westerschelde. NOTA AX 94.091, 20 januari 1995, RWS Directie Zeeland

Visser H. (2004). Estimation and detection of flexible trends. Atmospheric Environment 38: 4135-4145.

Vos, P.C. (1986) De sediment stabiliserende werking van benthische diatomeeën in het intergetijdengebied van de Oosterschelde. Rapport RWS-86-03

Vroon, J., T. Pieters en C. Storm (1993). Het Schelde-estuarium, de verdieping 48'/43'. Adviezen en witte vlekken. Werkdocument GWWS-93.858x. RWS-DGW.

Vroon, J.H., Storm, C., Uit den Boogaard, L.A., en Coosen, J. (1996). Habitatarealen in de Westerschelde; veradneringen tussen 1960 en 1990 en een prognose voor de toestand na de komende verdieping, Werkdocument RIKZ/AB/96.815x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelbrug.

Vroon, J., C. Storm & J. Coosen (1997) Westerschelde, stram of struis? Eindrapport van het Project Oostwest, een studie naar de beïnvloeding van fysische en verwante biologische patronen in een estuarium. Rapport RIKZ-97.023, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Wang, Z.B., Jeuken, M.C.J.L. (2002) Baggerbezwaar vanwege vaargeulonderhoud en actualisering van de stortcapaciteit in de Westerschelde op basis van het onderbouwde cellenconcept. Memo 15 november 2002. WLIDelft Hydraulics, Delft.

Wetlands International (2002). Waterbird Population Estimates – Third Edition. Wetlands International Global Series No. 12. Wetlands International, Wageningen.

Wetsteyn, L.P.M.J., R.N.M. Duin, J.C. Kromkamp, M.J. Latuhihin, J. Peene, A. Pouwer & T.C. Prins, (2003) Verkenning draagkracht Oosterschelde. Onderzoek naar veranderingen en trends in de Oosterschelde in de periode 1990 t/m 2000. Rapport RIKZ/2003.049

Wijsman, J. (2003) MOVE bodemdieren. Effecten van verruiming op de biomassa bodemdieren in de Westerschelde 1990-2001. Werkdocument RIKZ/AB/2003.806x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Ysebaert, T., P. Meire, J. Coosen & K. Essink (1998) Zonation of intertidal macrobenthos in estuaries of Schelde and Ems. Aquat. Ecol. 32: 53-71.

Ysebaert, T. & P. Meire (1999) Macrobenthos of the Schelde estuary: predicting macrobenthic species responses in the estuarine environment. A statistical analysis of the Schelde estuary macrobenthos within the ECOFLAT project. Report IN/99.19, Institute of Nature Conservation, Brussel, Belgium.

Ysebaert, T. (2000) Macrozoobenthos and waterbirds in the estuarine environment: Spatio-temporal patterns at different scales. PhD-thesis University of Antwerp.

Ysebaert, T. & P. Herman (2002) Beschrijven, modelleren en voorspellen van bodemdieren in een estuariene omgeving. NIOO-CEME Rapport 2002-6, KNAW-NIOO, Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie, Yerseke.

Witteveen+Bos (1999) Getijanalyse Westerschelde, Project Rw741.1, Witteveen+Bos.

Bijlage A Overzicht metingen MOVE

Toelichting: De bijlage geeft een overzicht van de voorgenomen monitoring met achterliggende motivatie, in hoeverre specifiek voor MOVE is gemonitord. De tabel is ingevuld, voor zover de informatie hierover direct beschikbaar was.

Fysica	Locatie /gebied	Periode	Frequentie	Toelichting	Specifiek MOVE	Door MOVE betaald	Gebruikt in evaluatie	Opmerking
Vaklodingen	Vak 1, 2, 3		2/jr tot 2003, daarna 1/jr	Verandering areaal en inhoud geulen	Vak 1 2 3	MWTL MOVE	Vak 1 2 3	
	Vak 4 5 6 18		1/jaar	Idem	Vak 4 5 6 18	MWTL MOVE	Vak 4 5 6	
	Vak 12 13 14		1/4jaar			MWTL	Nee	
	Vak 15 16 17 19 44		1/2jaar			MWTL	Nee	
Detaillodingen	Drempels Bath, Valkenisse, Hansweert, Borssele		4/jaar	Hoogte van de verlaagde drempels		nee	Nee	
	Vaarwaters Bath, Middelgat, Pas v Terneuzen		1/jaar			nee	Nee	
	Stortvakken kust Vlissingen, Z-Vlaanderen		1 - 2/jaar			nee	Ja	
	Buiten veerhaven Perkpolder, Breskens		1 - 2/jaar			nee	Nee	
Kustlodingen	Breskens-Zwin		1jaar			nee		
Oeverlodingen	Westerschelde		1/jaar	Inscharen oevers		nee	Nee	
Detailodingen geulwand-verdedigingen	Westerschelde	1997-2011	1 tot 2/jr	Ontwikkeling voorland en inscharing geulwand		nee	Ja	
Waterpassingen	Schorren	1999, 2005		Verandering oppervlakte en volume schorren	niet uitgevoerd	-	Ander project: schor/slik, erosie schorren	Ipv kaolien gebruikt
	Slikken en platen		1/2jaar	Verandering oppervlakte slikken en platen	aanvulling op vakloding		Ja	meting zit in vaklodingen

	Slikken achter geulwand-verdediging		1/2jaar	Verandering oppervlakte slikken tot stand gebracht	Idem	Ja	Idem
Hoogteopname	Hoogte plaat- en slikgebieden		Vroeger 12/jr, nu 4/jr	Sedimentatie erosie	intergetijde zone 29 raaien	Ja, ontwikkeling slikken achter geulwand-verdediging	
Luchtfoto-opnamen	Droogvallende delen (laser) Schorren	2001, 2004 1998, 2003		Verandering ecotopen Verandering ecotopen	x	Droogvallende delen Schorren	
Debietmetingen	Raai 1 t/m7, 9 t/m 12, 14		1/5 jaar	Verandering debieten	ja	Raai 2 t/m 7, 9,10	Raai 5a en 7 t/m 2002 1/jr
Sedimentmeting	Hele Westerschelde Slikken Everingen en Hooge Platen	2002 1997, 2000		Verandering ecotopen Veraderen ecotopen	Intergetij- ja dengebied Ja	Ja Ja	Mc Laren Mc Laren, alleen intergetijden-gebied
Sediment-samenstelling	Micro fytobenthos raaien (12 locaties)		1/jaar	Verfijnen samenstelling bodemsediment		Ja	
Zoutgehalte	Voordelta, Schaar van Ouden Doel, Hansweert, Vlissingen		Continu 1/10min	Verandering zoutgehalte		Ja	Meetnet Zege; Sept/okt
Baggerhoeveel-heid (beun)	Alle baggerlocaties		elk schip	Bepalen baggerhoeveel-heid		Ja	

Biologie	**Locatie /gebied**	**Periode**	**Frequentie**	**Toelichting**	**Specifiek MOVE**	**Door MOVE betaald**	**Gebruikt in evaluatie**	**Opmerking**
BOD	Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Schaar van Ouden Doel		6-26/jaar	Zuurstofverbruik weinig verandert				
DOC, POC	Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Sch.v Ouden Doel		6-26/jaar	Meer organisch materiaal in waterkolom				
Fytoplankton, biomassa/soort	Sch v Ouden Doel, Hansweert, Vlissingen		1/14dg - 1/mnd	Primaire productie niet verandert				
Chlorofyl-a	Sch v Ouden Doel, Hansweert, Vlissingen		18-26/jaar	Doorzicht buiten stortlocaties niet verandert				
Lichtinstraling	Vlissingen		Dagintegraal	Idem				
Doorzicht	8 locaties in WS		12-18/jaar	Idem				

Extinctie	Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Sch.v Ouden Doel		6-18/jaar	Idem				
Fytobenthos (biomassa)	Intergetijdengebied 30 raaien		1/mnd	Fytobenthos verandert	29 raaien 1/3mnd			
Macrozoobenthos	Plot 1 2 3 4 en 13 raaien intergetijdenzone		2/jaar	Biomassa verandert	Plot 4 en 11 raaien inter-getijdenzone			
Garnaal, vis	Geulen		1/jaar	Kinderkamers afnemen				
Hyperbenthos	Schorkreken en nevengeulen		1/mnd					HW tellingen
Vogels	Conditie steltlopers (platen en slikken) broedvogels (schorren)		1/mnd	Foerageer-mogelijkheden veranderen	Jonge Visdieven en ruiende Bergeenden in 2002 en 2004	Nee		MWTL: Bergeenden/ AugSteltlopers/mnd, Sterns/jr
Schorvegetatie	Alle schorren	1998, 2003, 2006		Vegetatiezones niet veranderen	Waarde 16 (gestopt), Selena 29			
Ecotopen	Schorren, platen en slikken	2001, 2006		Ecotopen veranderen	Gebiedsdekkend van teen dijk tot teen dijk	Nee	Biomon: kartering	WVO RIZA pakket
Verontreini-gingen in waterbodem	30 baggerlocaties		1/jaar	Bodemkwaliteit nauwelijks verandert				
Bodemmonsters	Intergetijdengebied	1995, 1999, 2003		Idem	Intergetijden-gebied Kaolien schorren	Nee	Ander project vanaf 2004	RIZA pakket

Chemie	**Locatie /gebied**	**Periode**	**Frequentie**	**Toelichting**	**Specifiek MOVE**	**Door MOVE betaald**	**Gebruikt in evaluatie**	**Opmerking**
Verontreiniging in waterfase	7 locaties		6 - 18/jaar	Waterkwaliteit niet verslechtert				RIZA pakket
Verontreiniging in waterfase/ Zw stof	Schaar van Ouden Doel		13 of 26/jaar	Idem				RIZA pakket
Verontreiniging in Zw stof	Vlissingen Terneuzen Wielingen		4/jaar	Idem				

Bijlage B Voorspellingsinterval

Het voorspellingsinterval is gebaseerd op het lineaire model waarmee de nulontwikkeling beschreven is. Dit model heeft de volgende vorm:

$$y = \alpha + \beta x \quad (1)$$

Bij het bepalen van deze lijn is uitgegaan van het minimaliseren van de som van de gekwadrateerde verticale afwijkingen van punten t.o.v. een lijn. Dit komt overeen met het voorspellen of beschrijven van y op grond van x. Dit voorspellen of beschrijven is een belangrijk punt. De punten rond een rechte lijn worden beschreven in het kansmodel door $y_1,...y_n$ op te vatten als de waargenomen waarden van s.v.-en $Y_1,...Y_n$ die voldoen aan de regressielijn

$$Y_i = \alpha + \beta x_i \quad (2)$$

voor de (onbekende) parameters van lijn 1. Waarbij we het verband aangeven tussen de verwachte waarde van Y en de voorspellende variabele x. Omdat we het gedrag van Y willen beschrijven op grond van x, beschouwen we x als niet-stochastisch en Y als wel stochastisch. Hierbij is x bekend en Y niet. Dit wordt tot uitdrukking gebracht door de toepassingen van hoofdletters voor de onbekende waarde en kleine letters voor de bekende waarde. De kleinste-kwadraten-methode levert analoog aan 1 de schatters $\hat{\alpha}$ en $\hat{\beta}$ op. De rechte lijn wordt nu beschreven door:

$$y = \hat{\alpha} + \hat{\beta} x \quad (3)$$

Het voorspellingsinterval is gebaseerd op het kansmodel dat het verwachte verband tussen x en Y beschrijft. We hebben te maken met twee bronnen van variatie:
Y zelf is een s.v., die normaal verdeeld is met variantie σ^2
We kennen de verwachting $\alpha + \beta x$ van Y niet, en moeten deze schatten m.b.v. de reeds bekende waarnemingen $Y_1,...Y_n$; dit brengt een schattingsfout mee.

Het stochastische voospellingsinterval voor Y bij de waarde x met betrouwbaarheid $1-\alpha$ heeft de volgende vorm:

$$(\hat{\alpha} + \hat{\beta} x - cS^*, \hat{\alpha} + \hat{\beta} x + cS^*) \quad (4)$$

met c geven door $P(T_{n-2} \leq c) = 1 - \frac{1}{2}\alpha$ (volgt uit de Studentverdeling). De α geeft hier de betrouwbaarheid weer en is over het algemeen 95%.

$$S^* = \sqrt{(S^*)^2} \text{ en } (S^*)^2 = S^2\left\{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x-\bar{x})^2}{S_{xx}}\right\} \quad (5)$$

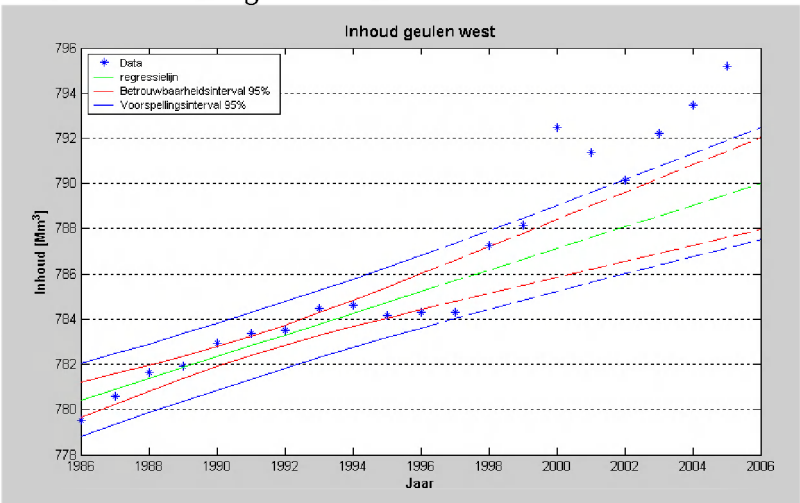
Waarbij S^2 en S_{xx} gegeven worden door

$$S^2 = \frac{1}{n-2}\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta}x_i\right)^2 \quad (6)$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \quad (7)$$

We zien hier twee bronnen van toevalsvariatie terug. S^2 is de schatter van σ^2, de variantie van Y zelf komt voort uit het extra moeten schatten van $\alpha + \beta x$. Het voorspellingsinterval voor Y zal dus altijd breder zijn dat het betrouwbaarheidsinterval.

Voorbeeld: Arealen geulen west



De intervallen zijn gebaseerd op de data in periode 1986-1996. Er wordt voorspelt wat er op basis van deze periode verwacht kan worden na 1996.

Bijlage C Verwijderen 18,6 jarige cyclus

De 18,6 jarige cyclus is uit de data verwijderd volgens de volgende methode.

Het bepalen van de trend en het fitten van de 18,6 jarige cyclus is uitgevoerd aan de hand van twee in MATLAB geschreven functies *cyclusverwijderen.m* en *sinus.m.* In het kort wordt het volgende methode toegepast.

De lineaire trend kan worden beschreven als:

$$y(t) = at + b \tag{1}$$

waarbij b de gemiddelde waterstand voorstelt , en a de gemiddelde stijging van de waterstand. De waarden a en b worden bepaalde met de kleinste kwadraten methode; hiervoor wordt de MATLAB-functie 'detrend' gebruikt.

De 18,6 jarige cyclus wordt gefit aan het overgebleven signaal met de kleinste kwadraten methode om zo de amplitude en fase van de 18,6 jarige cyclus voor het signaal te bepalen. De cyclus kan als volgt worden geschreven:

$$c(t) = A * \sin(\frac{2\pi}{T}t + \omega) \tag{2}$$

waarbij A de amplitude, ω de fase en T de periode van 18,6 jaar is. Op aanwijzingen van Anton Stoorvogel wordt de cyclus zo geschreven dat er geoptimaliseerd kan worden over a en b in plaats van A en ω . Dit is beter omdat de parameters dan lineair voorkomen in de functie. Bij het bepalen van het minimum kunnen we nu de afgeleide nemen naar a en b zodat er twee lineaire vergelijkingen met twee onbekenden ontstaan die heel eenvoudig zijn op te lossen. De beschrijving van de cyclus ziet er dan als volgt uit:

$$c(t) = a\sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) + b\cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \tag{3}$$

met de volgende connectie:

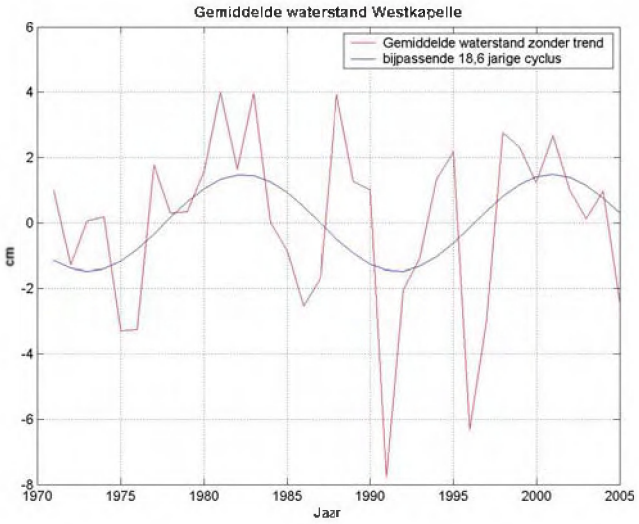
$$\begin{aligned} A &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ \omega &= a\tan\left(\frac{b}{a}\right) \end{aligned} \tag{4}$$

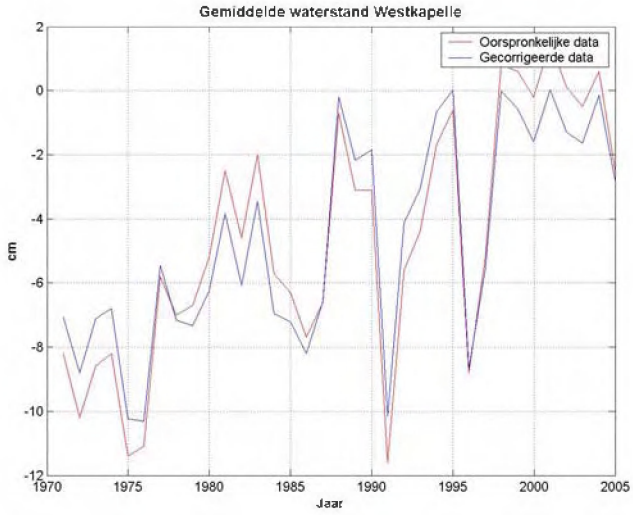
De uitkomsten van de nieuwe berekening voor de periode 1950 tot en met 2004 komt niet exact overeen met de periode van 1950 tot en met 2001. Er treden zeer kleine verschillen op. Dit komt zeer waarschijnlijk doordat in de analyse van de periode 1950-2001 gebruik gemaakt is van een berekende amplitude en fase op basis van een andere tijdreeks (1820-2001) (Wittenveen+Bos, 1999).

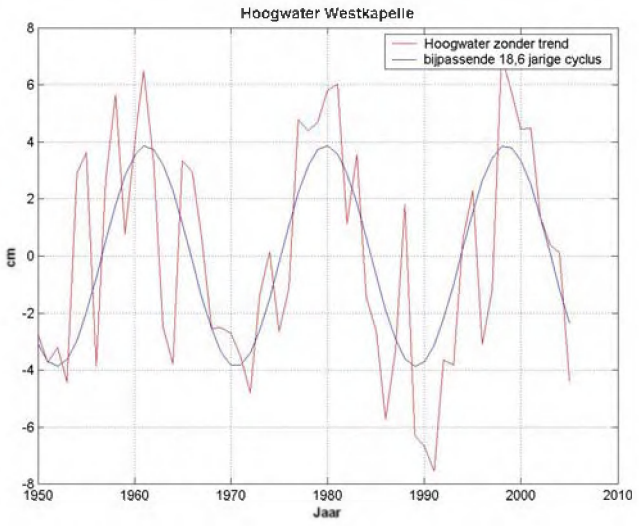
Bijlage D 18,6 jarige cyclus per meetstation

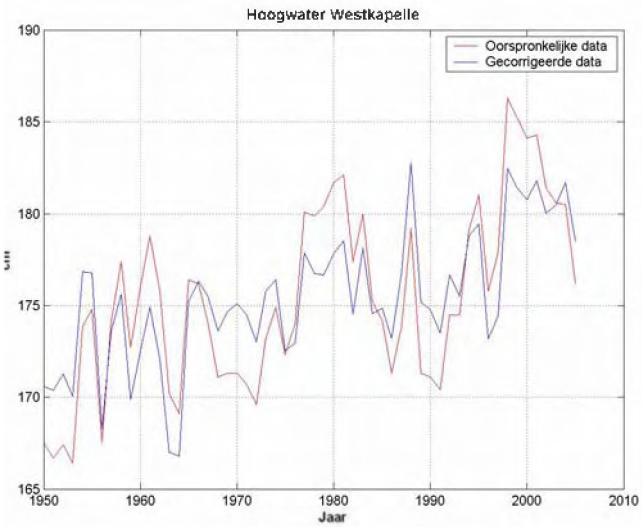
Voor elk meetstation is per getijkenmerk de invloed van de 18,6 jarige cyclus weergegeven. Daarnaast is ook het signaal van het getijkenmerk na de verwijdering van de invloed van de 18,6 jarige cyclus weergegeven.

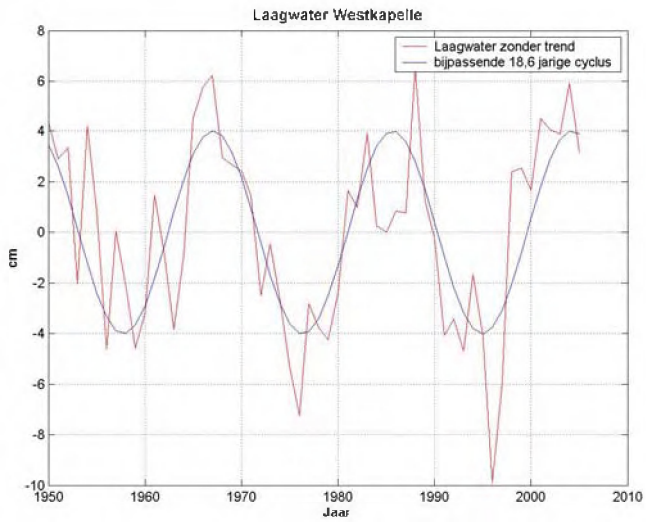
Westkapelle

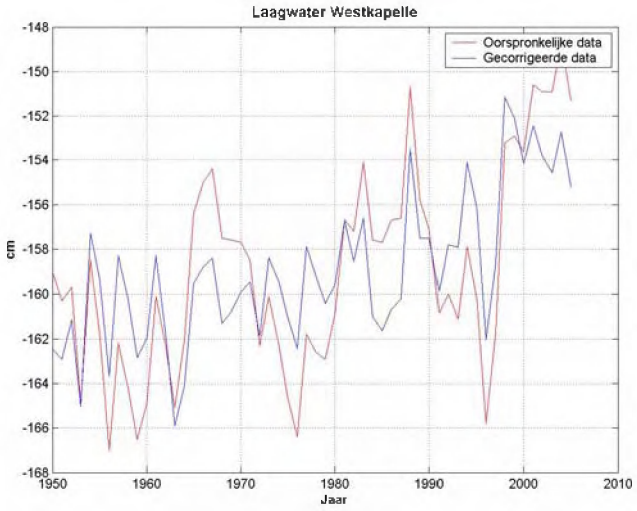


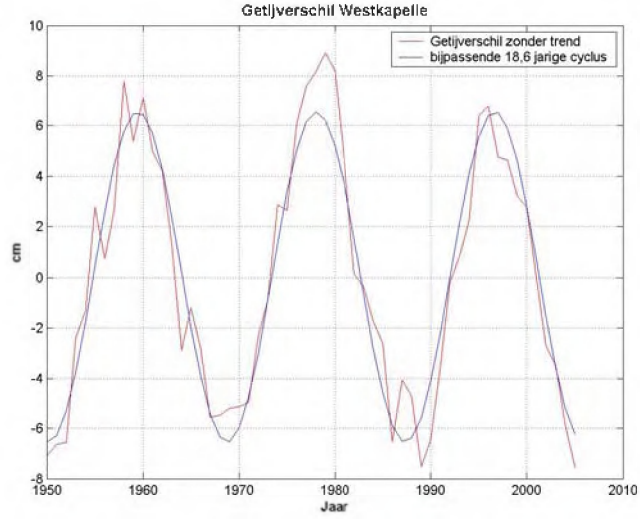


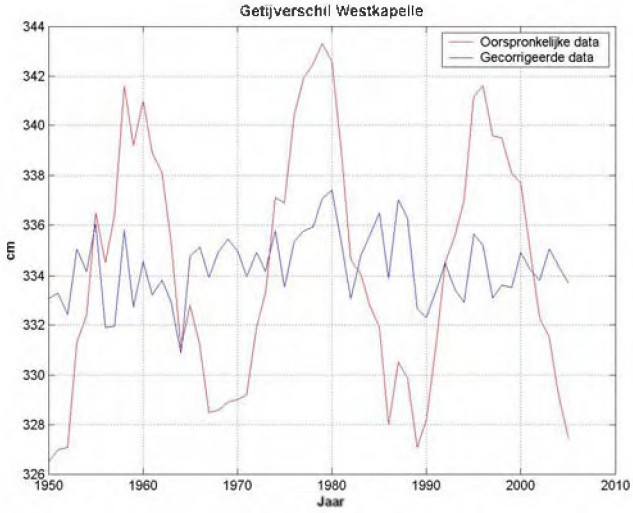




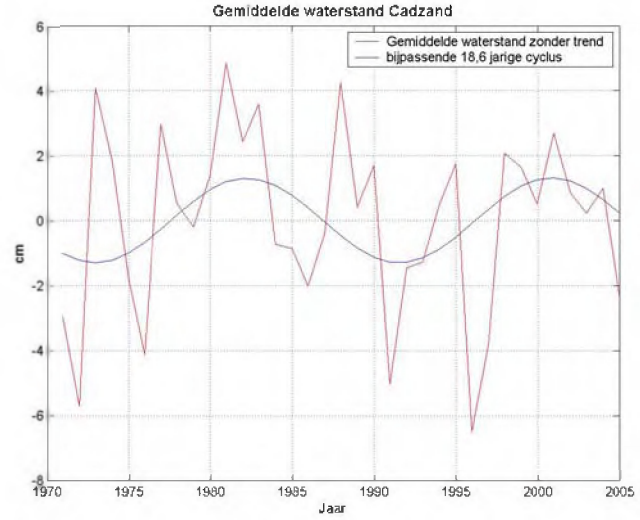

Laagwater Westkapelle
Laagwater zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar

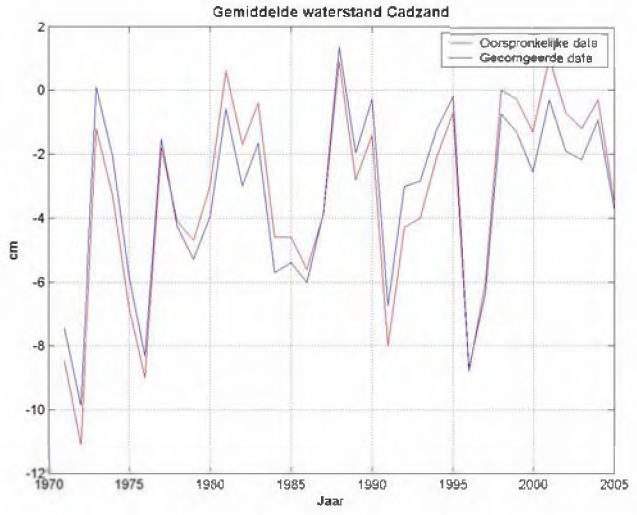

Laagwater Westkapelle
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

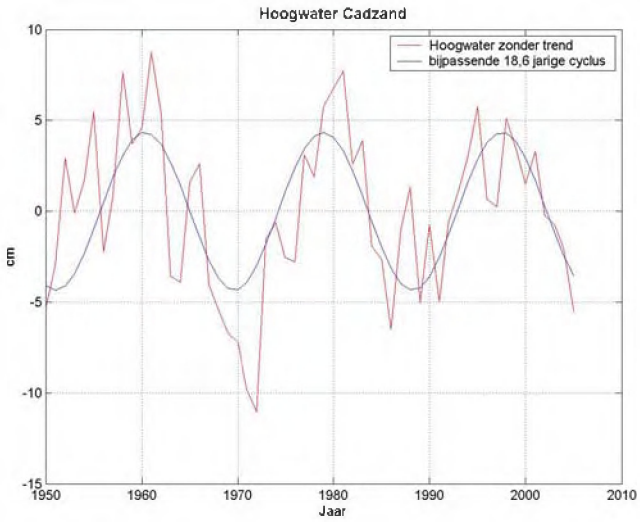

Getijverschil Westkapelle
Getijverschil zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar

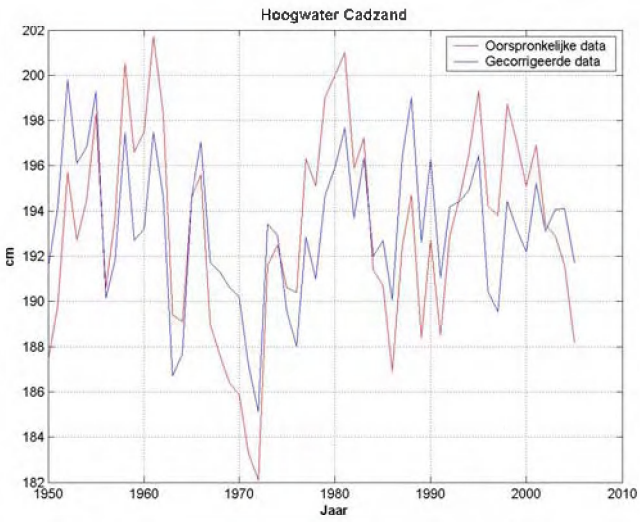

Getijverschil Westkapelle
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

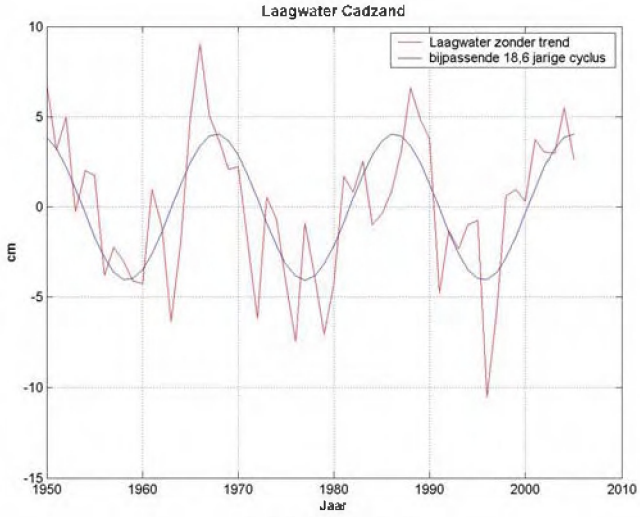
Cadzand

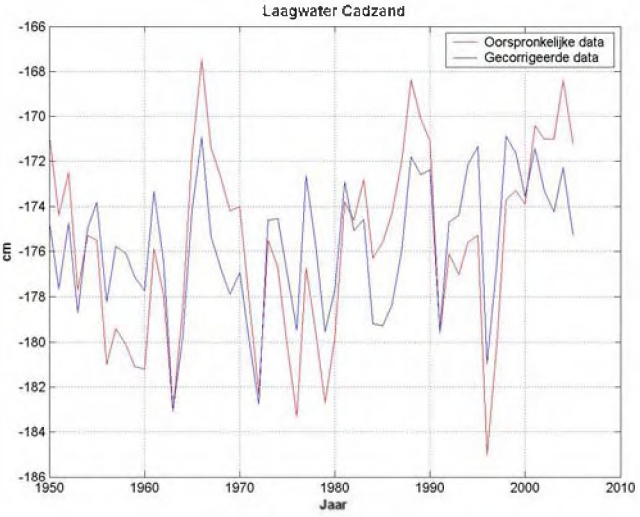

Gemiddelde waterstand Cadzand
Gemiddelde waterstand zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar

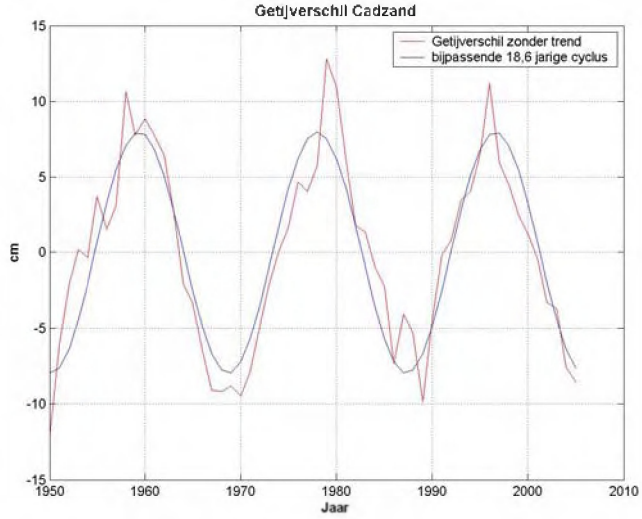

Gemiddelde waterstand Cadzand
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

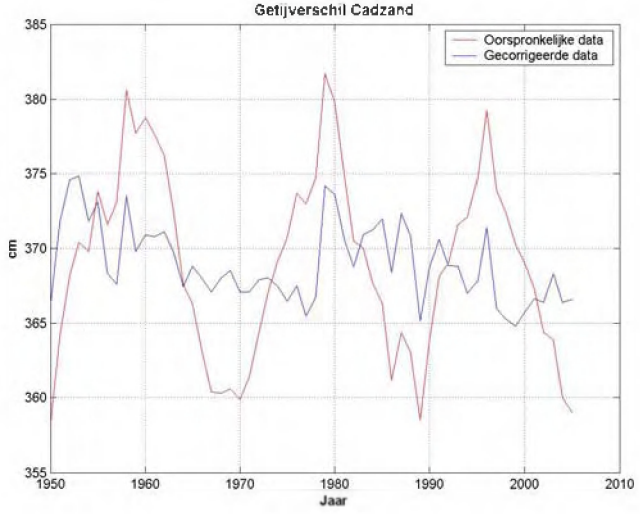

Hoogwater Cadzand
Hoogwater zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar


Hoogwater Cadzand
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

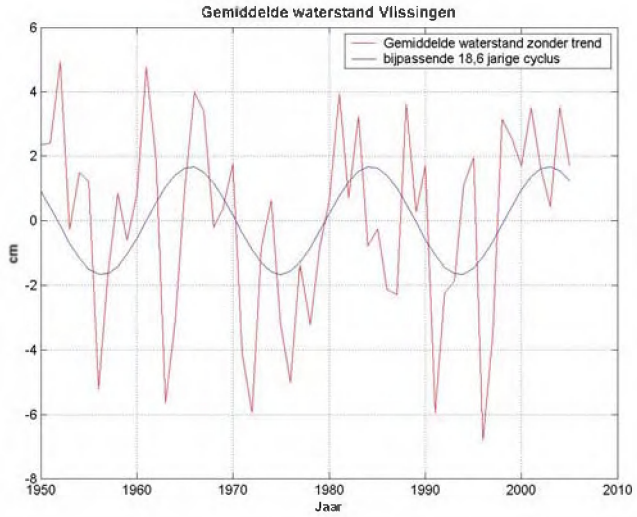

Laagwater Cadzand
Laagwater zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar

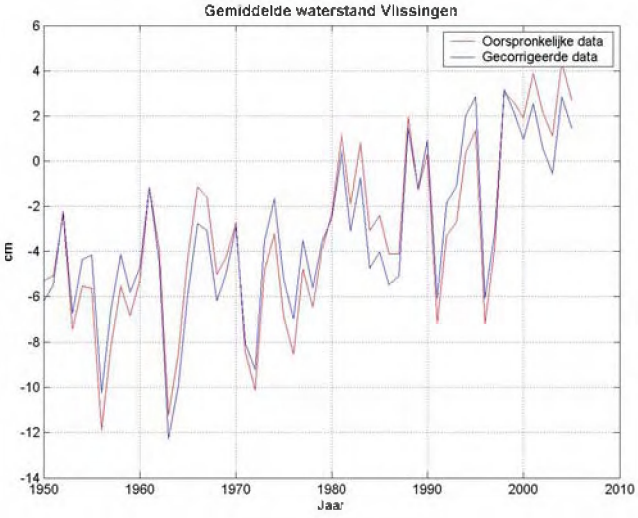

Laagwater Cadzand
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

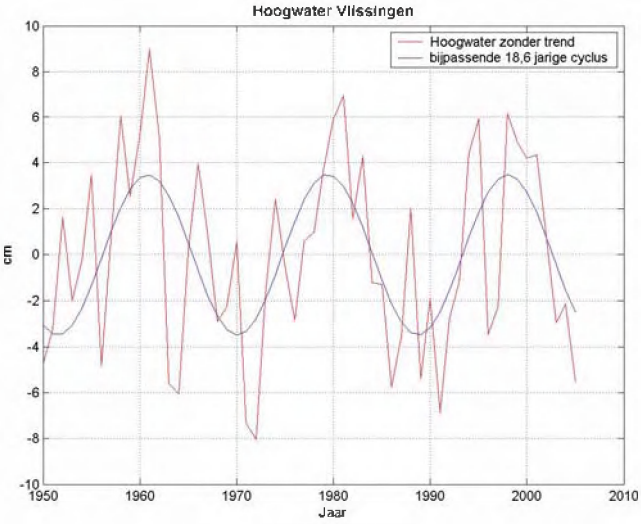

Getijverschil Cadzand
Getijverschil zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar

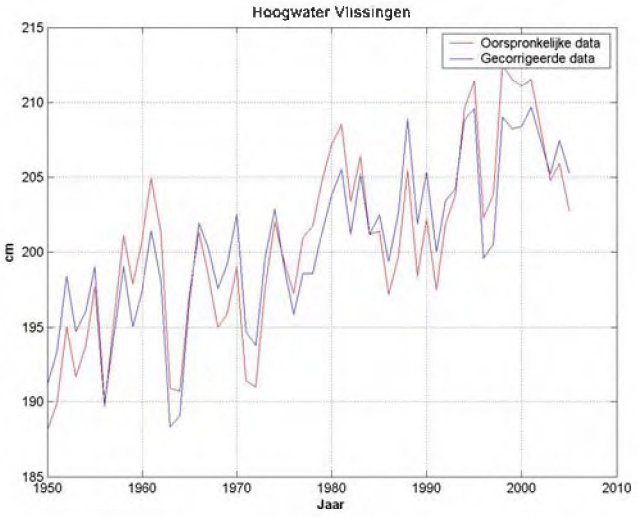

Getijverschil Cadzand
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

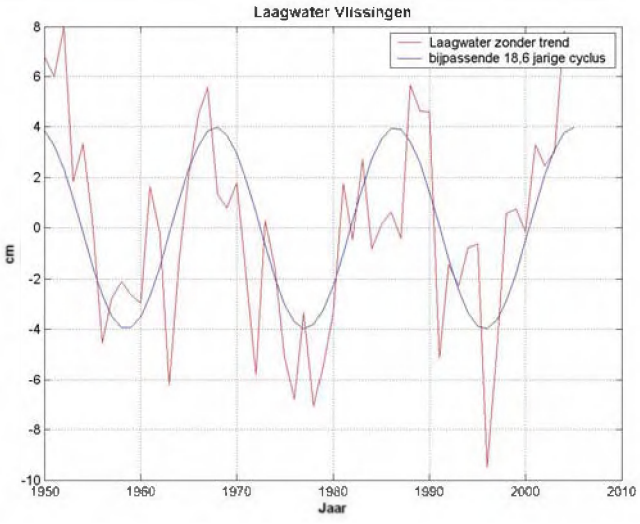
Vlissingen

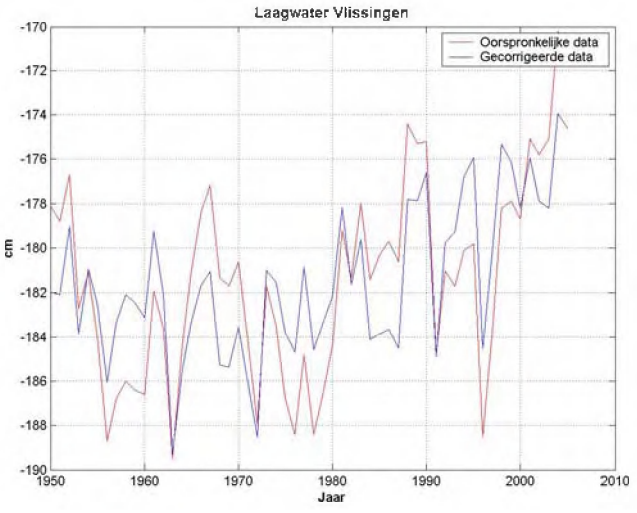

Gemiddelde waterstand Vlissingen
Gemiddelde waterstand zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar

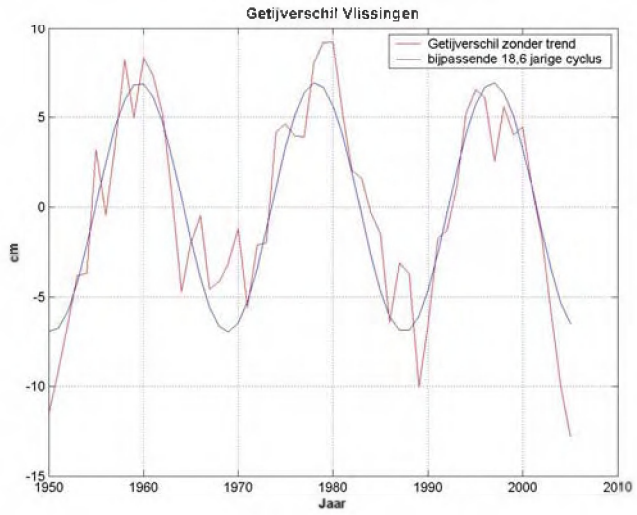

Gemiddelde waterstand Vlissingen
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

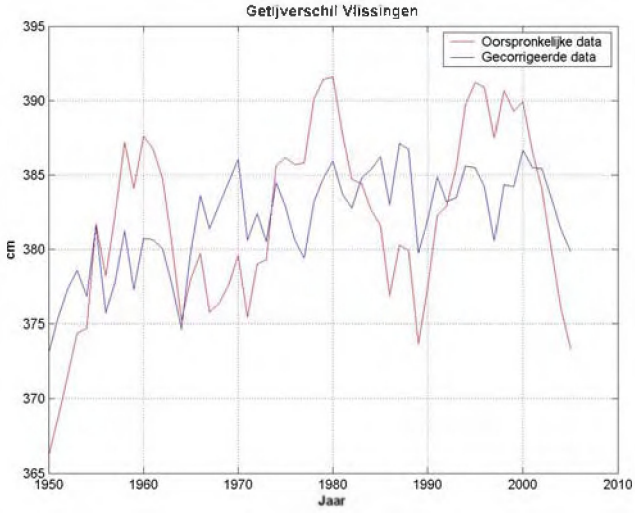

Hoogwater Vlissingen
Hoogwater zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar


Hoogwater Vlissingen
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

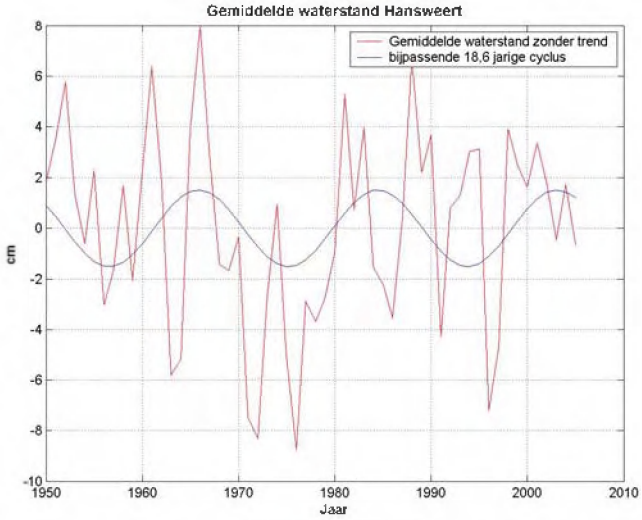

Laagwater Vlissingen
Laagwater zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar

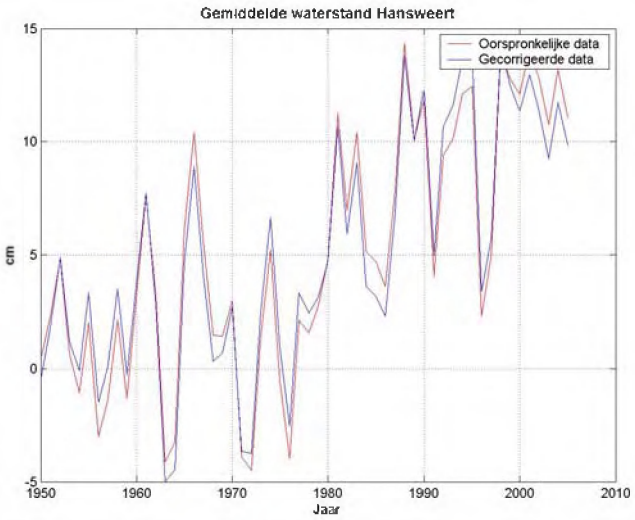

Laagwater Vlissingen
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

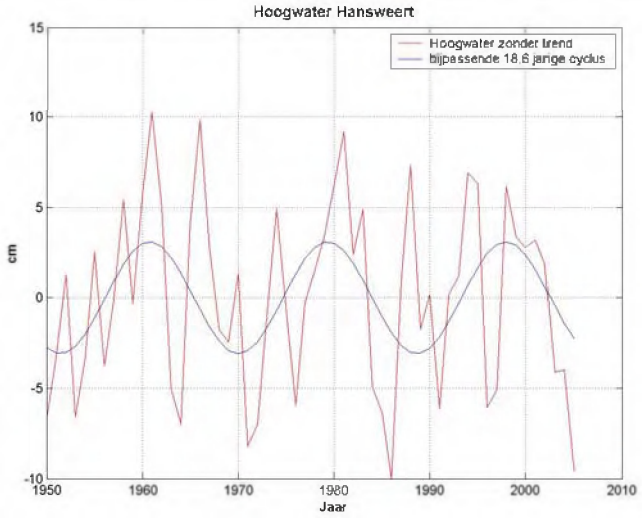

Getijverschil Vlissingen
Getijverschil zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar

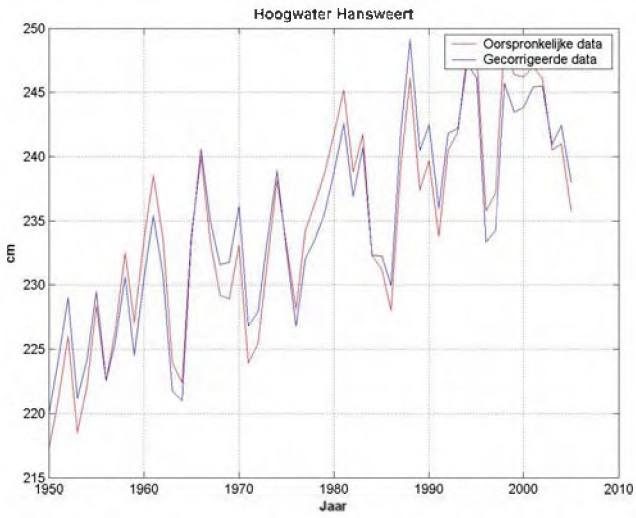

Getijverschil Vlissingen
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

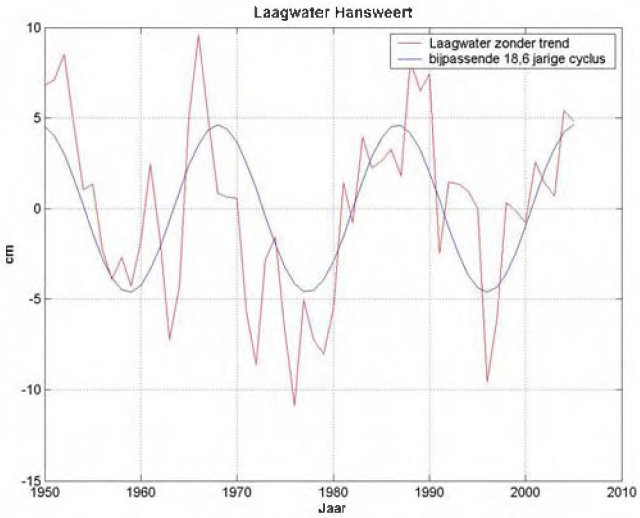
Hansweert

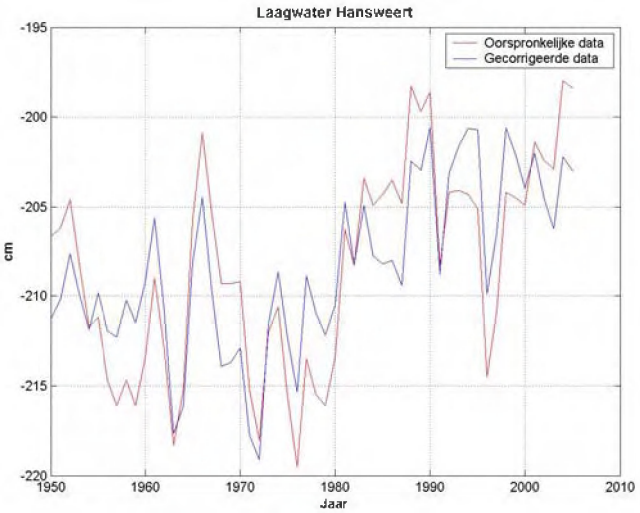

Gemiddelde waterstand Hansweert
Gemiddelde waterstand zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar

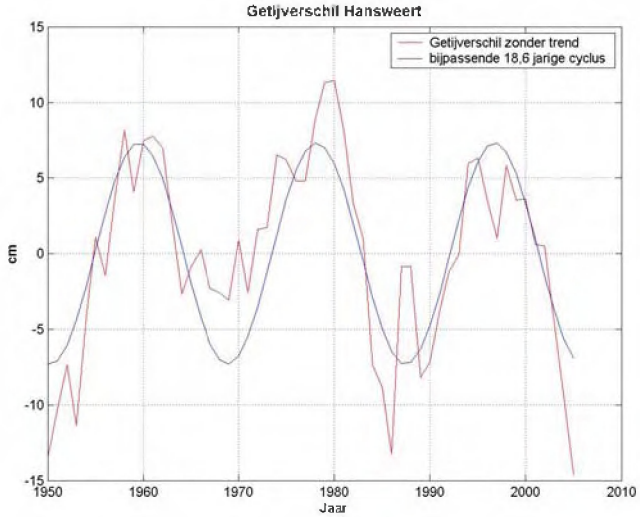

Gemiddelde waterstand Hansweert
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

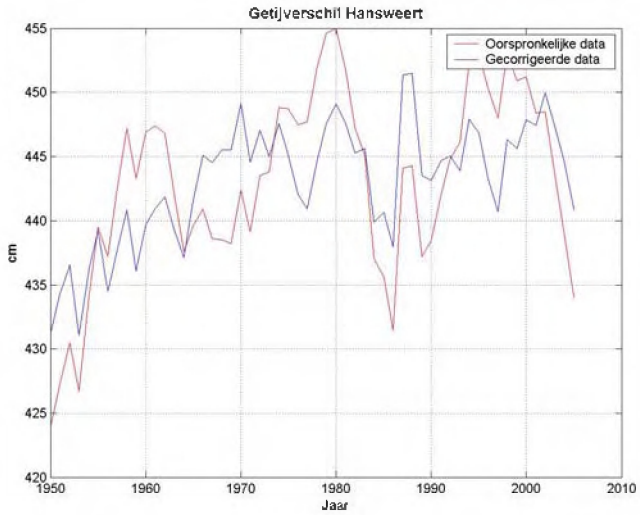

Hoogwater Hansweert
Hoogwater zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar


Hoogwater Hansweert
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

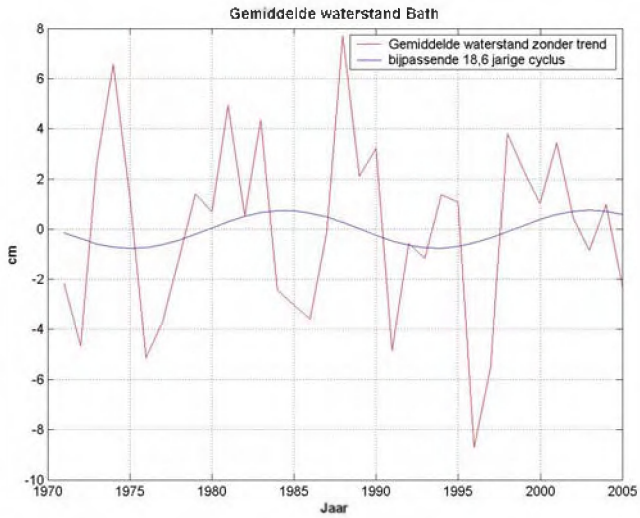

Laagwater Hansweert
Laagwater zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar

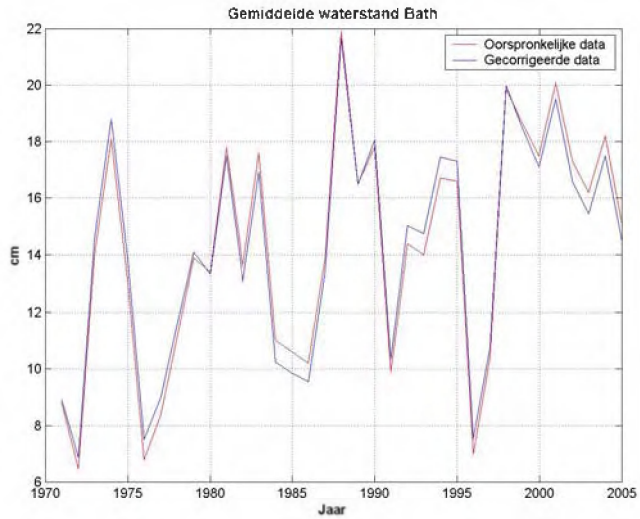

Laagwater Hansweert
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

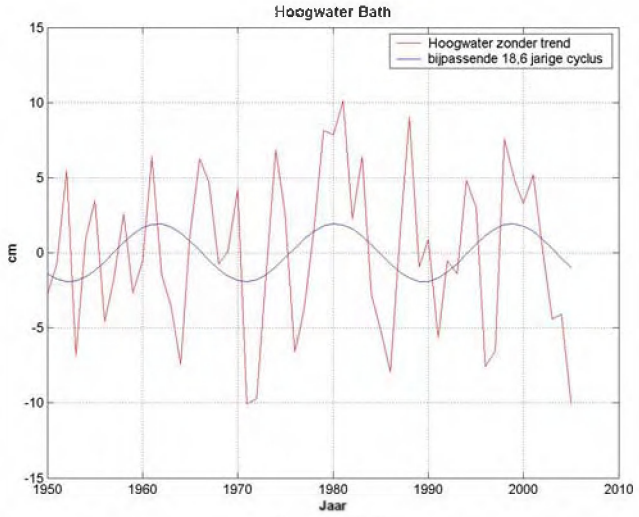

Getijverschil Hansweert
Getijverschil zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar

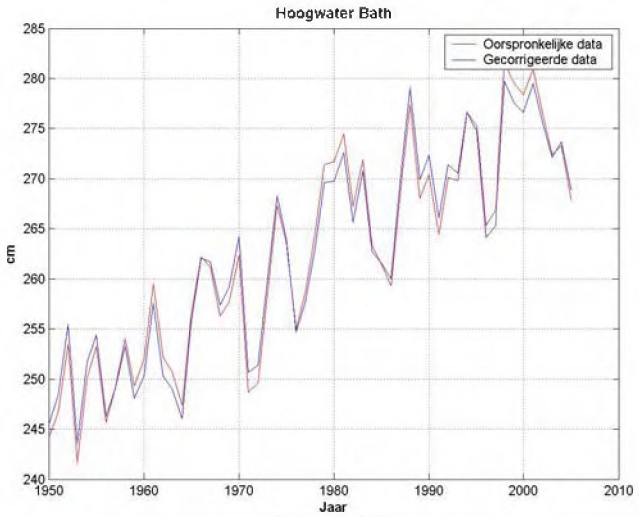

Getijverschil Hansweert
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

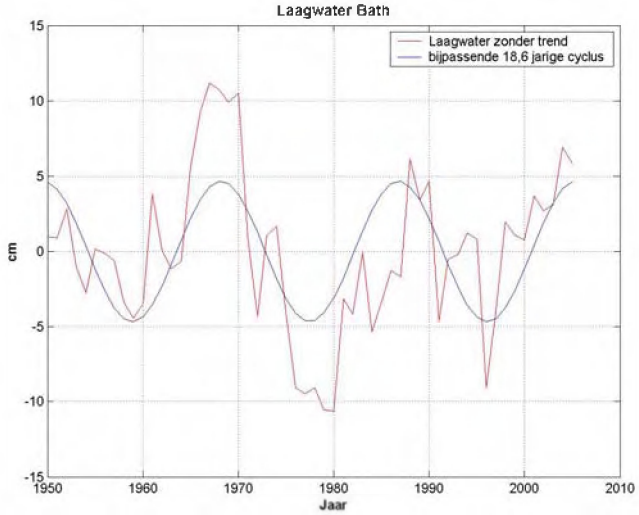
Bath

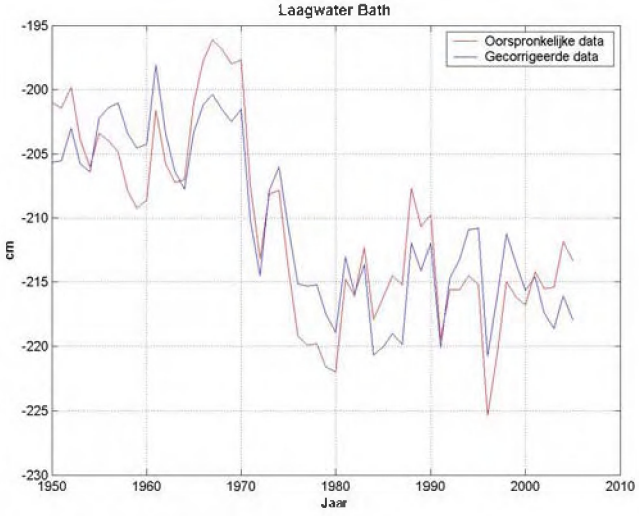

Gemiddelde waterstand Bath
Gemiddelde waterstand zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar

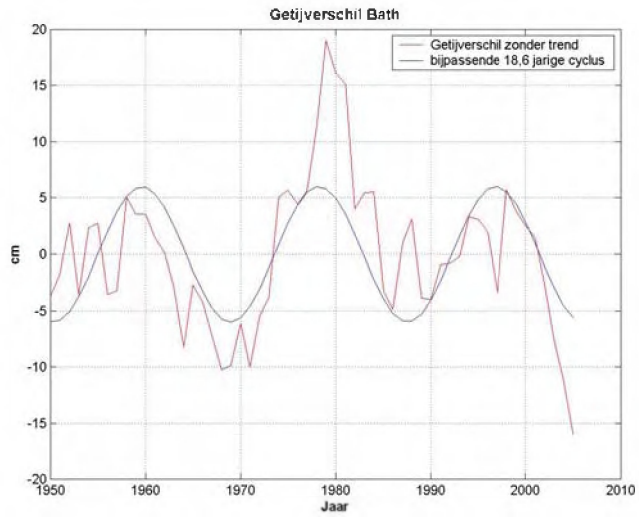

Gemiddelde waterstand Bath
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

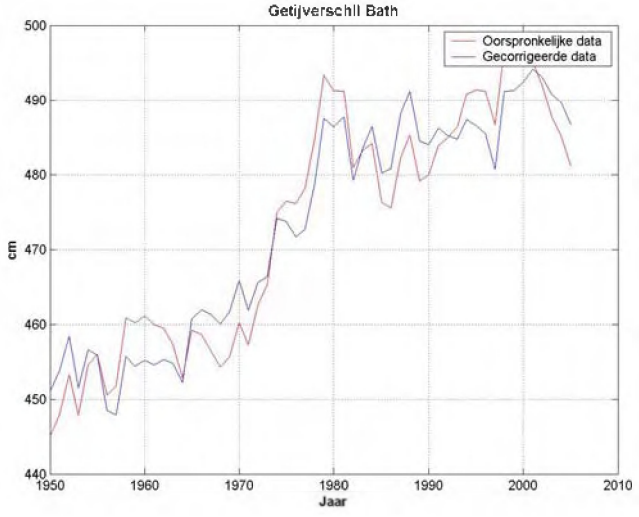

Hoogwater Bath
Hoogwater zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar


Hoogwater Bath
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

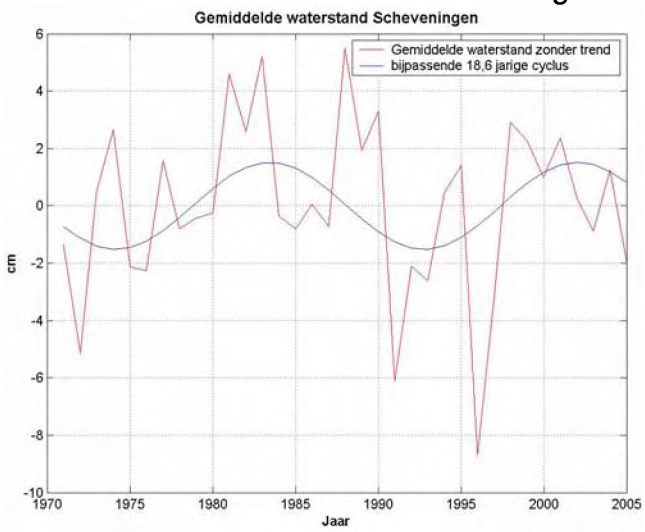

Laagwater Bath
Laagwater zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar

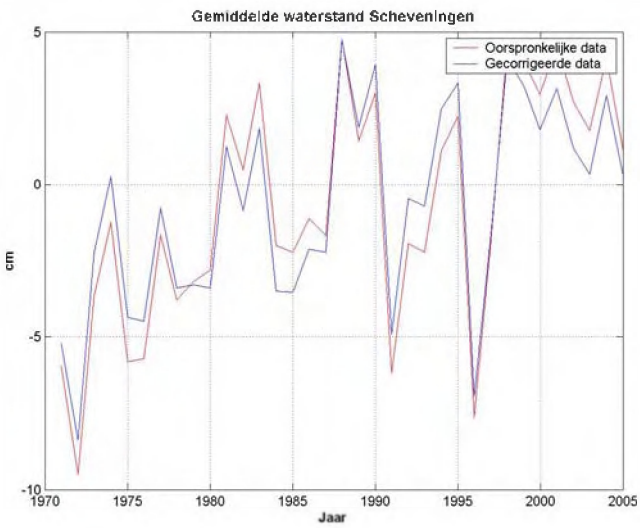

Laagwater Bath
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

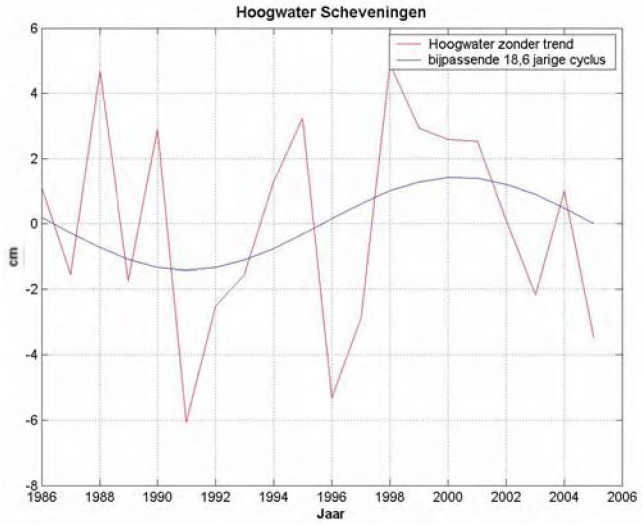

Getijverschil Bath
Getijverschil zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar

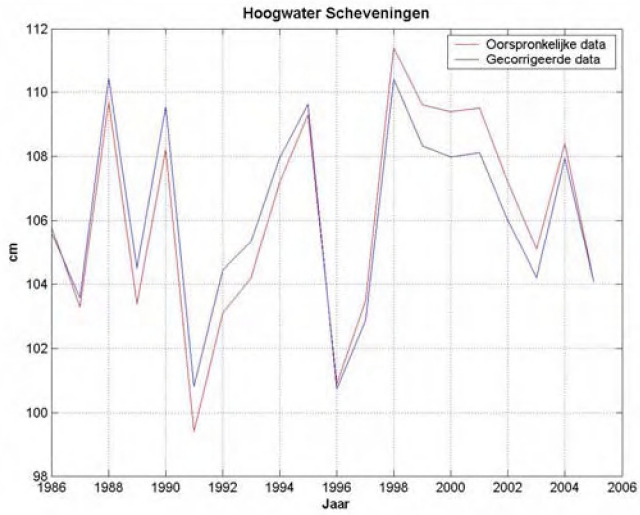

Getijverschil Bath
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

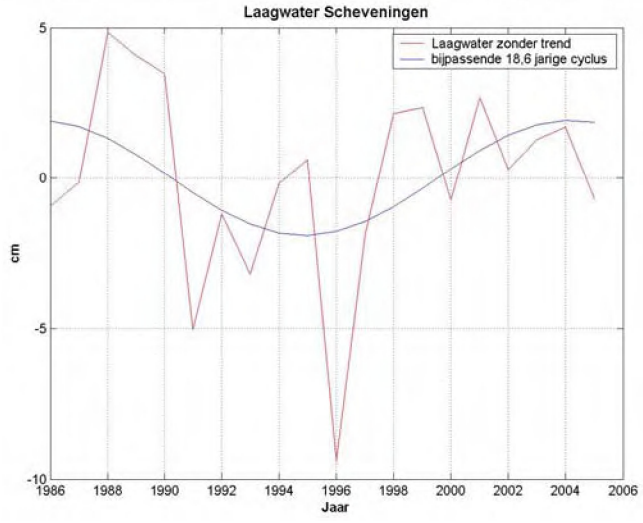
Scheveningen

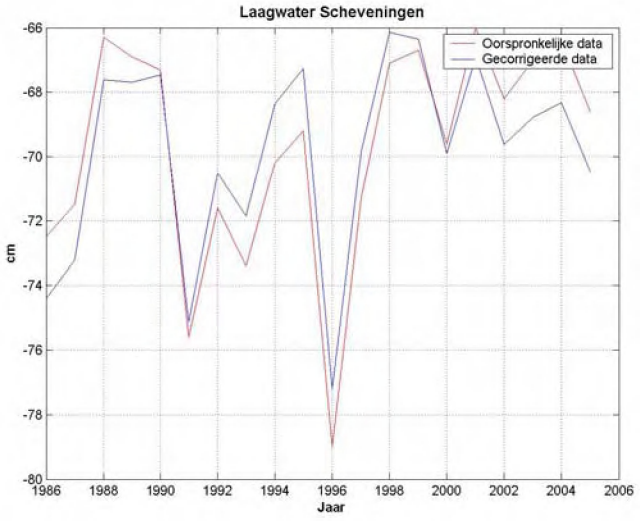


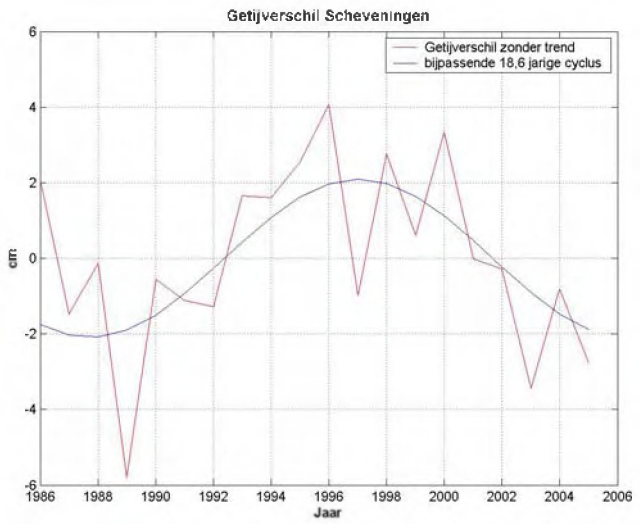


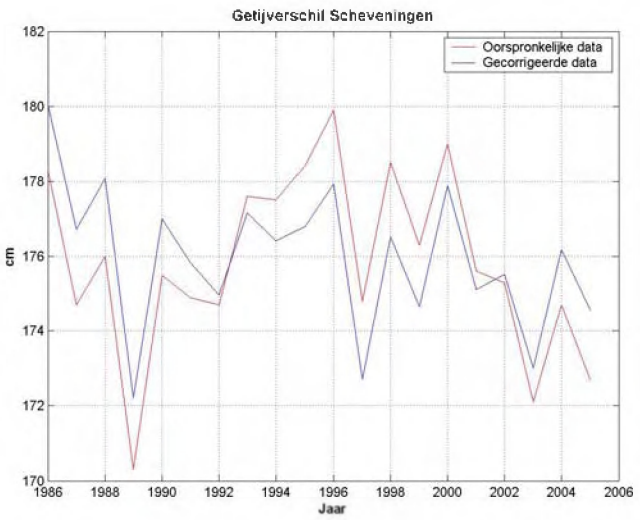




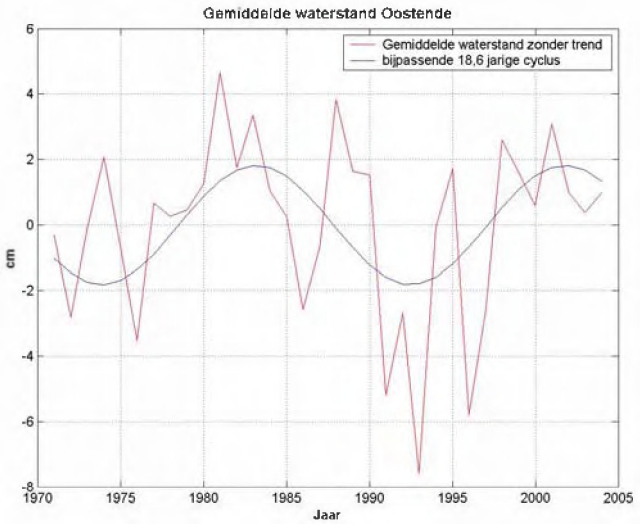


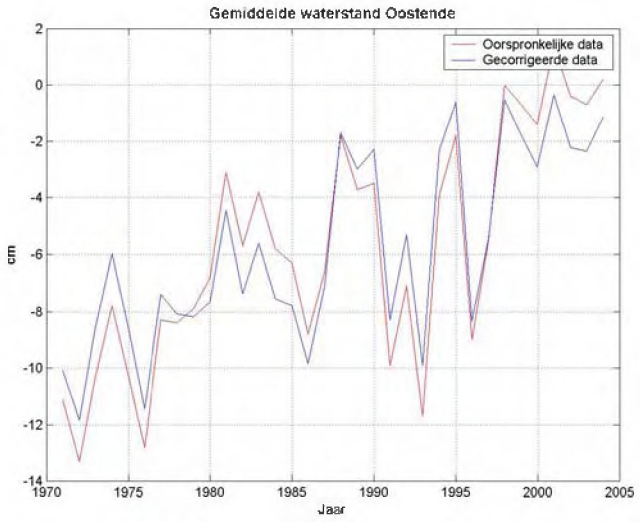


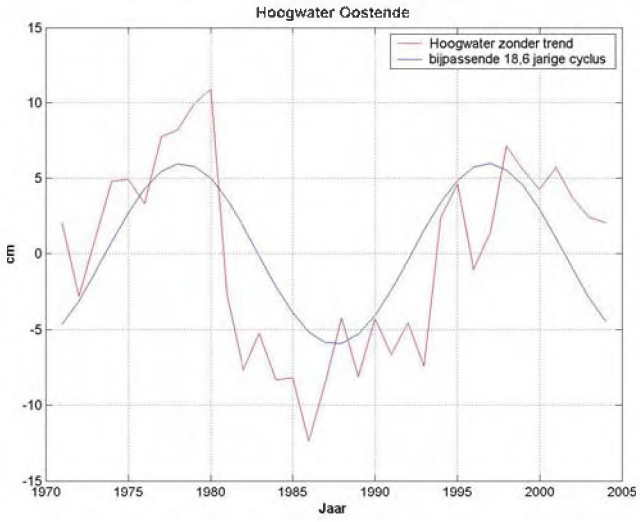


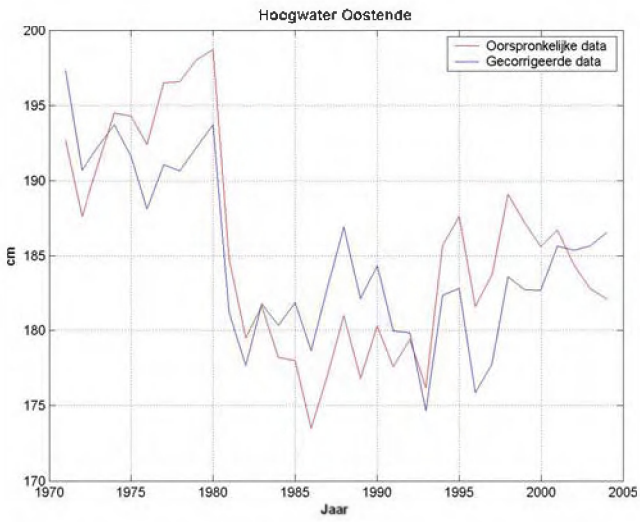


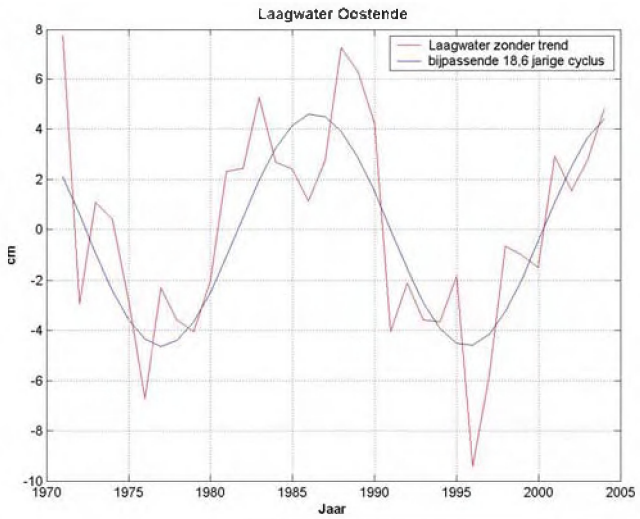
Oostende (België)

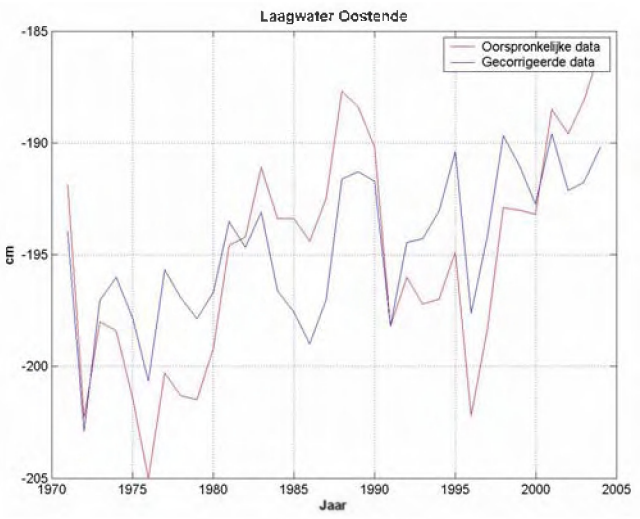


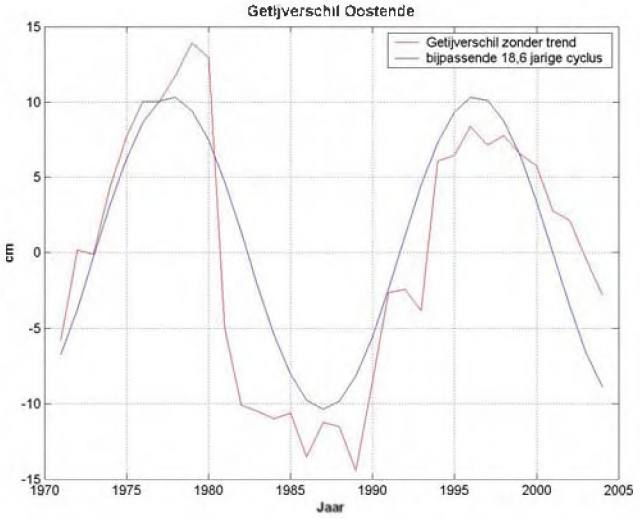


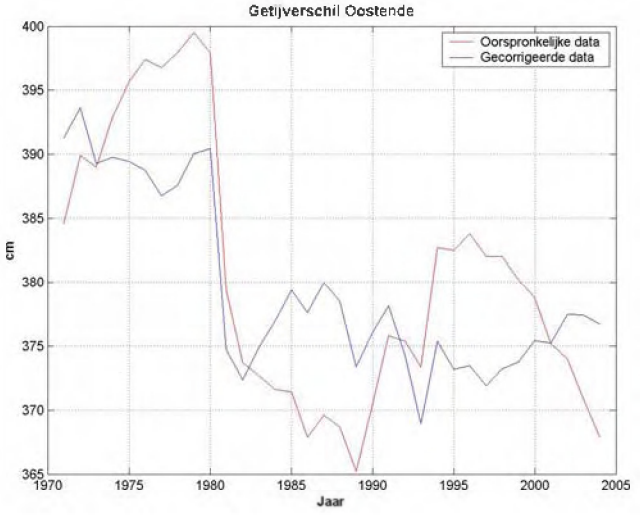




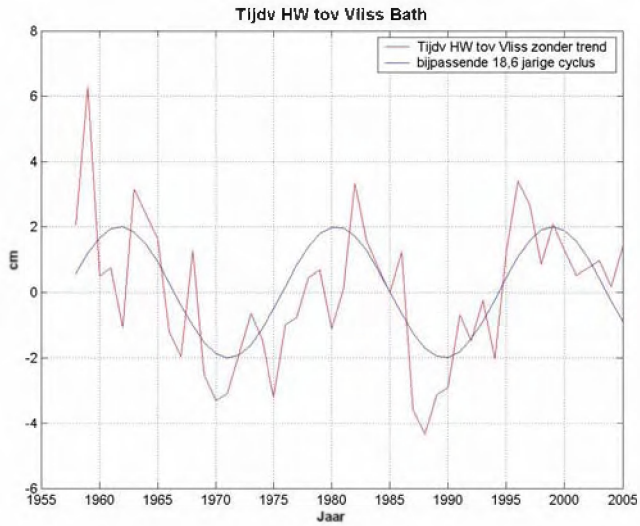


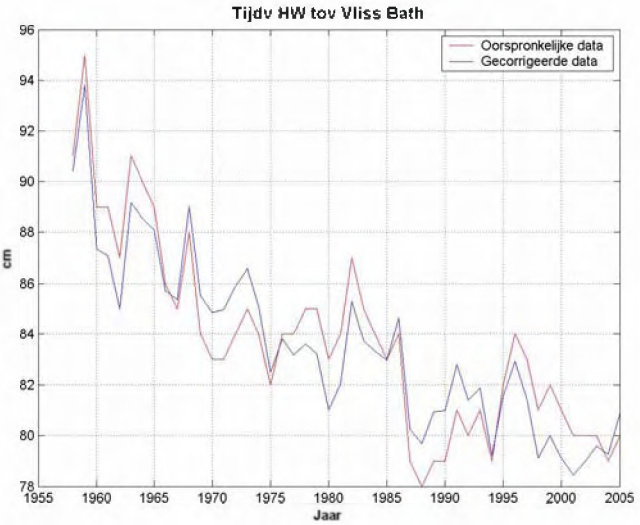


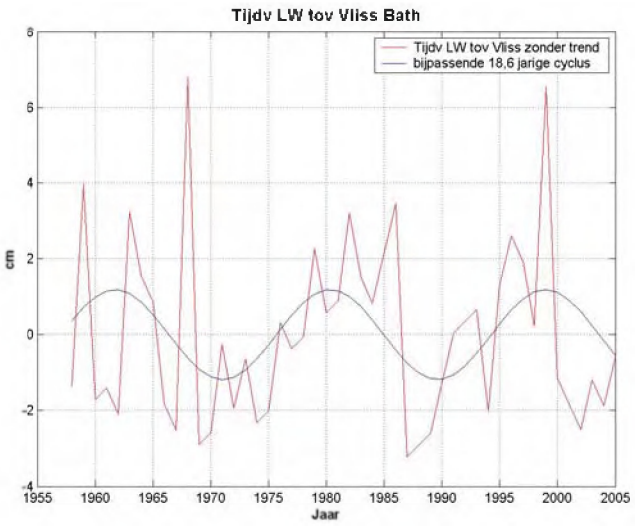


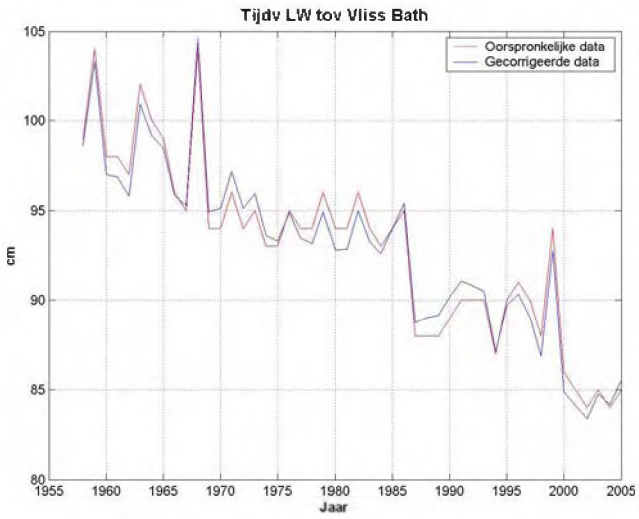


Tijdverschil Vlissingen → Bath






Tijdv LW tov Vliss Bath
Tijdv LW tov Vliss zonder trend
bijpassende 18,6 jarige cyclus
cm
Jaar


Tijdv LW tov Vliss Bath
Oorspronkelijke data
Gecorrigeerde data
cm
Jaar

Bijlage E Tijdreeksanalyse op basis van Box-Jenkins

Om de effecten van de verruiming op de waterstanden in de Westerschelde vast te kunnen stellen is een tijdreeksanalyse uitgevoerd volgens de Box-Jenkins-methode [Box and Jenkins, 1976]. Dit is een statistische techniek, waarbij per meetreeks een statistisch model wordt ontwikkeld dat de relaties legt tussen deze variabele en zijn kandidaat-invloedsfactoren, waaronder ook de verruiming. Het modelleren levert voor elke invloedsfactor een schatting op van zijn statistische evenwichtsrelatie met de waterstanden, evenals de bijbehorende onzekerheid. Aan de hand van deze resultaten kunnen vervolgens de hypothesen omtrent de diverse invloeden op de waterstand statistisch worden getoetst, met vooraf gedefinieerde betrouwbaarheden. Deze aanpak komt neer op een statistische reconstructie van de relaties tussen een gemodelleerde waterstandsreeks en zijn mogelijke invloedsfactoren.
De modelleringen zijn uitgevoerd op jaarbasis, aangezien dan allerlei kleinschalige effecten zullen zijn uitgemiddeld. Verder zullen de eventuele invloeden van de verruiming zich over meerdere jaren uitstrekken.

Elk van de twee verruimingen – de eerste vond plaats van 1970-1975 en de tweede in 1996 - is bij de tijdreeksanalyse vertegenwoordigd door een zogenaamde interventie-variabele (ook wel dummy-variabele, of [0,1]-variabele genoemd). Deze heeft de waarde 0 tot de start van de verruiming en neemt vervolgens lineair toe tot de waarde 1 aan het eind van de verruiming, om daarna constant op de waarde 1 te blijven. Dit is een beproefde manier om een kwalitatief verschijnsel met een aan- en uitstand kwantitatief bij een modellering te kunnen betrekken.

Voor de stations Bath, Hansweert, Vlissingen en Westkapelle zijn van de gemiddelde waterstand, hoogwaterstand en laagwaterstand tijdreeksmodellen op jaarbasis ontwikkeld. Daarbij zijn de volgende invoerreeksen gehanteerd:

1. de verruiming in 1997/98;
2. de verruiming in 1970-1975, mits de tijdreeks van de betreffende jaargemiddelde waterstand start vóór 1966;
3. een vertegenwoordiger van de natuurlijke omstandigheden, zijn de het jaargemiddelde waterstand van station Scheveningen.

Door gebruik te maken van de waterstandskenmerken van het station Scheveningen wordt, behalve voor de zeespiegelrijzing, ook verdisconteerd voor andere natuurlijke invloeden op de waterstand, zoals de meteorologische situatie en het getij. De gegevens over het hoogwater en het laagwater van station Scheveningen starten in 1987. Hierdoor is de evenwichtsrelatie van de jaargemiddelde

hoogwaterstand en de jaargemiddelde laagwaterstand van de stations in de Westerschelde met de verruiming van 1970-1975 niet geschat.

De met deze modellen geschatte evenwichtsrelaties met de bij de modellering betrokken invoerreeksen zijn vermeld in de onderstaande tabel. De evenwichtsrelaties die met 95% betrouwbaarheid statistisch significant zijn geschat zijn in deze tabel vet gedrukt en gearceerd.

Tabel E-1: Geschatte evenwichtsrelaties van respectievelijk de jaargemiddelde waterstand, de jaargemiddelde hoogwaterstand en de jaargemiddelde laagwaterstand met de bij de modellering betrokken invoerreeksen. De evenwichtsrelaties die met 95% betrouwbaarheid statistisch significant zijn geschat - bij tweezijdig toetsen - zijn vet gedrukt en gearceerd.

Jaargemiddelde waterstand			Verruiming	
		Scheveningen	1970-1975	1996
		Relatie	Relatie	Relatie
Locatie	Modelperiode	[cm/cm]	[cm]	[cm]
Bath	1977 t/m 2004	**1.0**		-0.8
Hansweert	1963 t/m 2004	**1.1**	3.9	0.6
Vlissingen	1963 t/m 2004	**0.8**	**1.8**	**1.3**
Westkapelle	1977 t/m 2004	**0.8**		**1.7**

Jaargemiddelde hoogwaterstand			Verruiming	
		Scheveningen	1970-1975	1996
		Relatie	Relatie	Relatie
Locatie	Modelperiode	[cm/cm]	[cm]	[cm]
Bath	1987 t/m 2004	**1.4**		1.4
Hansweert	1987 t/m 2004	**1.3**		-1.8
Vlissingen	1987 t/m 2004	**0.9**		-0.8
Westkapelle	1987 t/m 2004	**0.8**		-0.5

Jaargemiddelde laagwaterstand			Verruiming	
		Scheveningen	1970-1975	1996
		Relatie	Relatie	Relatie
Locatie	Modelperiode	[cm/cm]	[cm]	[cm]
Bath	1987 t/m 2004	**1.2**		**-5.0**
Hansweert	1987 t/m 2004	**1.1**		**-3.5**
Vlissingen	1987 t/m 2004	**1.0**		0.1
Westkapelle	1987 t/m 2004	**1.1**		0.6

In alle gevallen is de geschatte evenwichtsrelatie van een waterstandskenmerk met hetzelfde kenmerk van station Scheveningen statistisch significant en ligt de schatting rond de 1 cm/cm. Dit betekent dat de variaties in de jaarwaarden van deze waterstandskenmerken in de Westerschelde vergelijkbaar zijn met die van station Scheveningen.

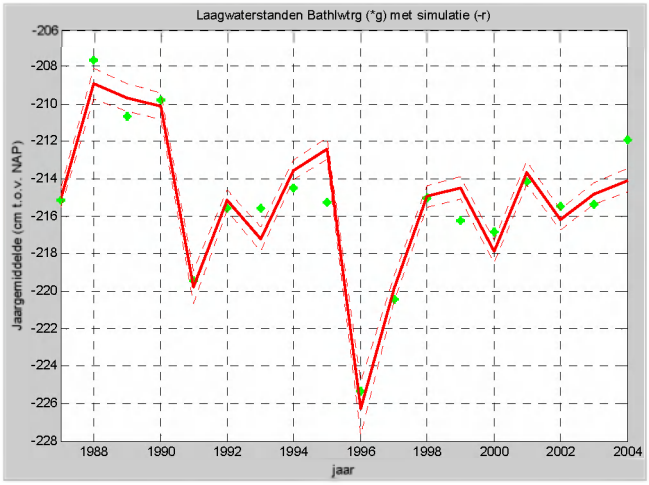
Slechts in één geval is er een statistisch significante evenwichtsrelatie van een waterstandskenmerk met de verruiming van 1970-1975 geschat. Het betreft de jaargemiddelde waterstand te Vlissingen, die 1,8 cm is gestegen in samenhang met de verruiming.

In vier gevallen is er een statistisch significante evenwichtsrelatie van een waterstandskenmerk met de verruiming van 1996 geschat. Het betreft de jaargemiddelde waterstanden te Vlissingen en Westkapelle, die respectievelijk 1,3 en 1,7 cm zijn gestegen en de jaargemiddelde

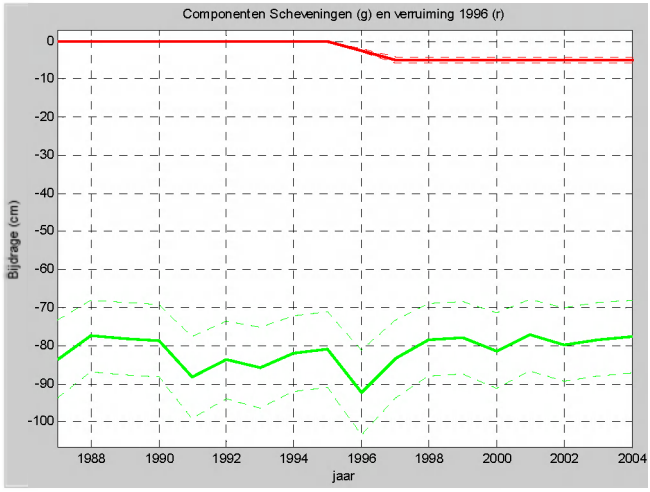
laagwaterstanden te Bath en Hansweert die respectievelijk 5,0 en 3,5 cm zijn gedaald, alles in samenhang met de verruiming.

Van de ontwikkelde modellen voor het laagwater in Hansweert en Bath zijn in deze bijlage twee figuren getoond.

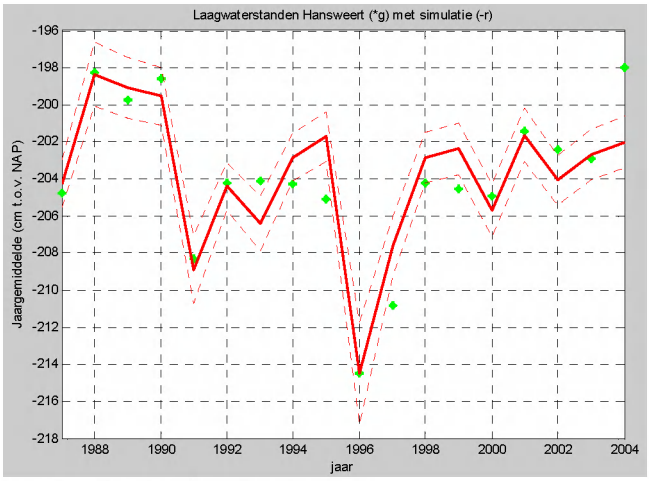
1. De eerste figuur dient om de pasvorm van het model te kunnen beoordelen. Deze toont met de rode lijn de simulatie (het model zonder de ruis) en met de groene sterren de meetwaarden. De dunne rode stippellijnen vertegenwoordigen het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de simulatie.
2. In de tweede figuur is de gemodelleerde grootheid (waterstandskenmerk) opgesplitst in de bij de modellering geschatte componenten. Per component is met dunne stippellijnen tevens het 95%-betrouwbaarheidsinterval aangegeven.



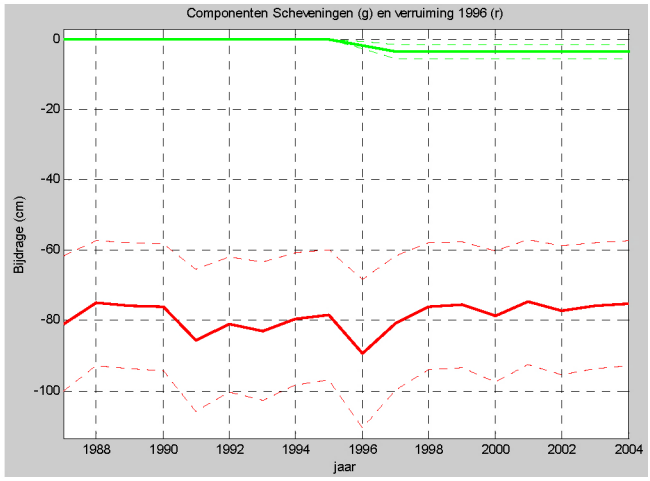
Laagwaterstanden Bath



Componenten voor Bath



Laagwaterstanden Hansweert



Componenten voor Hansweert