

Toekomstige langjarige suppletiebehoefte



Toekomstige langjarige suppletiebehoefte

J.G. de Ronde

Opdrachtgever: RWS Waterdienst

Toekomstige langjarige suppletiebehoefte

J.G. de Ronde

Rapport Z4582.24

September 2008

Samenvatting

Op dit moment is het beleid om het kustfundament mee te laten groeien met de zeespiegelstijging. Hiertoe wordt jaarlijks gemiddeld 12 Miljoen m³ zand gesuppleerd voor het onderhouden van het morfologische kuststelsel van Nederland. De vraag is nu of deze hoeveelheid zand voldoende is om het kustfundament daadwerkelijke mee te laten groeien met de zeespiegelstijging. Als uitgangspunt voor deze vraag is de zandbehoefte voor de planperiode na 2012 genomen.

Meestijgen met de zeespiegel

In eerdere studies (o.a. Mulder, 2000) en voor het huidige beleid is het uitgangspunt gehanteerd dat het Nederlandse kustfundament mee moet stijgen met de zeespiegel. In tabel 1 staan de hoeveelheden zand weergegeven afhankelijk van de te hanteren zeespiegelstijging. Als ondergrens is de gemiddelde zeespiegelstijging gedurende de periode 1900-2007 genomen (18 cm/eeuw). Berekening van de gemiddelde zeespiegelstijging over de periode 1950-2007 levert een waarde op van 20 cm per eeuw. Dit komt overeen met de huidige zeespiegelstijging waar het KNMI vanuit gaat (KNMI, 2006, 20cm/eeuw). Als middenwaarde voor de huidige zeespiegelstijging is dan ook 20cm/eeuw aangehouden. Als bovengrens voor de huidige zeespiegelstijging is 30 cm/eeuw genomen.

Tabel 1: Zandtekort afhankelijk van zeespiegelstijging.

	Ondergrens 18cm/eeuw	Middenwaarde 20 cm/eeuw	Bovengrens 30 cm/eeuw
Meegroeien bodem Waddenzee met zeespiegelstijging	4,5	5	7,5
Meegroeien kustfundament met zeespiegelstijging	7,5	8,4	12,5
Meegroeien Wester Schelde met zeespiegelstijging	0,5	0,5	0,8
Meegroeien Kuststelsel met zeespiegelstijging	12,5	13,9	20,8

Schatting verliesposten van het Kuststelsel

In tabel 2 staan de mogelijke verliesposten gegeven. De grootste post komt voort uit het na-ijlen van het morfologische systeem op de afsluitingen van Zuiderzee. Door deze afsluitingen is een nieuwe situatie met een nieuw morfologisch evenwicht ontstaan. Het morfologische systeem heeft echter geruime tijd nodig om dit nieuwe evenwicht te bereiken. In het Friesche zeegat is dit evenwicht al voor een groot gedeelte bereikt. Echter voor het Vlie en vooral voor het kombergingsgebied van het Marsdiep is dit niet het geval. Het bereiken van dit evenwicht zou bij de huidige en niet veranderende zeespiegelstijging minimaal nog enkele honderden jaren in beslag nemen. Gegeven een versnellende zeespiegelstijging is het zeer de vraag of dit evenwicht ooit bereikt zal worden. De voor de kombergingsgebieden Vlie en Marsdiep benodigde sedimenthoeveelheden worden door de natuur onttrokken aan de buitendelta's en omliggende eilandkoppen, inclusief de kop van Noord Holland. Deze zandtransporten zijn voor de komende 10 jaar in te schatten op 3 miljoen m³/jaar.

Tabel 2: Verliesposten van het Kustsysteem in de planperiode vanaf 2012.

Winst en verliesposten van het Kustsysteem	Ondergrens	Middenwaarde	Bovengrens
Naijlings effect afsluiting Zuiderzee, Lauwerszee	1	3	5
Stortbeleid Rotterdamse vaargeul	0,8	0,8	2,3
Geulonderhoud Wadden via zandwinning	0	0,6	0,6
Zandwinning Westerschelde	0	0	2,6
Verlies kustfundament t.g.v. zandwinning Zeeschelde	0	1	1,5
Bodemdaling Wadden en bijbehorende Noordzeekustzone door gaswinning	1,1	1,1	3,2
Bodemdaling Wadden door zoutwinning	0	0	1,5
Handhaving veiligheid 7 kustplaatsen	0	0	0,1
Invloed Zwakke Schakels	0	0	0,6
Sub-Totaal verliesposten	2,9	6,5	17,4

Een tweede verliespost betreft het vaargeulonderhoud. Het zand dat uit de vaargeul gebaggerd wordt om deze op diepte te houden, wordt soms verkocht op de zandmarkt. Op deze wijze wordt het vaargeulonderhoud voordelig uitgevoerd. Als bij vaargeulonderhoud zand vrijkomt dat niet geschikt is voor de zandmarkt, door bijvoorbeeld een te hoog slibgehalte, dan wordt dit soms buiten het kustfundament gestort. In beide hierboven beschreven gevallen, wordt dus zand onttrokken aan het kustfundament¹. Rijkswaterstaat is zich hiervan bewust en heeft inmiddels acties ondernomen om te komen tot een optimum met betrekking tot vaargeulonderhoud en het op peil houden van het kustfundament. Zo worden diverse zandwinvergunningen niet verlengd, wordt gestudeerd op een nieuwe loswal en worden kosten/baten analyses voor andere werkwijzen gestart. De komende jaren echter, zal er nog steeds zand/slib uit de vaargeulen gehaald worden, die niet terug gestort wordt in het kustfundament. Het betreft de volgende geulen:

- Euro-Maasgeul: gemiddeld 2,3 miljoen m³/jaar. Het streven is dit in 2012 terug gebracht te hebben tot 0,8 miljoen m³/jaar.
- Waddengeulen: 0,6 miljoen m³/jaar. Een kosten/baten analyse moet inzichtelijk maken of tot volledige afbouw besloten wordt.

In totaal wordt dus door vaargeulonderhoud in de planperiode vanaf 2012 1,4 miljoen m³/jaar aan het kustfundament onttrokken.

Zandwinning is een derde post die in beschouwing genomen moet worden. In de Westerschelde en de Zeeschelde (Belgisch grondgebied) wordt, los van eventueel vaargeulonderhoud, zand gewonnen. In de Westerschelde bedraagt deze gemiddeld 1,9 miljoen m³/jaar, tot op heden is het mogelijk maximaal 2,6 miljoen m³/jaar te winnen. Deze 2,6 miljoen m³/jaar is als bovengrens aangehouden. De zandwinning in de (Belgische) Zeeschelde zorgt voor een additioneel verlies in de (Nederlandse) Westerschelde van nog eens 1 miljoen m³/jaar. De inzet van RWS is dat de zandwinning in de Westerschelde in 2012 volledig afgebouwd zal zijn; over de Zeeschelde dienen nadere afspraken met België gemaakt te worden. Indien deze afspraken niet gemaakt worden, dan zal na 2012 dus nog gemiddeld 1 miljoen m³/jaar aan zand aan het kustfundament onttrokken worden.

De gaswinning in en rondom de Waddenzee veroorzaakt bodemdaling in het kustsysteem. Voor de komende jaren betreft dit een volumeverandering van 1,1 miljoen m³/jaar. Als alle mogelijke toekomstige winningen, worden meegenomen is dit zelfs 3,2 miljoen m³/jaar, een bovengrens².

¹ Hier worden alleen die vaargeuldelen beschouwd die deel uitmaken van het kustfundament of de zanddelendesystemen.

² Bij het verlenen van een concessie voor het winnen van gas, wordt tegenwoordig in een convenant opgenomen dat de bodemdaling die dit in het kustsysteem veroorzaakt middels suppleties in het kustfundament gecompenseerd moeten worden.

Samenvoeging van de hoeveelheden voor de compensatie van zeespiegelstijging en de compensatie voor de verliesposten: naijlings effect afsluiting Zuiderzee, bagger en stort regime havengeul Rotterdam, zandwinning en de invloed van veiligheid kustplaatsen, Zwakke Schakels en Maasvlakte geeft een zandtekort tussen de 15 en 38 miljoen m³/jaar (tabel 3). Als middenwaarde volgt hieruit een hoeveelheid van ongeveer 20 miljoen m³/jaar.

Tabel 3: Zandtekorten ten gevolge van zeespiegelstijging en winst en verliesposten van het kuststelsel voor de planperiode vanaf 2012.

Suppletiebehoefte	Ondergrens	Middenwaarde	Bovengrens
Meegroei met zeespiegelstijging	12,5	13,9	20,8
Verliesposten Kuststelsel	2,9	6,5	17,4
Totale suppletiebehoefte	15,4	20,4	38,2

Opdrachtgever	RWS Waterdienst
Titel	Toekomstige langjarige suppletiebehoefte

Samenvatting

In dit rapport is een analyse gemaakt van de benodigde hoeveelheid zand voor het op peil houden van het Nederlandse kustfundament en daarmee ook de Waddenzee en Westerschelde. Hiertoe zijn onder andere de volgende posten beschouwd:

- Zandbehoefte voor het laten meestijgen van het kuststelsel met de huidige zeespiegelstijging
- Compensatie van het bagger en stort beleid voor de Rotterdamse haven, waarbij een hoeveelheid zand buiten het kuststelsel gebracht wordt
- Compensatie voor het vaargeulonderhoud waarbij het gewonnen zand op de wal verkocht wordt
- Compensatie voor zand dat binnen het kuststelsel gewonnen wordt ten behoeve van de markt
- Compensatie van de bodemdaling ten gevolge van de gaswinning rondom de Waddenzee

De totale hoeveelheid voor de toekomstige langjarige suppleties komt daarmee op een hoeveelheid tussen de 15 en 38 miljoen m³/jaar. De middenwaarde komt uit op 20 miljoen m³/jaar.

Referenties

Ver	Auteur	Datum	Opmerk.	Review	Goedkeuring
	J.G. de Ronde	Oktober 2008		A.v.d. Spek	T.Schilperoort

Projectnummer	Z4582.24
Trefwoorden	Zandsuppleties; Kustlijnzorg; jaarlijks suppletievolume
Aantal bladzijden	36
Classificatie	Geen
Status	Definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Meegroeien met de zeespiegelstijging: de zandbehoefte van het Kustsysteem	4
2.1	Zandbehoefte ten gevolge van zeespiegelstijging	4
2.2	Zandvraag van de Waddenzee veroorzaakt door de afsluiting van de Zuiderzee en de Lauwerszee	6
2.2.1	Afsluiting Zuiderzee.....	6
2.2.2	Afsluiting Lauwerszee	8
2.3	Overige verliesposten van het kustsysteem.....	8
2.3.1	Onttrekking van zand aan het kustfundament door onderhoud aan de Eurogeul, Maasgeul en IJgeul	9
2.3.2	Zandwinning	11
2.3.3	Bodemdaling Waddenzee door gaswinning en zoutwinning	13
2.4	Handhaving veiligheid kustplaatsen	15
2.5	Invloed Zwakke Schakels op suppletiebehoefte	15
2.6	Invloed Maasvlakte2 op suppletiebehoefte	16
3	Zandbalans Kustsysteem	17
3.1	Nauwkeurigheid bodemgegevens	17
3.2	Zandbalans Wadden.....	18
3.3	Zandbalans Hollandse kust	19
3.4	Zandbalans Zeeuwse delta	20
3.5	Zandbalans Westerschelde (zonder monding)	23
3.6	Is de zandbalans sluitend?	23
4	Synthese zandtekorten	25
Appendices		
A	Zeespiegelstijging langs de Nederlandse Kust	30
B	Bagger- en stortgegevens Rotterdamse haven	36

1 Inleiding

Het ministerie van Verkeer en Waterstaat stelt dit jaar het eerste nationale Waterplan op. In dit plan is onder anderen een herziening van het beleid voor beheer en onderhoud van de kust voorzien.

Het doel van dit rapport is om een onderbouwing te geven van de suppletiebehoefte van het kuststelsel voor de planperiode na 2012. Hiertoe zijn de verliesposten van het kuststelsel in kaart gebracht, waarbij de totale zandbalans en de menselijke ingrepen in beschouwing zijn genomen.

Het huidige beleid wordt gestuurd op de operationele doelen ‘basiskustlijn’ en ‘kustfundament’. In het hierbij behorende uitvoeringskader is de afspraak opgenomen om jaarlijks 12 miljoen m³ zand te suppleren.

In 2005 is door Nederbragt een studie verricht naar de zandbalans van het Nederlandse kuststelsel. Hij kwam, gegeven het oppervlak van het Nederlandse kuststelsel – bestaande uit het kustfundament van de 20-m dieptelijn tot de binnenduinrand, en de gehele Waddenzee en de Westerschelde - en uitgaande van een gemiddelde zeespiegelstijging van 18 cm over de afgelopen eeuw, op een benodigd suppletievolumen van 12,5 miljoen m³ per jaar: een hoeveelheid voldoende om het gehele kuststelsel van een laagje zand te voorzien dat even dik is als de stijging van de zeespiegel. In de genoemde studie is gebruik gemaakt van gegevens tot en met 1997. Het voorliggende rapport is gebaseerd op de meest recente zandbalans (gegevens tot en met 2006) en maakt gebruik van de laatste inzichten en gegevens betreffende zandwinning, bodemdaling ten gevolge van gas- en zoutwinning en vaargeulonderhoud. Tevens worden de zandtransporten over de grenzen van het Nederlandse kuststelsel beschouwd. Dit betreft de 20-m dieptelijn, de grens tussen duinen en achterland, de grens met de rivieren en de grenzen met België en Duitsland.

Het Kustfundament, zoals omschreven in de Nota Ruimte van 2004 en de definitie van het Kuststelsel

Voor de kust als geheel wordt in de Nota Ruimte (2004) de volgende doelstelling geformuleerd: “Waarborging van de veiligheid tegen overstromingen vanuit zee met behoud van de (inter)nationale ruimtelijke waarden waarbij de gebiedspecifieke identiteit een belangrijke kernkwaliteit is.” Tevens wordt het begrip kustfundament geïntroduceerd: “Belangrijk onderdeel van de Kust is het kustfundament. Om te benadrukken dat de Kust één dynamisch systeem is, waarbinnen functies op elkaar worden afgestemd en waarbinnen samenhangend beheer noodzakelijk is, wordt een ruimtelijk begrensd kustfundament aangewezen. Het kustfundament ‘draagt’ aan de landzijde de waterkerende functie van duinen en dijken en vervult daarmee een belangrijke rol in de waterkering. Het draagt ook de natuur- en recreatiefuncties van duingebieden en kustplaatsen. In de overgangszone van nat naar droog vinden morfologische processen plaats die van belang zijn voor de vorming van strand en duinen.”

Als ontwikkelingsperspectief wordt genoemd: “Het ontwikkelingsperspectief is gericht op behoud en verbetering van het kustfundament en op sterkte houden van de zeekering. Waarborging van het dynamische zandige kuststelsel als drager van alle functies in de kustzone staat daarbij voorop. Het kabinet streeft er naar om de bestaande zandvoorraden in de kustzone en het dynamische karakter ervan te waarborgen en de morfologische processen binnen het kuststelsel zoveel mogelijk ongemoeid te laten. Uitgangspunt van het beheer van de Kust is daarom: ‘zand als

ordenend principe'. Ontwikkelingen die de natuurlijke dynamiek van het kustfundament versterken worden ondersteund. Verstening van de zandige kust is niet gewenst."

Bij het beheer van het kustfundament wordt een strategie in drie stappen gekozen:

- behoud van zand en ongehinderd transport van zand langs en dwars op de kust;
- zoveel mogelijk zandige maatregelen als ingrepen noodzakelijk zijn, en;
- alleen in het uiterste geval kan zand met harde constructies worden vastgelegd.

Met betrekking tot de begrenzingen van het kustfundament zegt de Nota Ruimte (2004): "Het kustfundament omvat het gehele zandgebied, nat én droog, dat als geheel van belang is als drager van functies in het kustgebied. Het kustfundament wordt als volgt begrensd:

- de zeewaartse grens bestaat uit de doorgaande NAP -20m lijn (20 meter onder Normaal Amsterdams Peil);
- aan de landzijde omvat het kustfundament alle duingebieden én alle daarop gelegen harde zeeweringen. De landwaartse grens valt bij smalle duinen en dijken samen met de grens van de waterkering uitgebreid met de ruimtereservering voor tweehonderd jaar zeespiegelstijging en omvat daar waar de duinen breder zijn dan de waterkering het gehele duingebied."

In het zuidwesten en noordoosten wordt het kustfundament begrensd door de Belgische en Duitse grens van het Nederlands Continentaal Plat. De Waddenzee en de Westerschelde maken geen deel uit van het kustfundament.

Het kustfundament vormt een zanddelend systeem met de Waddenzee en de Westerschelde. Het geheel vormt een dynamisch systeem, waarbij het kustfundament het zand levert dat de Waddenzee en Westerschelde nodig hebben om mee te kunnen groeien met de zeespiegelstijging. Het ligt daarom voor de hand dat het waarborgen van de zandvoorraden betrekking heeft op het gehele systeem inclusief Waddenzee en Westerschelde. Dit totale systeem definiëren we als het kustsysteem. De Oosterschelde is niet meegenomen in het kustsysteem omdat dit systeem morfologisch gezien nagenoeg geen uitwisseling heeft met het kustfundament. Vanwege de drempel in de Oosterscheldekering is er vrijwel geen uitwisseling van zand tussen de buitendelta van de Oosterschelde en de Oosterschelde zelf.



Figuur 1.1: Ligging van het Nederlandse kustfundament en van het Nederlandse kustsysteem. De duinen zijn onderdeel van zowel het kustfundament als van het kustsysteem

In Hoofdstuk 2 worden naast de suppletiebehoefte, de menselijke ingrepen in het systeem beschreven, inclusief de verwachtingen voor de toekomst. Deze ingrepen betreffen suppleties, zandwinning, baggerwerkzaamheden en stortingen in het kustsysteem.

De in het verleden opgestelde zandbalansen worden behandeld in Hoofdstuk 3, waarbij tevens aandacht besteed wordt aan de nauwkeurigheid van de balansen. Vervolgens wordt de vraag behandeld of de zandbalans sluitend is, of dat er nog grote onbekende winst of verliesposten zijn.

Hoofdstuk 4 geeft ter afsluiting een overzicht van de verliesposten van het Nederlandse kustsysteem en geeft een voorstel voor de langjarige suppletiebehoefte voor de planperiode na 2012.

2 Meegroeien met de zeespiegelstijging: de zandbehoefte van het Kuststelsel

2.1 Zandbehoefte ten gevolge van zeespiegelstijging

Zolang de zeespiegel stijgt en/of de bodem daalt, ontstaat in het kustfundament en in de getijdebekkens voortdurend nieuwe ruimte voor het bergen van sediment. In de getijdebekkens wordt de nieuw ontstane ruimte opgevuld met zand dat vanuit het kustfundament wordt aangevoerd. Echter, natuurlijke aanvoer van zand naar het kustfundament zelf is vrijwel afwezig. Om ook hier de bergingsruimte te voeden welke ontstaat door de zeespiegelstijging én door afvoer van zand naar getijdebekkens, zijn suppleties nodig in het kustfundament. De vraag hierbij is: welk volume is hiervoor nodig?

De bergingsruimte welke ontstaat door relatieve zeespiegelstijging kan worden berekend uit de totale oppervlakte van het samenhangende zanddelende systeem: het kustfundament, de Waddenzee en de Westerschelde. Deze hebben gezamenlijk een oppervlak van ongeveer 7000 km². Als vuistregel geldt dat voor 1 millimeter zeespiegelstijging zo'n 7 Mm³ aan zandsuppleties nodig is om de drie gebieden te laten meegroeien met de zeespiegelstijging.

Om het Nederlandse kuststelsel in stand te houden dient dit mee te groeien met de zeespiegelstijging. Het kuststelsel bestaat uit het kustfundament, de Waddenzee en de Westerschelde. Dit meegroeien geschiedt door natuurlijke herverdeling van het gesuppleerde zand in het kuststelsel. Het betreft de "kustlijnverzorging suppleties", gericht op het handhaven van zowel de basiskustlijn (BKL) als het kustfundament. In de Waddenzee en Westerschelde wordt niet gesuppleerd. Zij krijgen hun zandaanvoer via de natuurlijke herverdeling vanuit het kustfundament. De BKL suppleties kunnen gezien worden als een bijzondere vorm van kustfundament suppleties omdat er twee doelen mee gediend worden, het onderhoud van de BKL én het kuststelsel. De suppletiebehoefte is aldus gedefinieerd als oppervlakte kuststelsel maal zeespiegelstijging.

In appendix A is de meest recente analyse (Dillingh, 2008) opgenomen van de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust. Hieruit blijkt dat over de periode 1900-2007 voor de 6 meest betrouwbare Nederlandse peilmeetstations, een stijging van de gemiddelde zeespiegel van 18,7 cm per eeuw is opgetreden. Een vergelijkbare berekening over de periode 1950-2007 levert een historische zeespiegelstijging van 20 cm per eeuw op.

In Nederbragt (2005) is voor de zeespiegelstijging 18 cm per eeuw aangehouden. De laatste KNMI-rapportage *Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands* geeft voor de huidige zeespiegelstijging een waarde van 20 cm per eeuw. Voor de toekomstige zeespiegelstijging zijn door het KNMI 4 scenario's uitgewerkt (tabel 2.1). De absolute zeespiegelstijging in 2050 aan de Nederlandse kust varieert in de scenario's tussen de 15 cm en 35 cm ten opzichte van het referentiejaar 1990. Omstreeks 2100 varieert de stijging tussen de 35 cm en 85 cm. De zeespiegel blijft na 2100 verder stijgen en de stijging bedraagt in 2300 tussen de 1 m en de 2,5 m ten opzichte van 1990.

Tabel 2.1: Scenario's voor zeespiegelstijging volgens het KNMI.

Sea level sensitivity year (ΔT_G since 1990)	low scenario		high scenario	
	2050 (+1 °C)	2100 (+2 °C)	2050 (+2 °C)	2100 (+4 °C)
Low	15	35	20	40
High	25	60	35	85

De benodigde hoeveelheden suppletiezand uitgaande van verschillende scenario's voor zeespiegelstijging staan in tabel 2.2. Bij een stijging van 18 cm/eeuw is een hoeveelheid van 12,5 miljoen m³/jaar nodig om het gehele kuststelsel met de zeespiegel mee te laten groeien. Indien uitgegaan wordt van 20 cm/eeuw wordt deze 13,9 miljoen m³/jaar, een extra benodigde hoeveelheid van 1,4 miljoen m³/jaar. Anticiperen op de toekomst met een gemiddeld scenario van 60 cm/eeuw betekent ongeveer 30 miljoen m³/jaar extra.

Tabel 2.2: Suppletiebehoefte (miljoen m³/jaar) bij verschillende beleidsscenario's voor zeespiegelstijging. De oppervlaktes van de verschillende onderdelen van het kuststelsel zijn gegeven in km².

Subsysteem	Oppervlakte	Suppletiebehoefte (Mm ³ /jaar) bij verschillende scenario's voor zeespiegelstijging					
		18 cm/eeuw	20 cm/eeuw	35 cm/eeuw	60 cm/eeuw	85 cm/eeuw	100 cm/eeuw
Kustfundament	4181	7,5	8,4	14,6	25,1	35,5	41,8
Waddenzee	2497	4,5	5,0	8,7	15,0	21,2	25,0
Westerschelde	253	0,5	0,5	0,9	1,5	2,2	2,5
Kuststelsel	6931	12,5	13,9	24,3	41,6	58,9	69,3

Het huidige beleid gaat uit van een zeespiegelstijging van 18 cm/eeuw en niet van een verwachte zeespiegelstijging. De gedachte hierachter is dat we voor wat betreft de zandhoeveelheid van het kuststelsel niet vooruit hoeven te lopen op de zeespiegelstijging en het voldoende is om deze alleen bij te houden. Niet alleen de toekomstige zeespiegelstijging maar ook de huidige zeespiegelstijging is met onzekerheden omgeven. De jaarlijkse fluctuaties in de gemiddelde zeespiegelstanden langs de Nederlandse kust zijn bijvoorbeeld meer dan 10 cm. Ook in de internationale literatuur is nog geen consensus over een waargenomen toename van de zeespiegelstijging. Dit wil echter niet zeggen dat die toename er op dit moment nog niet is. Zelfs als de zeespiegelstijging is toegenomen zal het door de grote jaarlijkse fluctuaties één of meerdere decades duren voordat deze statistisch significant is en aangetoond kan worden. Een voorbeeld: een versnelling van de zeespiegelstijging die begint in 2000 geeft in 2010 al een extra stijging van 7 cm per eeuw (hierbij is uitgegaan van een parabolische kromme die 60 cm extra zeespiegelstijging geeft tussen 2000 en 2100, boven op een stijging van 20 cm per eeuw in 2000. De samengestelde curve laat in 2010 een helling zien van 27 cm/eeuw). Dit soort krommen kunnen op vele verschillende manieren getrokken worden, maar geven allemaal hetzelfde aan: er is een gerede kans, gegeven een toenemende zeespiegelstijging tussen nu en 2100, dat de zeespiegelstijging op dit moment groter is dan die van de afgelopen 100 jaar en dus groter is dan 18 cm per eeuw.

In het voorliggende rapport wordt dan ook niet meer uitgegaan van een zeespiegelstijging van 18 cm per eeuw, maar van 20 cm per eeuw. Dit is ook de waarde die door het KNMI gehanteerd wordt (KNMI, 2006). Deze 20 cm per eeuw dient als een conservatieve schatting beschouwd te worden.

2.2 Zandvraag van de Waddenzee veroorzaakt door de afsluiting van de Zuiderzee en de Lauwerszee

2.2.1 Afsluiting Zuiderzee

Door de afsluiting van de Zuiderzee (1926-1932) hebben zich drastische veranderingen voorgedaan in de morfologie van het Marsdiep bekken, de buitendelta ervan en de aanliggende kusten. Grote zandverliezen zijn opgetreden langs de kusten van Texel en Noord-Holland door geulverdieping en geulverplaatsing. Ook heden ten dage behoort het kustonderhoud in deze regio tot de meest intensieve binnen het Nederlandse kuststelsel.

Door natuurlijke processen zal het Marsdiep bekken en deels ook het Vlie bekken zich willen aanpassen totdat een natuurlijk evenwicht bereikt is met een oppervlak aan wadplaten, dat vergelijkbaar is met de overige wadden. Zonder versnelling van de zeespiegelstijging zal dit evenwicht pas na honderden jaren tot 1000 jaar bereikt worden. Uit studies is gebleken dat de sedimentbehoefte die ontstaan is door de afsluiting van de Zuiderzee ongeveer 0,5 tot 1,5 miljard m³ groot is (van Geer, 2007). De huidige sedimentimport door het Marsdiep, richting de Waddenzee, wordt geschat op 5 tot 6 miljoen m³/jaar (Elias, 2006a,b). Dit transport is het resultaat van twee mechanismen: (1) de sedimentbehoefte welke is ontstaan door de afsluiting van de Zuiderzee en (2) door de relatieve zeespiegelstijging, die ook tot een grote zandvraag leidt vanuit de Waddenzee. De zandvraag door zeespiegelstijging is bij de huidige zeespiegelstijging van 20 cm per eeuw voor het Marsdiep 1,4 miljoen m³/jaar. De zandvraag door de naijlingseffecten van de afsluiting van de Zuiderzee kan dan geschat worden door deze waarde af te trekken van de geschatte sedimentimport door het Marsdiep van 5 á 6 miljoen m³/jaar. Dit geeft 3,5 á 4,5 miljoen m³/jaar en laat zien dat de effecten van de afsluiting van de Zuiderzee nog verre van uitgewerkt zijn.

In april 2007 is een workshop gehouden met de betrokken Nederlandse experts over de suppletiebehoefte van het Nederlandse kuststelsel, waar o.a. de volgende conclusie is getrokken ten aanzien van deze extra sedimentbehoefte van de gehele Waddenzee ten gevolge van de afsluiting van de Zuiderzee (Nederbragt, 2007):

Het extra benodigde zand om de aanpassing aan de aanleg van de Afsluitdijk te compenseren bedraagt 3 miljoen m³ per jaar. Dit getal wordt verkregen uit het verschil in waargenomen sedimentatie van de Waddenzee (+7,5 miljoen m³/jaar, over de periode 1973-1997) en de voor de Waddenzee (theoretisch) benodigde hoeveelheid zand om mee te groeien met zeespiegelstijging (4,5 miljoen m³/jaar).

NB Bovengenoemde getallen zijn gebaseerd op gegevens tot en met 1997. Uit een zandbalansstudie op basis van gegevens tot en met 2006 (van Koningsveld et al., in voorbereiding), volgt een sedimentatie van 6,5 á 8,5 miljoen m³/jaar, afhankelijk van de gebruikte analyseperiode. Dit stemt goed overeen met de bovengenoemde 7,5 miljoen m³/jaar.

Uit de studie van Elias (Elias, 2006a,b) blijkt een extra zandtransport naar het Marsdiep van 3,5 á 4,5 miljoen m³/jaar. De conclusie van de workshop, waarin de resultaten van Elias zijn meegenomen, is een extra zandtransport van 3 miljoen m³/jaar. In dit rapport worden de resultaten van de workshop aangehouden. De onzekerheid in de zandbalans van de Waddenzee kan gesteld worden op +/- 2 miljoen m³/jaar, vergelijkbaar met die voor de Zeeuwse Delta (zie par. 3.4).

Wat zijn de gevolgen van deze sedimentachterstand en wat gebeurt er als er in de toekomst geen extra suppleties uitgevoerd gaan worden?

Wanneer we het Marsdiep beschouwen is er na de afsluiting van de Zuiderzee geen verslechtering ontstaan van de morfologische situatie. Voor de afsluiting was de westelijke Waddenzee een relatief diep gebied met weinig plaatareaal. Na de afsluiting bleef de situatie vergelijkbaar, hoewel door de vergroting van de getijamplitude het inter-getijde areaal iets toegenomen is en het kwelderareaal boven gemiddeld hoogwater iets afgenomen is. De verwachting is dat het plaatareaal na de afsluiting door natuurlijke processen uiteindelijk zal toenemen. In de huidige situatie volgt dat echter nog niet uit de waarnemingen.

Voor de buitendelta en de koppen van Noord Holland en Texel is er wel sprake van grote meetbare effecten. Na 1933 is er ongeveer 200 miljoen m³ sediment uit de buitendelta verdwenen (Elias, 2006a,b) en in de Waddenzee (Marsdiep en Vlie) terecht gekomen. Het huidige volume van de buitendelta van het Marsdiep bedraagt ongeveer 400 miljoen m³. Aangezien het getijvolume groter is geworden na de afsluiting is het evenwichtsvolume van de buitendelta zelfs groter geworden. Vanwege de grote netto zandtransporten naar de Waddenzee lukt het de buitendelta niet om naar dit evenwicht toe te groeien.

Gegeven een continuering van de huidige sedimenttransporten door het Zeegat van Texel (wat aannemelijk is) en een continuering van de huidige suppletie strategie, waarbij ongeveer 2 miljoen m³/jaar gesuppleerd wordt langs de koppen van Noord-Holland en Texel is het waarschijnlijk dat de buitendelta in de komende 50-70 jaar zal halveren. Het effect hiervan is een toename van de erosie van de kop van Noord-Holland en van de kop van Texel. Deze erosie zal tegengegaan worden met suppleties.

De afname van de buitendelta heeft nog drie belangrijke consequenties:

1. Toename van de hydraulische randvoorwaarden. De golfremmende werking neemt af en de veiligheid van de koppen van Noord Holland en Texel zal daardoor dreigen af te nemen. Door middel van de 5-jaarlijkse toetsingen zal dit aan het licht komen en de dreigende afname van de veiligheid zal aangepakt worden middels duin- en dijkversterkingen.
2. Het golfklimaat vlak voor de kust verandert. De verdeling van de golfenergie over de verschillende richtingen zal veranderen. In de huidige situatie worden golven uit het westen tot noordwesten meer gereduceerd. Bij dit veranderde golfklimaat hoort een ander evenwicht en een andere ligging van de kust, waardoor erosie/sedimentatie van de kust zal veranderen.
3. Het oppervlakte plaatareaal van de buitendelta neemt af, waardoor een vermindering van de natuurwaarde optreedt. Handhaving van de instandhoudingsdoelstellingen wordt daarmee een probleem.

Om deze problemen te voorkomen is het raadzaam, zoals ook in een expert-workshop van april 2007 is geconcludeerd, om de buitendelta van het Marsdiep en de omliggende kustgebieden te voorzien van een extra suppletiehoeveelheid van 3 miljoen m³/jaar. Gezien de onzekerheden in de gehanteerde getallen kunnen ondergrens en bovengrens op respectievelijk 1 en 5 miljoen m³/jaar gezet worden.

2.2.2 Afsluiting Lauwerszee

De afsluiting van de Lauwerszee heeft een vergelijkbaar effect veroorzaakt, maar op kleinere schaal. De afsluiting heeft ongeveer een derde van het oppervlak van de vloedkom weggenomen, waardoor het getijprisma met dezelfde orde is afgenomen. Dit heeft een sedimentvraag veroorzaakt in het bekken van orde 30 miljoen m³. Uit analyse van de bodemgegevens blijkt dat er in de periode 1970-1997 een totale sedimentimport van 43 miljoen m³ is opgetreden, die tot een afname van geulvolume van ongeveer 29.5 miljoen m³ en een toename van plaatvolume van ongeveer 13.5 miljoen m³ heeft geleid. Zowel het verloop van de waargenomen sedimentatie in het bekken als modelsimulaties suggereren dat de invloed van de afsluiting nu bijna is uitgedempt.

Op de langjarige suppletiebehoefte heeft de afsluiting van de Lauwerszee een veel kleiner effect dan de afsluiting van de Zuiderzee. Dit komt in de eerste plaats doordat de veroorzaakte sedimentvraag veel kleiner is. Daarbij komt dat de afsluiting van de Lauwerszee tot een afname van het getijprisma van het Friesche Zeegat heeft geleid (de afsluiting van de Zuiderzee leidde tot een vergroting van het getijprisma van het Zeegat van Texel). Bij het afgenomen getijprisma van de Zoutkamperlaag hoort een kleiner evenwichtsvolume van de buitendelta, waardoor er een zandoverschot in de buitendelta ontstaat. Dit zandoverschot is ongeveer even groot als de zandhonger in het bekken (32 miljoen m³ volgens de empirische relaties). Het zeegatsysteem, bestaande uit de buitendelta en het bekken, vormt dus ongeveer een sluitend zanddelend systeem. Er is daardoor geen grootschalige erosie van de eilandkoppen opgetreden. Hierdoor, en door het feit dat het nieuwe evenwicht nagenoeg bereikt is heeft de afsluiting van de Lauwerszee geen invloed op de toekomstige suppletiebehoefte. Door de afname van de buitendelta zullen de golfstrandvoorwaarden aan de kust wat zijn toegenomen. Deze toename is echter gering en vindt niet plaats op plekken waar waterkeringen liggen.

Conclusie afsluiting Zuiderzee en Lauwerszee:

In overeenstemming met de uitkomsten van de workshop van april 2007 wordt een verhoging van de suppletiebehoefte voorgesteld van 3 miljoen m³/jaar vanwege de extra zandvraag van de Waddenzee ten gevolge van de afsluitingen van de Zuiderzee en de Lauwerszee.

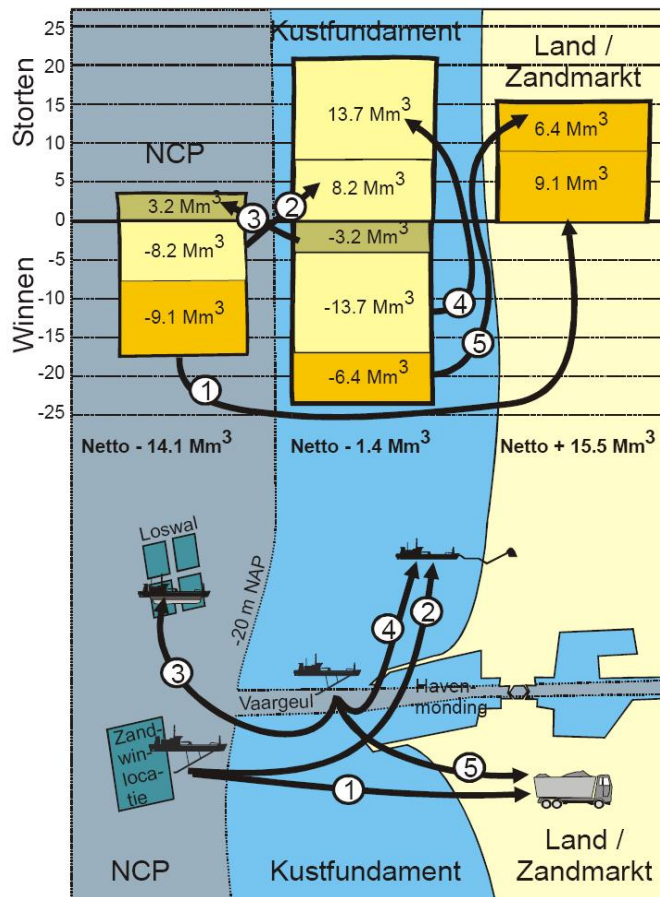
2.3 Overige verliesposten van het kustsysteem

In het kustsysteem zijn nog een aantal verliesposten aan te wijzen. Het betreffen:

- Vaargeulonderhoud; een gedeelte van het gebaggerde zand wordt buiten het kustsysteem gestort of verkocht als ophoogzand en wordt daarmee onttrokken aan het kustsysteem.
- Zandwinning uit het kustsysteem;
- Bodemdaling door gas- en zoutwinning;

2.3.1 Onttrekking van zand aan het kustfundament door onderhoud aan de Eurogeul, Maasgeul en IJgeul

In 2005 zijn door Rijkswaterstaat-DWW en RIKZ in het rapport “Vaargeulonderhoud, Zandwinning & Kustlijnzorg” (Rijkswaterstaat, 2005) de zandstromen in kaart gebracht die het gevolg zijn van menselijk handelen.



Figuur 2.1: Gemiddelde jaarlijkse zandverplaatsing door vaargeulonderhoud en zandwinning langs de Nederlandse kust over de periode 1990-2003, in miljoen m³ zand per jaar. De tekening is niet op schaal.

Toelichting bij Figuur 2.1

De drie kolommen geven de zandbalans weer voor het Nederlands Continentaal Plat (NCP), het kustfundament met inbegrip van Waddenzee en Westerschelde en de zandmarkt op het land. De getallen zijn langjarige gemiddelden ontleend aan beheer- en onderhoudsgegevens tussen 1990 en 2003;

- (1) Zandwinning op het NCP
- (2) Kustsuppleties door Rijkswaterstaat
- (3) Onderhoudsspecie die naar de loswal gaat wordt onttrokken aan het kustfundament
- (4) Vaargeulonderhoud waarbij het zand wordt teruggestort in het kustfundament
- (5) Combinatie vaargeulonderhoud en zandwinning; het zand verlaat het kustfundament voor toepassing op land

Het betreft daarbij baggeren, storten, suppleren en winning voor de handel. Vanuit deze studie (zie ook onderstaande figuur) werd geconcludeerd dat:

In de zoute rijkswateren sprake is van een spanningsveld tussen vaargeulonderhoud en kustlijnzorg. Natuurlijke processen zorgen voor aanzanding van de vaargeulen. Vaargeulonderhoud door middel van commerciële zandwinning leidt tot een afname van het zandvolume in het kustfundament. Dit compenseert Rijkswaterstaat met kustsuppleties. Er is sprake van een "zandcarrousel" rond de kust, hetgeen in strijd is met de uitgangspunten, zoals geformuleerd in de Nota Ruimte(2004).

Berekend over de periode 1990 – 2003 kwam deze zandcarrousel neer op een verliespost voor het kustfundament van 1,4 miljoen m³/jaar. De verliezen door zandwinning en het bagger- en stortregime rondom de Rotterdamse haveningang zijn in die periode groter dan de winst door de kustsuppleties. Over deze periode werd gemiddeld 8,2 miljoen m³/jaar in het kustfundament gesuppleerd, terwijl vanuit het kustfundament 6,4 miljoen m³/jaar richting zandmarkt ging en 3,2 miljoen m³/jaar vanuit het kustfundament verdween door het bagger- en stortregime rondom de Rotterdamse haven. Deze 3,2 miljoen m³/jaar betreft het zandige deel van het gebaggerde materiaal.

Tevens werd geconcludeerd:

Bij voorkeur worden toekomstige loswallen binnen het kustfundament geplaatst, de zandfractie uit onderhoudsspecie blijft dan in het kustfundament.

Euro/Maasgeul

Na het uitkomen van het rapport *Vaargeulonderhoud, Zandwinning & Kustlijnzorg* (Rijkswaterstaat, 2005) is het bagger- en stortregime rondom Rotterdam aangepast. Vóór 2007 werd het materiaal (zand, slib en zand-slib mengsels), dat vanuit de vaargeul, Europoort en Rotterdamse havens werd gebaggerd, gestort op de loswal Noordwest of op de verdiepte loswallen (zie figuur 2.1). Beide locaties liggen buiten de doorgetrokken 20 meter diepte lijn en dus buiten het kustfundament. In de vaargeul (Vak G, Maasgeul 0-5 km, zie fig. 2.2) betreft dit voornamelijk zand. Meer naar binnen toe en in de havens betreft het een mengsel van zand en slib of alleen slib. Het vervuilde slib vanuit de havens wordt niet op de loswallen gestort, maar in de Slufter. Over de periode 2001-2005 bedraagt de zandverplaatsing van het kustfundament naar buiten 2,6 miljoen m³/jaar (van Maren, 2007).

Vanaf begin 2007 wordt het zandige materiaal uit Maasgeul 0-5 km (Vak G) binnen het kustfundament gestort (gegevens Rijkswaterstaat, Dienst Noordzee). De specie uit de landwaarts van vak G gelegen deel van de Maasgeul en de havens is gedurende de jaren 2000 tot en met 2007 gestort op de loswallen buiten het kustfundament. Het gaat in totaal om gemiddeld 2,3 miljoen m³/jaar aan zandig materiaal, zie Appendix B. De verwachting is dat in de toekomst voor dit materiaal, dat naast zand ook een grote hoeveelheid slib bevat, een nieuwe loswal ontwikkeld zal worden. Een kostenbaten analyse zal moeten uitwijzen of dit rendabel is. Het streven van Rijkswaterstaat is om het buiten het kustfundament gestorte volume zand in 2012 sterk terug gebracht te hebben. In het geval de nieuwe loswal in gebruik genomen is komt de waarde op 0,8 miljoen m³/jaar, dit betreft materiaal uit vak E, de Nieuwe Maas, de Nieuwe Waterweg en de Rotterdamse havens. Hierin zit veel slib, soms met matige vervuiling, dat niet binnen het kustfundament gestort kan worden. Voor de prognose van de periode na 2012 is de genoemde 0,8 miljoen m³/jaar aangehouden. Dit is tevens de ondergrens. Als bovengrens is de som van de gemiddelde waarden over de afgelopen periode

genomen met uitzondering van Vak G van de Maasgeul. In 2008 en daarna zal geen materiaal van Vak G meer buiten het kustfundament gestort worden.

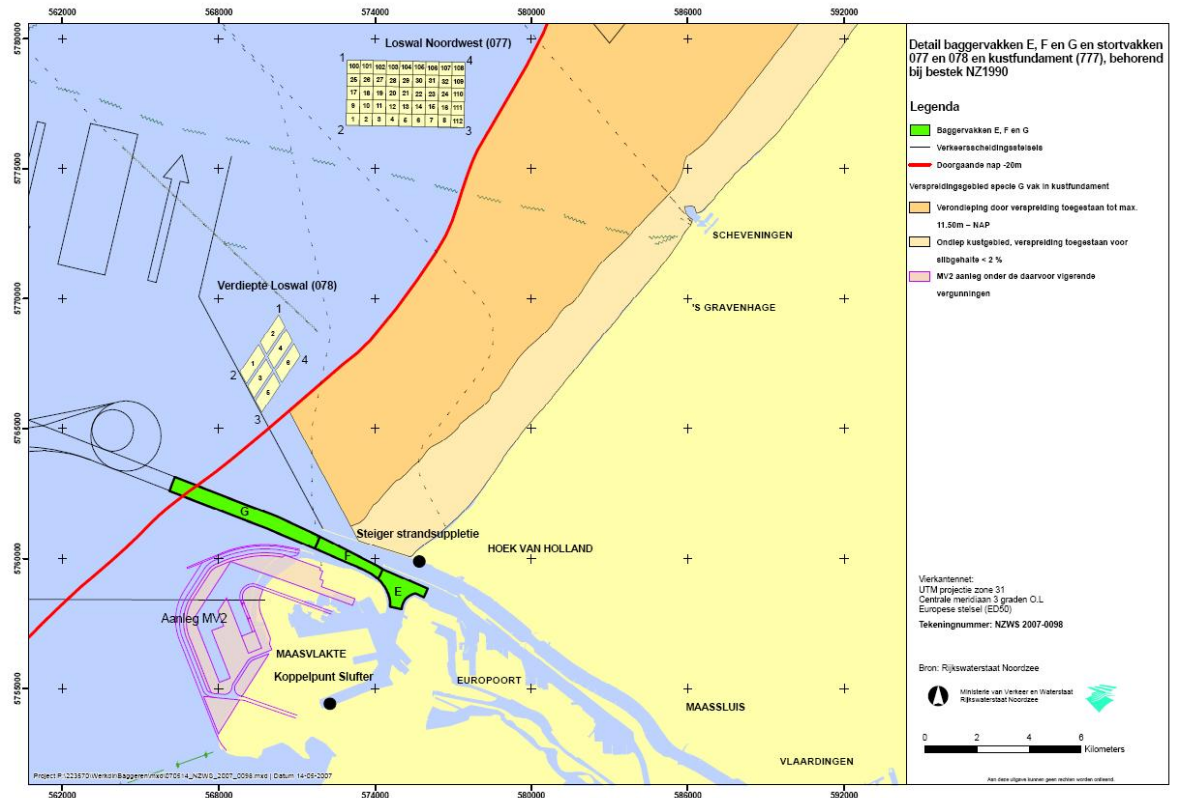


Fig. 2.2. Locatie Loswal Noordwest, en Verdiepte Loswal, ten opzichte van de doorgaande 20 m dieptelij (de rode lijn geeft de doorgetrokken 20 meter diepte lijn weer). Tevens zijn de vakken G,F en E weergegeven.

IJgeul

Het grootste deel van de IJ-geul (tussen 0 en 13 km) ligt binnen de -20 m lijn en maakt onderdeel uit van het kustfundament. De uit de eerste 5 kilometer gebaggerde specie is niet geschikt voor suppleties of ophoogzand wegens kleilagen of kleibolletjes en een te hoog slibgehalte. Deze onderhoudsspecie wordt op de loswal IJmuiden in zee gestort en blijft dus binnen het kustfundament.

Conclusie Eurogeul en IJgeul

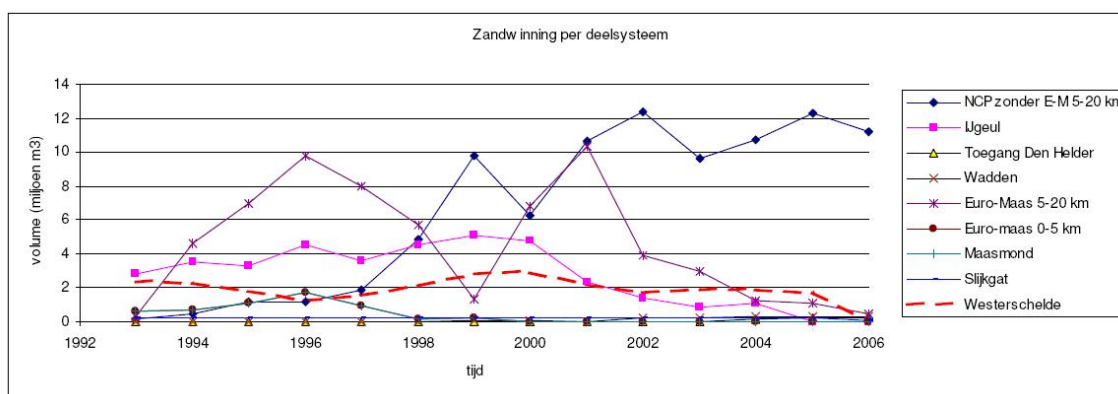
Voor de periode vanaf 2012 is voor het verlies vanwege het totale bagger- en stortregime als prognose 0,8 miljoen m³/jaar aangehouden, ervan uitgaande dat de nieuwe, binnen het kustfundament gelegen loswal, in gebruik wordt genomen. De bovengrens is op 2,3 miljoen m³/jaar gezet. Een verdere toename van de zandhoeveelheid is niet te verwachten, ook niet met de nieuwe Maasvlakte. De ondergrens is op 0,8 miljoen m³/jaar gesteld.

2.3.2 Zandwinning

In Nederland wordt het meeste zand gewonnen op het NCP, tegenwoordig tussen de 10 en 15 miljoen m³/jaar (van Maren, 2007). Tot 2000 werd dit grotendeels uit de Euro-Maasgeul 5-20 km gewonnen (onderdeel van het NCP), maar dit is sindsdien verder

zeewaarts verplaatst. Sinds 2004 is de zandwinning in de Euro-Maasgeul 5-20 km vrijwel gestopt. In de Euro-Maasgeul 0-5 km wordt geen zand gewonnen ten behoeve van de zandmarkt.

Van de gebaggerde hoeveelheid zand in de IJgeul was een groot volume bestemd voor de zandhandel. In de periode 1990 – 2003 is in totaal 46,3 miljoen m³ ophoogzand gewonnen. Per jaar is dat gemiddeld 3,3 miljoen m³. Sinds 2004 is deze winning in de IJgeul gestopt. In de figuren 2.3 en 2.4 staan de zandwinhoewelheden weergegeven over de periode 1993 – 2006.



Figuur 2.3: Zandwinning in Nederland. (van Maren, 2007)

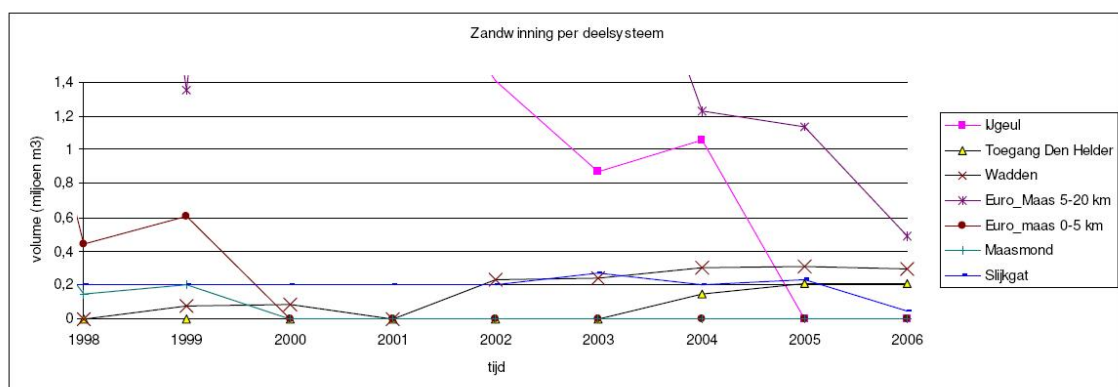


Fig. 2.4 Zandwinning in Nederland, detail (van Maren, 2007)

Een belangrijke post is de Westerschelde, waar tegenwoordig rond de 2 miljoen m³/jaar wordt gewonnen (1,9 miljoen m³/jaar over de periode 2001-2005). Het maximale volume, dat via concessies gewonnen mag worden, bedraagt nu 2,6 miljoen m³/jaar. De inzet van RWS is dat de zandwinning in de Westerschelde in 2012 volledig afgebouwd zal zijn. Als middenwaarde is daarom 0 aangehouden. In het verleden werd nog op kleinere schaal zand gewonnen (geulonderhoud) in het Slijkgat in de Haringvlietmonding bij Goeree (0,2 miljoen m³/jaar over de periode 2001-2005), deze is echter nu afgebouwd. In de Waddenzee is de zandwinning de laatste jaren toegenomen. Het zand dat vrijkomt bij het geulonderhoud wordt hier op de wal verhandeld. Gedurende de periode 2001 - 2005 bedroeg deze nog 0,3 miljoen m³/jaar en gedurende de periode 2004 - 2006 was deze 0,4 miljoen m³/jaar. In 2006 is de winning gestegen tot 0,6 miljoen m³/jaar (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007). Een kosten/baten analyse moet inzichtelijk maken of tot volledige afbouw besloten wordt.

Gezien de stijgende trend is 0,6 miljoen m³/jaar aangehouden als prognosewaarde voor zowel de middenwaarde als de bovenwaarde.

De zandwinning in de Zeeschelde, tussen Antwerpen en de grens met Nederland, bedroeg 1,38 miljoen m³/jaar over de periode 1995-2004 (Heacon, 2006). In dezelfde periode was er een export van ca.1 miljoen m³/jaar van de Westerschelde naar de Zeeschelde. Ook de periode 1981-1994 laat vergelijkbare getallen zien (1,6 zandwinning en 1,0 export). Deze export is hoogstwaarschijnlijk toe te schrijven aan de zandwinning in de Zeeschelde. In tabel 2.3 is deze export dan ook opgenomen als verliespost door zandwinning. Als bovengrens is de waarde van de zandwinning aangehouden.

Tabel 2.3: Overzicht van de zandwinningen (van N naar Z) die van belang zijn voor het Nederlandse kuststelsel. Als bovengrens zijn alle bovengenoemde bedragen meegenomen. Als ondergrens is aangenomen dat alle zandwinning afgebouwd wordt. In de kolom middenwaarde staan de zandwinningen in het Nederlandse kuststelsel genoemd, waarvan aangenomen kan worden dat de afbouw ervan nog geruime tijd zal duren.

Zandwinning in Mm3/jaar	Ondergrens	Midden Waarde	Bovengrens
Wadden, in combinatie met vaargeulonderhoud	0	0,6	0,6
Vaargeul IJmuiden	0	0	0
Euro-Maas geul (0-5 km)	0	0	0
Westerschelde	0	0	1,9
Zeeschelde (Belgisch grondgebied, zandtransport over de grens)	0	1	1,5
Totaal	0	1,6	4

In tabel 2.3 staat een overzicht gegeven van alle verliesposten door zandwinning. De toekomstprognose voor het verlies door zandwinning komt daarmee op 1,6 miljoen m³/jaar.

2.3.3 Bodemdaling Waddenzee door gaswinning en zoutwinning

Gaswinning

Gaswinning vindt plaats langs een groot deel van de Nederlandse kust. Bij gaswinning wordt, door de gasdrukverlaging in de poriën van de gasvoerende laag, het gesteente onder het gewicht van de bovenliggende lagen in elkaar geperst. Dit resulteert in een daling die zich tot aan het maaiveld voortzet. Daarbij ontstaat aan het aardoppervlakte een schotelvormige depressie. Deze schotels zijn in het centrum centimeters tot decimeters diep, en hebben karakteristieke stralen van enkele tot meerdere kilometers. Voor het Waddengebied (Waddenzee, Waddeneilanden en aanliggende kuststrook van de Noordzee) is de inhoud van deze dalingschotels redelijk bekend. Voor de Hollandse kust zijn er geen schattingen bekend.

In de tabellen 2.4, 2.5 en 2.6 staan voor de Waddenzee, de buiten de Waddenzee gelegen Noordzeekustzone en voor het gecombineerde gebied de volumina door gaswinning veroorzaakte bodemdaling weergegeven (NB het gaat dus om de inhoud van de dalingschotels). Alleen gaswinningen waarvoor niet al gecompenseerd wordt zijn hierin meegenomen. Bij nieuwe gaswinningen wordt namelijk in convenanten opgenomen te compenseren voor de te verwachten bodemdaling middels zandsuppleties.

In de meest recente literatuur (Hoeksema et al., 2004) staan alleen de hoeveelheden voor de Waddenzee gegeven. Voor de Noordzeekustzone moeten we terugrijpen op het IBW rapport (Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee) uit 1998. Hierin staan voor verschillende perioden (tabel 2.4) de bodemdalingshoeveelheden gegeven. De getallen voor de periode 2010-2025 geven vermoedelijk een onderschatting, omdat er na 1998 nog meer velden zijn ontdekt die in productie zullen worden genomen. In de gecombineerde tabel 2.6 is de waarde voor de periode 2000-2010 als bovengrens gehanteerd en de waarde voor de periode 2010-2025 als ondergrens en als middenwaarde. Een update van deze getallen per winlocatie lijkt dringend gewenst.

Tabel 2.4 Bodemdaling Noordzeekustzone zeewaarts van het Waddengebied gebaseerd op IBW (1998).

Bodemdaling in Mm3 (IBW, 1998)	Begin-2000	2000-2010	2010-2025
Noordzee 3 Vlie	0	2,7	0,4
Noordzee 4 Borndiep	0,2	1,3	1,3
Noordzee 5 Pinkegat	8,2	8,6	3,7
Noordzee 6 Zoutkamperlaag	0,2	4,6	1,3
Noordzee 7 Eilanderbalg	0	0	0,2
Noordzee 8 Lauwers	0	0,2	0,2
Noordzee 9 Schild	0	0,4	0,2
Noordzee 10 Eems	0	0	0
Totaal	8,6	17,8	7,3
Trend in Mm3/jaar		1,78	0,49

Tabel 2.5 Bodemdaling Waddengebied gebaseerd op Hoeksema et al., (2004).

Bodemdaling in Mm3 Periode 2004 - 2050 (Hoeksema,2004)	Waddenzee (binnen)	
	Onder grens	Bovengrens
Gebied		
Marsdiep	0,1	0,1
Eijerlandse Gat	0,1	0,1
Vlie	1	3,5
Borndiep	0,8	14,9
Pinkegat	1,9	7,6
Zoutkamperlaag	4,4	10,6
Eilanderbalg	0,1	1
Lauwers	0,7	3,8
Schild	0	0,3
Eems	17,5	19,7
Totaal	26,6	61,6
Trend in Mm3/jaar	0,6	1,4

In tabel 2.5 is aangegeven hoeveel bodemdaling er verwacht wordt in de in de Waddenzee gelegen kombergingsgebieden gedurende de periode 2004 – 2050 (Hoeksema et al., 2004). Voor het Waddenzeegebied is onderscheid gemaakt tussen bestaande velden, geplande velden en prospects (maximaal te winnen in de toekomst). Als ondergrens is de bodemdaling door bestaande velden plus geplande velden genomen, de bovengrens betreft de som van bestaande velden, geplande velden en prospects. De trendwaarden voor de Waddenzee plus Noordzeekustzone zijn gebruikt in tabel 2.6 om waarden voor het gehele gebied te verkrijgen. Deze waarden zijn in tabel 4.2 overgenomen, waarbij de middenwaarde gelijk is gesteld aan de ondergrenswaarde .

Tabel 2.6 Bodemdaling Waddengebied en aanliggende Noordzeekustzone gebaseerd op de tabellen 2.4 en 2.5 (Bij het verlenen van een concessie voor het winnen van gas, wordt tegenwoordig in een convenant opgenomen dat de bodemdaling die dit in het kuststelsel veroorzaakt middels suppleties in het kustfundament gecompenseerd moeten worden). NB De Middenwaarden zijn gelijk aan de Ondergrenswaarden.

Bodemdaling in Mm ³ /jaar		
	Onder grens	Bovengrens
Wadden Binnen	0,6	1,4
Wadden Noordzeekustzone	0,5	1,8
Trend in Mm³/jaar	1,1	3,2

Zoutwinning

Zoutwinning die leidt tot bodemdaling in de kustzone vindt, voor zover bekend, vooral plaats rondom Harlingen. Daarbij is de tot nog toe geconstateerde bodemdaling buitendijks ca. $0,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Dit is een te verwaarlozen hoeveelheid. Onlangs is echter vergunning aangevraagd voor zoutwinning onder de Waddenzee bij Harlingen. Daarbij vindt winning plaats vanaf de productielocatie via een schuine boring. Deze winning zal naar verwachting snel tot een sterke lokale daling (tot 75 cm) leiden, waarbij de volumes ordegrrootte $10\text{-}15 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ bedragen. Omdat nog onduidelijk is of deze winning doorgaat zijn de ondergrens en middenwaarde op 0 gesteld. Als bovengrens is 1,5 miljoen m^3/jaar aangehouden (winning in 10 jaar).

2.4 Handhaving veiligheid kustplaatsen

In januari 2006 heeft de Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat besloten tot het behoud van de huidige veiligheid van de buitendijks gelegen, historisch-gegroeide aaneengesloten bebouwing van 13 Nederlandse kustplaatsen. Mocht de buitendijkse veiligheid in de loop van de tijd minder worden, dan wordt de te behouden en gegarandeerde veiligheid gehandhaafd door middel van geëigende maatregelen, bij voorkeur door zandsuppleties.

Er is onderzocht wat de extra suppletiebehoefte is ten gevolge van dit nieuwe beleid (van Dongeren et al., 2008). In deze studie zijn 7 van de 13 kustplaatsen beschouwd, het betreft de minder complexe gevallen. Bij de normale scenario's voor klimaatsverandering en zeespiegelstijging is de extra suppletiebehoefte te verwaarlozen. Alleen in het geval van het bestudeerde maximumscenario (een zeespiegelrijzing van 45 cm over 50 jaar, met extra stormopzet van 40 cm en een toename van de golfhoogte van 5%) is het effect significant en in de orde van 0,1 miljoen m^3/jaar voor de 7 kustplaatsen. Als middenwaarde en ondergrens is dan ook 0 aangehouden. Voor de bovengrens is 0,1 miljoen m^3/jaar genomen.

2.5 Invloed Zwakke Schakels op suppletiebehoefte

De aanpak van de meeste Zwakke Schakels betreft een zeewaartse uitbreiding. Aan het begin en het einde van deze uitbreiding zullen in de toekomst extra suppleties nodig zijn om de koppen in stand te houden. Daarnaast worden ze aangelegd met een relatieve steile vooroever. Het aanleggen van een onderwaterprofiel tussen de -1 en de -5 m NAP is uitvoeringstechnisch lastig en dus duur en wordt daarom zoveel mogelijk

vermeden. In enkele gevallen zal ter ondersteuning van de zeewaartse uitbreiding een extra onderwateroeversuppletie uitgevoerd worden beneden de -5 meter dieptelijn. In 2006 is met de op dat moment beschikbare ontwerpgegevens een schatting gemaakt van de extra suppletiebehoefte (Wang et al., 2006). Uit deze schatting blijkt dat het tijdsgemiddelde kustlijnonderhoud bij aanleg van de voorkeursvarianten met een steil aanlegprofiel slechts beperkt groter is dan het kustlijnonderhoud zonder versterkingen. Direct na aanleg is het verschil echter wel groter. Gemiddeld over de eerste 10 jaar bedraagt het kustlijnonderhoud ongeveer 3,8 miljoen m³/jaar tegen 3,2 miljoen m³/jaar in het basisgeval. Na langere tijd wordt het onderhoud vergelijkbaar van grootte omdat er dan sprake is van een min of meer dynamisch evenwicht waarbij het effect van de initiële situatie minder merkbaar is. Indien de zeewaartse uitbreidingen bij de Zwakke Schakels aangelegd zouden zijn met een natuurlijk evenwichtsprofiel, zou de extra suppletiebehoefte 0,4 miljoen m³/jaar vergen in plaats van de 0,6 miljoen m³/jaar in geval van het steile profiel.

Dit zand mag eveneens beschouwd worden als onderdeel van het onderhoud van het kuststelsel en verhoogt daarmee niet de langjarige suppletiebehoefte. Als midden waarde en ondergrens is dan ook 0 aangehouden. Als bovengrens is 0,6 miljoen m³/jaar genomen.

2.6 Invloed Maasvlakte2 op suppletiebehoefte

Door de aanleg van Maasvlakte2 met over een groot gedeelte een zandige vooroever, inclusief een strand, is er na aanleg een onderhoudsbehoefte van 1 á 3 miljoen m³/jaar (MER MV2, 2007). De eerste 10 jaar pleegt het aanlegconsortium het onderhoud. Daarna komt dit onderhoud voor rekening van het Rijk (lees Rijkswaterstaat). Dit rapport beschouwt de zandbehoefte in de komende 10 jaar, daarom wordt de onderhoudsbehoefte van Maasvlakte2 niet meegenomen in de schattingen. Ook in de periode daarna, als Rijkswaterstaat verantwoordelijk is voor de instandhouding van het kustgebied van Maasvlakte2, kan de redenering zijn dat dit zand ten goede komt aan het kuststelsel en daarmee niet de langjarige suppletiebehoefte verhoogd. Echter hebben we het hier over mogelijk forse bedragen, waardoor het totale budget niet meer voldoende zou kunnen zijn.

3 Zandbalans Kuststelsysteem

In dit hoofdstuk worden de uitkomsten van een aantal zandbalansstudies op een rijtje gezet. Het gaat niet alleen om de hoeveelheden zand, maar eveneens om de hoeveelheden slib. Als er verder gesproken wordt over zandbalansen wordt hier eigenlijk mee bedoeld sedimentbalansen (dus zand plus slib).

Een belangrijke vraag is of de zandbalansen sluitend zijn. Dat wil zeggen, kunnen we de gemeten veranderingen in sedimenthoeveelheden verklaren door rekening te houden met alle menselijke ingrepen (baggeren, storten, suppleties, bodemdaling door winning van delfstoffen etc.), die in de beschouwde periode hebben plaatsgevonden. Een balans is niet sluitend als er na correctie voor menselijke ingrepen nog een grote winst- of verliespost overblijft.

In paragraaf 3.1 wordt eerst ingegaan op de nauwkeurigheid van de gegevens. De paragrafen 3.2 tot en met 3.5 gaan vervolgens in op de zandbalansen van de Wadden, de Hollandse kust, de Zeeuwse Delta en de Westerschelde. De vraag of de balansen sluitend zijn wordt tenslotte beantwoord in paragraaf 3.6.

3.1 Nauwkeurigheid bodemgegevens

Bij het interpreteren van bodemveranderingen moet rekening gehouden worden met de nauwkeurigheid van de bodemgegevens. Stochastische fouten zijn hierbij van minder belang, omdat aangenomen kan worden dat deze bij afdoende tijd- en ruimteschalen weggemiddeld worden. Echter, systematische fouten, karakteristiek voor bepaalde meetsystemen of opnamemethoden, kunnen de zandbalansen wél significant beïnvloeden wanneer bijvoorbeeld overgegaan wordt op nieuwe systemen of methoden welke andere karakteristieke fouten in zich hebben.

Belangrijke veranderingen in de meetsystemen zijn bijvoorbeeld (Marijs en Parée, 2004):

- De overstap van handmatige inwinning en verwerking naar geautomatiseerde systemen in 1978;
- Digitale gegevens van vóór 1985 (exacte jaartal afhankelijk van directie) zijn verwerkt als gedigitaliseerde analoge kaartbladen;
- Aanpassing van de breedte van de echoloodbundel, waardoor de diepte in reliëfrijke gebieden met 4 cm i.p.v. 15 cm moet worden gecorrigeerd (1993);
- Overstap op het LRK systeem, een op GPS gebaseerde methode voor de horizontale en verticale plaatsbepaling van het echolood in 2001. Voor deze tijd werd het getij gecompenseerd via reductiekaarten (tot 1987) of de M2-methode (1987-2001). Compensatie voor het inzinken van het schip als gevolg van de vaarsnelheid van het schip en de waterdiepte (Periplus, 2006). Deze veranderingen hebben mogelijk geleid tot een systematisch verschil van 20 cm (+ of – 20 cm).

In het geval dat een zandbalans gebaseerd is op slechts twee lodingen kan dit leiden tot zeer grote fouten. Een systematische hoogtefout van 20 cm zou voor het totale kuststelsysteem een zandverlies of winst inhouden van 1400 miljoen m³. Doordat er meerdere lodingen over meerdere jaren gebruikt worden en ook de systematische fouten niet overal dezelfde zullen zijn is de fout in de zandbalansen uitgedrukt in miljoen

m^3/jaar geringer. Voor de Zeeuwse Delta is de onnauwkeurigheid geschat op 2 miljoen m^3/jaar (Cleveringa, 2007).

De onnauwkeurigheid in de veranderingen voor het totale kuststelsel kan geschat worden op ongeveer 5 miljoen m^3/jaar en voor deelgebieden op ongeveer 2 miljoen m^3/jaar .

3.2 Zandbalans Wadden

Vooraf in het Waddengebied is de onnauwkeurigheid in de zandbalans relatief groot. De belangrijkste oorzaak hiervoor is de tijdsperiode tussen twee lodingen. Een groot gedeelte van het gebied wordt slechts één maal in de 6 jaar bemeaten. In de studie *Zandvoorraden van het Kuststelsel* (Nederbragt, 2005) is een trend bepaald voor de diverse deelgebieden zowel in de Waddenzee, de kombergingsgebieden, als de Noordzeekustzone. Alle gegevens in deze studie zijn gecorrigeerd voor menselijke ingrepen, suppleties en zandwinning. Voor bodemdaling door gaswinning is in deze studie niet gecorrigeerd. In paragraaf 2.3.3 is uitvoerig ingegaan op deze bodemdaling en de daarmee gemoeide hoeveelheden.

In tabel 3.1 wordt een overzicht gegeven van de resultaten van drie uitgevoerde zandbalansstudies. De trends in de studie *Zandvoorraden van het Kuststelsel*, (Nederbragt, 2005) zijn bepaald met behulp van gegevens over de periode 1973-1997. In latere studies zijn de periodes 1990-2005 (Elias et al., 2006) en 1980-2005 (van Koningsveld et al., 2008) beschouwd. In deze twee studies zijn geen correcties uitgevoerd voor menselijke ingrepen.

Voor het gehele Wadden gebied, inclusief de kustzone, wordt in de studie *Zandvoorraden van het Kuststelsel* (Nederbragt, 2005) een positieve trend van 0,8 miljoen m^3/jaar (tussen -4 en +10 miljoen m^3/jaar) vastgesteld. Indien ook gecorrigeerd wordt voor bodemdaling is de trend een toename met ongeveer 1,9 miljoen m^3/jaar (tussen -3 en +12 miljoen m^3/jaar). De andere twee studies komen uit op respectievelijk 1,8 en -0,9 miljoen m^3/jaar (zie tabel 3.1, waarin de correcties voor menselijke ingrepen alsnog zijn uitgevoerd). In geen van de drie studies is het Eems-Dollard gebied meegenomen.

Alle studies laten zien dat een grote hoeveelheid sediment verdwijnt uit het kustgebied richting de wadden en dat deze sedimentuitwisseling zo'n 7 miljoen m^3/jaar bedraagt (tussen de 6 á 11 miljoen m^3/jaar , uitgaande van Nederbragt, 2005). Om een zeespiegelstijging van 20 cm/eeuw bij te houden is een hoeveelheid van ongeveer 5 miljoen m^3/jaar nodig (oppervlakte Wadden is ca. 2500 km^2 , zie tabel 2.2. In de drie studies is het Eems-Dollard gebied niet meegenomen. De benodigde hoeveelheid sediment voor het Waddengebied zonder Eems-Dollard is ongeveer 4 miljoen m^3/jaar . De Waddenzee importeert dus meer sediment dan nodig is voor zeespiegelstijging. De oorzaak hiervan is in paragraaf 2.2 behandeld.

Tabel 3.1: Toe en afname van sedimenthoeveelheden volgens drie zandbalansstudies (Nederbragt, 2005), (Elias et al., 2006) en (van Koningsveld et al., in voorbereiding).

	Nederbragt,2005 1973-1997			Elias 2006c 1990-2005	Koningsveld,2008 1980-2005
	Met corr voor suppl			Zonder corr voor suppl	Zonder corr voor suppl
	Ondergrens	Trend	Bovengrens	Trend	Trend
Waddenkust					
Eems Dollard	-	-	-		
Friesche Zeegat	-1,7	-1,4	-0,7	0	-1,4
Amelander Zeegat	-1	0,1	2,7	1,3	0,3
Het Vlie	-2,3	-1,7	-0,9	-3	-1,7
Eierlandse gat	-1,2	-0,9	-0,5	-2	-0,7
Marsdiep	-5	-3,2	-2,1	-5	-4,5
Totaal Waddenkust	-10	-6,7	-0,5	-8,7	-8
Wadden					
Eems Dollard	-	-	-	-	-
Friesche Zeegat				0,7	0,8
Amelander Zeegat				1,7	1,6
Het Vlie				8,3	3,9
Eierlandse gat				-0,7	0,1
Marsdiep				2	1,2
Totaal Wadden	6	7,5	10,9	12	7,6
Waddenkust en Wadden	-4	0,8	10,4	3,3	-0,4
Correctie Suppleties	-	-	-	-2,6	-1,6
Correctie bodemdaling	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Totaal Wadden en Waddenkust	-2,9	1,9	11,5	1,8	-0,9

In geen van de drie genoemde studies is het Eems-Dollard gebied meegenomen vanwege de geringe hoeveelheid beschikbare data. In een studie ten behoeve van de MER verdieping vaargeul Eemshaven (Alkyon, 2007) is de zandbalans van het Eems-Dollard gebied wel onderzocht. Zij vonden voor het kombergingsgebied een positieve zandbalans met een trend van 1,5 miljoen m³/jaar en gecorrigeerd voor bodemdaling door gaswinning (0,43 miljoen m³/jaar, zie par. 3.4.3) komt dit neer op ongeveer 2 miljoen m³/jaar. Om de zeespiegelstijging van 20 cm/eeuw bij te houden is ongeveer een hoeveelheid van 1,0 miljoen m³/jaar nodig (oppervlakte Eems-Dollard is 485 km²). Van de kustzone behorende bij de Eems Dollard zijn geen getallen bekend.

3.3 Zandbalans Hollandse kust

Het is op dit moment erg moeilijk om een goede zandbalans voor de Hollandse kust op te stellen wegens een gebrek aan gebiedsdekkende data. Alleen het gebied vanaf het duin tot een diepte van ongeveer -5m wordt regelmatig gemeten, dit zijn de zgn. JARKUS metingen. In het gebied tussen de -5m en de -20m zijn slechts enkele lodingopnamen verricht. Deze laten zeer grote toe- en afnamen van het zandvolume zien, die niet reëel lijken (Elias et al., 2006). Het is dan ook niet mogelijk om uit deze data een betrouwbare trend te halen. In de studie *Zandvoorraden van het Kuststelsel* (Nederbragt, 2005) is, over de periode 1973-1997, een trend afgeleid van -0,4 miljoen m³/jaar met een onder- en bovengrens van respectievelijk -1,7 en +1,2 miljoen m³/jaar.

Op basis van een analyse van JARKUS-gegevens is een nieuwe zandbalans voor Noord- en Zuid-Holland opgesteld (van Koningsveld et al., in voorbereiding). Daarbij zijn twee perioden beschouwd, de periode 1964-1990 waarin nog weinig zand

gesuppleerd is en de periode 1990-2006 met regelmatige zandsuppleties. Langs de Hollandse kust is over de periode 1990-2006 gemiddeld 3,4 miljoen m³ zand per jaar aangebracht. In dezelfde tijd is het volume met 2,4 miljoen m³/jaar toegenomen. Gemiddeld over deze periode is er dus zo'n 1 miljoen m³/jaar uit de kuststrook verdwenen (van Koningsveld et al., 2008). Volgens deze studie is hiervan ongeveer 0,5 miljoen m³/jaar naar het noorden afgevoerd, richting buitendelta van het Marsdiep, en is ongeveer 0,5 miljoen m³/jaar naar het duingebied verstoven. Over de periode 1990-2005 is het volume van de duinen langs de Hollandse kust toegenomen met een hoeveelheid van ca. 100 m³ per strekkende meter (Koster, 2006). Dit komt neer op 12 miljoen m³ zand over de 120 km Hollandse kust (0,8 miljoen m³ per jaar). Gezien de nauwkeurigheid van de data komen de bedragen van 0,5 en 0,8 vrij goed overeen.

Voor de Hollandse kust is zover we kunnen nagaan de zandbalans gesloten. Een volledige analyse is pas mogelijk als er voldoende betrouwbare data zijn voor het gehele gebied tot en met de 20m dieptelijn.

3.4 Zandbalans Zeeuwse delta

In 2007 is door Alkyon een studie verricht naar de morfologische veranderingen in de Zeeuwse voordelta en de mondingen van Ooster- en Westerschelde (Cleveringa, 2008). Tevens is de kwaliteit van de topografische data onderzocht en is na screening van de gegevens een zandbalans voor het gehele Zeeuwse gebied en voor de mondingen van de Westerschelde, Oosterschelde, Grevelingen en Haringvliet opgesteld.

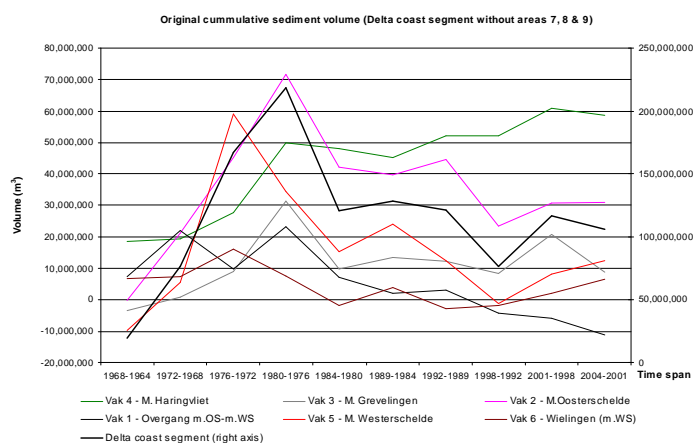
De veranderingen in de sedimentbudgetten van de (voormalige) buitendelta's zijn gerelateerd aan het grootschalige sedimenttransport langs de Deltakust. De afsluiting van het Haringvliet en de Grevelingen, de constructie van de Oosterscheldekering, de havenuitbreidingen bij Zeebrugge en bij Rotterdam en de verdieping van de Wielingen en de Euro-Maasgeul hebben de grootschalige sedimenttransporten ingrijpend gewijzigd. De afsluiting van de zeegaten heeft geleid tot een lokale herverdeling van sediment op de voormalige buitendelta's. De volledige afsluiting van de Grevelingen en de gedeeltelijke afsluiting van de Oosterschelde zijn waarschijnlijk de oorzaak van de verdieping van sommige geulen en de veranderde oriëntatie en gedeeltelijke uitbouw van de Oosterschelde buitendelta.

Een belangrijk deel van de erosie en sedimentatie op de Deltakust bestaat uit veranderingen van de bodemhoogte van minder dan 1 meter. Een deel van de in de data waargenomen kleine veranderingen bestaat uit natuurlijke veranderingen, maar een ander deel wordt veroorzaakt door de beperkte nauwkeurigheid van de gegevens. Er is een analyse uitgevoerd naar de invloed van de deze onnauwkeurigheid op de sedimentbalans, waarna de sedimentbalansen zijn gecorrigeerd en de trends in de ontwikkelingen van het sedimentvolume zijn berekend.

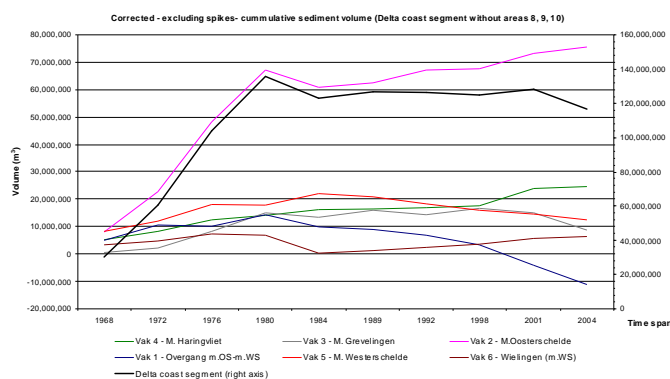
De niet-gecorrigeerde en de gecorrigeerde volumeveranderingen van de verschillende deelsystemen over de periode 1968-2004 worden weergegeven in respectievelijk figuur 3.1 en figuur 3.2. De trends zijn duidelijk verschillend. De fysisch moeilijk te verklaren pieken in de zandvolumes van de Wester- en Oosterschelde rond 1978 en 1980 zijn na de correctie grotendeels verdwenen. Voor de Oosterschelde en voor het totaal is er een duidelijke knik rond 1980. Vóór 1980 neemt het volume sterk toe en na 1980 tonen de data een lichte daling. Deze knik is op fysische gronden niet te verklaren. De sterke stijging vóór 1980 is fysisch nagenoeg onmogelijk: een volumetoename van ongeveer

140 miljoen m³ in 12 jaar is onverklaarbaar. Het is onduidelijk waar deze 140 miljoen m³ vandaan gekomen zou moeten zijn. Mogelijk hebben langjarige systematische opname- en verwerkingsfouten hierbij een rol gespeeld.

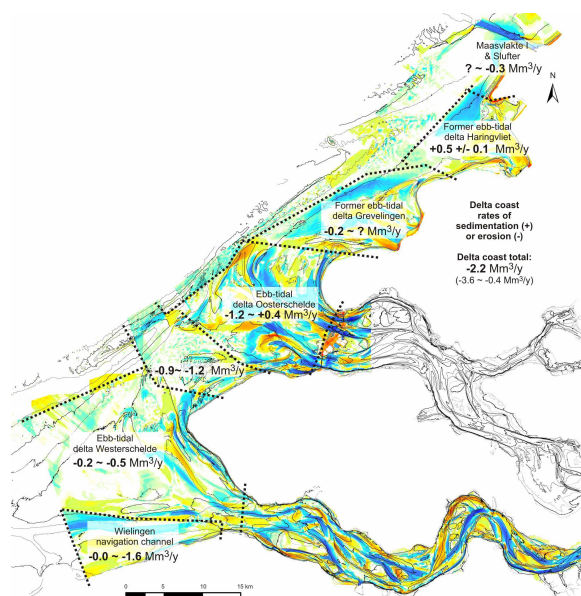
De voorlopig beste schatting van de ontwikkeling van het sedimentvolume van de Deltakust is een afname van -2,2 miljoen m³/jaar voor de periode van 1984 tot 2004. De bovengrens voor deze schatting is -0,4 miljoen m³ per jaar en de ondergrens is -3,6 miljoen m³/jaar. Deze afname voor de gehele Deltakust is opgebouwd uit veranderingen van de verschillende (voormalige) buitendelta's. In de bepaling van de volumeveranderingen is geen rekening gehouden met de sedimentsamenstelling.



Figuur 3.1: Verloop van de ongecorrigeerde zandvolumes in de tijd voor de verschillende deelsystemen en de Deltakust als geheel (uit Cleveringa,2008).



Figuur 3.2: Verloop van de gecorrigeerde zandvolumes in de tijd voor de verschillende deelsystemen en de Deltakust als geheel (naar Cleveringa,2008).



Figuur 3.3: Getallen per deelgebied in Mm^3/jaar voor erosie en sedimentatie gedurende de periode 1976/1980 tot 2004 voor het Zeeuwse Deltagebied. De gekleurde gebieden tonen erosie/sedimentatie over de periode 1964 tot 2004 (naar Cleveringa, 2008).

In de zandbalans studie van 2005 (Nederbragt, 2005) is voor de Deltakust over de periode 1973 – 1997 een verlies gevonden van $-3,9$ miljoen m^3/jaar (tussen $-10,6$ en $-0,4$ miljoen m^3 per jaar).

In 2006 (Elias, Elias et al., 2006) wordt voor hetzelfde gebied voor de periode 1991 – 2004 een trend gevonden van $-9,1$ miljoen m^3/jaar .

In de studie van Alkyon (Cleveringa, 2008) zijn een aantal gebieden uitgesloten vanwege de slechte kwaliteit van de data. Dit betreft het Belgische deel van de Westerschelde monding, de Maasvlakte en Slufter en het meest zeewaartse gedeelte van de Deltakust. Dit blijkt een forse invloed te hebben op de eindresultaten. Door weglating van deze gebieden komt de trend na 1980 zonder toepassing van datacorrecties op $-3,6$ miljoen m^3/jaar . Met datacorrecties komt de trend op de boven genoemde $-2,2$ miljoen m^3/jaar (tussen $-0,4$ en $-3,6$ miljoen m^3/jaar) over de periode van 1984 tot 2004. In dezelfde periode is gemiddeld $1,8$ miljoen m^3/jaar gesuppleerd in de Zeeuwse delta en is er gemiddeld $1,3$ miljoen m^3/jaar sediment vanuit de Westerscheldemonding naar de Westerschelde getransporteerd (Heacon, 2006). Het netto verschil van deze twee sedimentstromen, $0,5$ miljoen m^3/jaar , compenseert een deel van het natuurlijke sedimentverlies. Na correctie hiervoor komt de trend voor de Zeeuwse delta op $-2,7$ miljoen m^3/jaar (tussen $-0,5$ en $-4,5$ miljoen m^3/jaar).

Een aantal van de uitgevoerde onderzoeken komen op een forse negatieve trend in de zandbalans van de Zeeuwse delta. De studie van Alkyon (Cleveringa, 2008) heeft echter aangetoond dat dit voor een groot gedeelte veroorzaakt wordt door onbetrouwbare data. Door deze weg te laten en door te corrigeren wordt een zandbalans gevonden die licht negatief is. In paragraaf 3.6 wordt hier verder op ingegaan.

3.5 Zandbalans Westerschelde (zonder monding)

Voor de Westerschelde zijn een groot aantal zandbalansstudies verricht. De twee meest recente studies (Nederbragt en Liek, 2004) en (Heacon, 2006) laten zien dat de Westerschelde eind jaren '80 van de vorige eeuw veranderd is van een zandimporterend naar een zandexporterend systeem. Uit de laatste studie (Heacon, 2006) blijkt dat de Nederlandse Westerschelde niet alleen naar buiten, richting Westerscheldemonding, maar ook naar binnen, richting de Belgische Zeeschelde, exporteert. Over de laatste 10 jaar (1995 t/m 2004) bedraagt de export richting Zeeschelde ongeveer 0,8 miljoen m³/jaar en de export richting Westerscheldemonding 1,8 miljoen m³/jaar. In totaal exporteerde de Westerschelde dus 2,6 miljoen m³/jaar over deze periode.

3.6 Is de zandbalans sluitend?

Aan de hand van de in de voorgaande paragrafen geven getallen kan nu een zandbalans voor de gehele Nederlandse kust worden samengesteld. De betrouwbaarheid van de gebruikte bodemgegevens en de fysische systeemkennis spelen hierbij een belangrijke rol (paragraaf 3.1). Eerst zal echter een beschouwing gegeven worden over de fysische systeemkennis ten aanzien van transporten over de grenzen van het kuststelsel, hierover is het volgende te zeggen:

De grens tussen de duinen en het achterland

Bijna al het zand dat van het strand de duinen in waait blijft op en aan de zeereep liggen. Dit volume zand wordt onttrokken aan de directe actieve wig, maar niet aan het kuststelsel. Deze onttrekking bedraagt over de gehele kust ca. 1 miljoen m³ per jaar, maar betreft een verplaatsing binnen het kuststelsel. We kunnen aannemen dat er geen zandtransport over de landwaartse grens van de duinen plaatsvindt.

De grens tussen Noordzee en kuststelsel: de 20 meter dieptelijn

De zandtransporten op dieper water nemen snel af. Rond de 20m diepte liggen de zandtransporten, bepaald over 4 raaien, tussen de 0 a 15 m³/m/jaar (van Rijn, 1997). De gemiddelde waarde ligt op 7,5 m³/m/jaar met een onzekerheid van +/- 10. Langs de gehele 20 meter diepte lijn uitgaande van 350 km komt dit dan neer op -0,9 á 6 miljoen m³/jaar.

De grens met België en met Duitsland, tussen strand en 20 meter diepte lijn.

Over de netto langstransporten bij de Belgische en Duitse grens is weinig bekend. Langs de Hollandse kust bedragen de langstransporten ongeveer 0,1 tot 0,4 miljoen m³/jaar in noordwaartse richting (van Rijn, 1997; Stive e.a., 1989). Waarschijnlijk zijn de langstransporten bij de Belgische en Duitse grens van dezelfde orde van grootte, mogelijk zijn ze een factor 2 hoger. Aangezien de reststroming en de daarmee gepaard gaande netto zandtransporten vanuit het Kanaal langs België, Nederland en Duitsland richting Denemarken gaat, wordt hier aangenomen dat de zandimport bij de Belgisch-Nederlandse grens wegvalt tegen de zandexport bij de Nederlands-Duitse grens. Deze transporten zijn daarom niet opgenomen in de totale zandbalans voor de Nederlandse kust.

De Scheldegrenzen tussen België (Zeeschelde) en Nederland (Westerschelde).

In België wordt in de Zeeschelde, vlakbij de Nederlandse grens 1,3 tot 1,6 miljoen m³/jaar gewonnen (Heacon, 2006). De Zeeschelde en Westerschelde vormen morfologisch één geheel. Uit de studie van Heacon blijkt dat er ongeveer 1 miljoen

m³/jaar zand vanuit de Westerschelde verdwijnt richting Zeeschelde. Een groot gedeelte van de Belgische zandwinning in de Zeeschelde gaat dus ten koste van het Nederlandse kustfundament. Daarom wordt de export van Westerschelde naar Zeeschelde meegenomen als verliespost in de sedimentbalans, zie tabel 4.2.

Uitwisseling tussen de rivieren en het kustfundament

In de huidige situatie voeren de rivieren zeer weinig tot geen zand af richting zee. Echter, bij Hoek van Holland, de grens tussen de rivieren en het kustfundament, ligt de situatie wat ingewikkelder. Via de havenmond komen slib, maar ook zand, naar binnen door het getij en door de estuarine circulatie. De zoutwatertong stroomt over de bodem naar binnen toe en neemt daarbij slib en zand mee. Dit sediment wordt afgezet in de Rotterdamse havens, de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas. Vervolgens wordt dit materiaal door baggeren verwijderd en weer in zee gestort, deels binnen en deels buiten het kuststelsel (zie paragraaf 2.3.1). Ervan uitgaand dat de gemiddelde diepte in de havens, de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas over de tijd niet verandert, mogen we stellen dat de hoeveelheid sediment die gemiddeld over de tijd met baggerschepen naar buiten gaat ongeveer even groot is als de hoeveelheid die door fysische processen via de rivier naar binnen stroomt. Het netto transport wordt daarmee als verwaarloosbaar aangenomen.

Conclusie

In tabel 3.2 zijn de diverse transporten over de grenzen van het kuststelsel naast elkaar gezet. Vanuit de huidige fysische kennis en uitgevoerde zandbalansstudies is er geen aanleiding om verliezen te verwachten die groter zijn dan 3 miljoen m³/jaar of overschotten die groter zijn dan 6 miljoen m³/jaar. De grootste onzekerheid wordt veroorzaakt door de onzekerheid in de transporten over de 20 meter diepte lijn.

Tabel 3.2: Zandtransporten over de grenzen van het Nederlandse kuststelsel in miljoen m³/jaar. Positief is naar het kuststelsel toe.

Grens	Zandtransport over de grens in Mm ³ /jaar	
	Ondergrens	Bovengrens
Duinen - Achterland	-0,1	0
Noordzee - Kuststelsel	-0,9	6
Rivieren - Kuststelsel	-0,1	0,1
Belgie - Nederland Noordzee	0,1	0,8
Belgie - Nederland Schelde	-1,1	-0,4
Nederland - Duitsland	-0,8	-0,1
Totaal	-2,9	6,4

Gegeven de huidige fysische kennis, de uitgevoerde zandbalansstudies en rekening houdend met de betrouwbaarheid van de bodemgegevens en met menselijke ingrepen (zandwinning, baggeren en storten), mag verondersteld worden dat:

De zandbalans van het Nederlandse kuststelsel, inclusief Waddenzee en Westerschelde, min of meer sluitend is.

Er zijn geen sterke aanwijzingen dat er buiten de menselijke ingrepen grote hoeveelheden zand verdwijnen of bijkomen.

4 Synthese zandtekorten

Op dit moment is het beleid om het kustfundament mee te laten groeien met de zeespiegelstijging. Hiertoe wordt jaarlijks gemiddeld 12 Miljoen m³ zand gesuppleerd voor het onderhouden van het morfologische kuststelsel van Nederland. De vraag is nu of deze hoeveelheid zand voldoende is om het kustfundament daadwerkelijk mee te laten groeien met de zeespiegelstijging. Als uitgangspunt voor deze vraag is de zandbehoefte voor de planperiode na 2012 genomen.

Meestijgen met de zeespiegel

In eerdere studies (o.a. Mulder, 2000) en als grondslag voor het huidige beleid is het uitgangspunt gehanteerd dat het Nederlandse kustfundament mee moet stijgen met de zeespiegel. In tabel 1 staan de hoeveelheden zand weergegeven afhankelijk van de te hanteren zeespiegelstijging. Als ondergrens is de gemiddelde zeespiegelstijging gedurende de periode 1900-2007 genomen (18 cm/eeuw). Berekening van de gemiddelde zeespiegelstijging over de periode 1950-2007 levert een waarde op van 20 cm per eeuw. Dit komt overeen met de huidige zeespiegelstijging waar het KNMI vanuit gaat (KNMI, 2006, 20cm/eeuw). Als middenwaarde voor de huidige zeespiegelstijging is dan ook 20cm/eeuw aangehouden. Als bovengrens voor de huidige zeespiegelstijging is 30 cm/eeuw genomen. In de recente literatuur over zeespiegelstijging, bepaald met behulp van satellietwaarnemingen, wordt deze orde van grootte herhaaldelijk genoemd.

Tabel 1: Zandtekort afhankelijk van zeespiegelstijging.

	Ondergrens 18cm/eeuw	Middenwaarde 20 cm/eeuw	Bovengrens 30 cm/eeuw
Meegroei bodem Waddenzee met zeespiegelstijging	4,5	5	7,5
Meegroei kustfundament met zeespiegelstijging	7,5	8,4	12,5
Meegroei Wester Schelde met zeespiegelstijging	0,5	0,5	0,8
Meegroei Kuststelsel met zeespiegelstijging	12,5	13,9	20,8

Schatting verliesposten van het Kuststelsel

In tabel 2 staan de mogelijke verliesposten gegeven. De grootste post komt voort uit het na-ijlen van het morfologische systeem op de afsluitingen van Zuiderzee en Lauwerszee. Door deze afsluitingen is een nieuwe situatie met een nieuw morfologisch evenwicht ontstaan. Het morfologische systeem heeft echter geruime tijd nodig om dit nieuwe evenwicht te bereiken. In het Friesche zeegat is dit evenwicht al voor een groot gedeelte bereikt.

Echter voor het Vlie en vooral voor het kombergingsgebied van het Marsdiep is dit niet het geval. Het bereiken van dit evenwicht zou bij de huidige en niet veranderende zeespiegelstijging minimaal nog enkele honderden jaren in beslag nemen. Gegeven een versnellende zeespiegelstijging is het zeer de vraag of dit evenwicht ooit bereikt zal worden. De voor de kombergingsgebieden Vlie en Marsdiep benodigde sedimenthoeveelheden worden door de natuur onttrokken aan de buitendelta's en omliggende eilandkoppen, inclusief de kop van Noord Holland. Deze zandtransporten zijn voor de komende 10 jaar in te schatten op 3 Miljoen m³/jaar.

Tabel 2: Verliesposten van het Kustsysteem in de planperiode vanaf 2012.

Winst en verliesposten van het Kustsysteem	Ondergrens	Middenwaarde	Bovengrens
Naijlings effect afsluiting Zuiderzee, Lauwerszee	1	3	5
Stortbeleid Rotterdamse vaargeul	0,8	0,8	2,3
Geulonderhoud Wadden via zandwinning	0	0,6	0,6
Zandwinning Westerschelde	0	0	1,9
Verlies kustfundament t.g.v. zandwinning Zeeschelde	0	1	1,5
Bodemdaling Wadden en bijbehorende Noordzeekustzone door gaswinning	1,1	1,1	3,2
Bodemdaling Wadden door zoutwinning	0	0	1,5
Handhaving veiligheid 7 kustplaatsen	0	0	0,1
Invloed Zwakke Schakels	0	0	0,6
Invloed Maasvlakte	0	0	0
Sub-Totaal verliesposten	2,9	6,5	16,7

Een tweede verliespost betreft het vaargeulonderhoud. Het zand dat uit de vaargeul gebaggerd wordt om deze op diepte te houden, wordt soms verkocht op de zandmarkt. Op deze wijze wordt het vaargeulonderhoud zeer voordelig uitgevoerd. Als bij vaargeulonderhoud zand vrijkomt dat niet geschikt is voor de zandmarkt, door bijvoorbeeld een te hoog slibgehalte, dan wordt dit soms buiten het kustfundament gestort. In beide hierboven beschreven gevallen, wordt dus zand onttrokken aan het kustfundament³. Rijkswaterstaat is zich hiervan bewust en heeft inmiddels acties ondernomen om te komen tot een optimum met betrekking tot vaargeulonderhoud en het op peil houden van het kustfundament. Zo worden diverse zandwinvergunningen niet verlengd, wordt gestudeerd op een nieuwe loswal en worden kosten/baten analyses voor andere werkwijzen gestart. De komende jaren echter, zal er nog steeds zand/slib uit de vaargeulen gehaald worden, die niet terug gestort worden in het kustfundament. Het betreft de volgende geulen:

- Euro-Maasgeul: gemiddeld 2,3 miljoen m³/jaar. Het streven is dit in 2012 terug gebracht te hebben tot 0,8 miljoen m³/jaar.
- Waddengeulen: 0,6 miljoen m³/jaar.

In totaal wordt dus door vaargeulonderhoud in de planperiode vanaf 2012 1,4 miljoen m³/jaar aan het kustfundament onttrokken.

Zandwinning is een derde post die in beschouwing genomen moet worden. In de Westerschelde en de Zeeschelde (Belgisch grondgebied) wordt, los van eventueel vaargeulonderhoud, zand gewonnen. In de Westerschelde bedraagt deze 1,9 miljoen m³/jaar. De zandwinning in de (Belgische) Zeeschelde zorgt voor een additioneel verlies in de (Nederlandse) Westerschelde van nog eens 1 miljoen m³/jaar. De inzet van RWS is dat de zandwinning in de Westerschelde in 2012 volledig afgebouwd zal zijn; over de Zeeschelde dienen nadere afspraken met België gemaakt te worden. Indien deze afspraken niet gemaakt worden, dan zal na 2012 dus nog gemiddeld 1 miljoen m³/jaar aan zand aan het kustfundament onttrokken worden.

De gaswinning in en rondom de Waddenzee veroorzaakt bodemdaling in het kustsysteem. Voor de komende jaren betreft dit een volumeverandering van 1,1 miljoen m³/jaar. Als alle prospects, de mogelijke toekomstige winningen, worden meegenomen is dit zelfs 3,2 miljoen m³/jaar, een bovengrens.

³ Hier worden alleen die vaargeuldelen beschouwd die deel uitmaken van het kustfundament of de zanddelende systemen.

Samenvoeging van de hoeveelheden voor de compensatie van zeespiegelstijging en de compensatie voor de verliesposten: naijlings effect afsluiting Zuiderzee, bagger en stort regime havengeul Rotterdam, zandwinning en de invloed van veiligheid kustplaatsen, Zwakke Schakels en Maasvlakte geeft een zandtekort tussen de 15 en 38 miljoen m³/jaar (tabel 3). Als prognose voor de planperiode na 2012 volgt hieruit een hoeveelheid van ongeveer 20 miljoen m³/jaar.

Tabel 3: Zandtekorten ten gevolge van zeespiegelstijging en winst en verliesposten van het kuststelsel voor de planperiode vanaf 2012.

Suppletiebehoefte	Ondergrens	Middenwaarde	Bovengrens
Meegroeien met zeespiegelstijging	12,5	13,9	20,8
Verliesposten Kuststelsel	2,9	6,5	16,7
Totale suppletiebehoefte	15,4	20,4	37,5

Gerefereerde literatuur

Alkyon, 2007. Hydromorphological study for EIA of Eemshaven and fairway .

Cleveringa, J., 2008. Morphodynamics of the Delta coast (south-west Netherlands), Quantitative analysis and phenomenology of the morphological evolution 1964-2004, Alkyon rapport A1881.

Dillingh, D. 2008. Zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust. Memo, Deltares.

Dongeren, A.R. van, M. Boers, F.L.M. Diermanse, J. van de Graaff, M. van Koningsveld en H.J. Steetzel., 2008. Bepaling Beschermingscontouren Kustplaatsen; Resultaten voor zeven Hollandse kustplaatsen, Conceptrapport Deltares.

Elias, E., 2006a, Morfologie van het Zeegat van Texel, Rapport Technische Universiteit Delft / Rijkswaterstaat RIKZ .

Elias, E., 2006b, Morphodynamics of Texel Inlet, Proefschrift, Technische Universiteit Delft.

Elias, E., M. van Koningsveld, P.K. Tonnon en Z.B. Wang, 2006. Sediment budget analysis and testing hypotheses for the Dutch coastal system, VOP II-1.2 Long term coastal management, November 2006,

Geer van, P.F.C., 2007. Long-term morphological evolution of the Western Dutch Wadden Sea. Rapport Z4169, WL | Delft Hydraulics.

Haecon, 2006. Actualisatie van de zandbalans van de Zee- en Westerschelde. Rapport 1249760008/lvp.

Hoeksema, H.J., H.P.J. Mulder, M.C. Rommel, J.G. de Ronde en J. de Vlas, 2004. Bodemdalingstudie Waddenzee 2004: vragen en onzekerheden opnieuw beschouwd. Rapport RIKZ/2004.025.

IBW, 1998, Integrale Bodemdalingsstudie Waddenzee. Auteurs: A.P. Oost,, B.J. Ens, A.G. Brinkman, K.S. Dijkema, W.D. Eysink, J.J. Beukema, H.J. Gussinklo, B.M.J. Verboom en J.J. Verburgh. Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., Assen, 372 pp.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

KNMI, 2006. Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. Scientific Report WR 2006-01.

Koningsveld, M. van, B. de Sonnevile, E. Elias, L. van Rijn en Z.B. Wang, Sediment budget analysis of the Dutch coastal system, (in voorbereiding).

Koster, 2006, Duinaangroei na 1990 voor de kust van Noord- en Zuid-Holland. Rapport Koster Engineering.

Maren, D.S. van, 2007. Nederlands kustsysteem en kustfundament; Zandverplaatsing, zandonttrekking en natuurlijke transporten in het Nederlands kustsysteem 2001- 2005, Werkdocument RIKZ 2007.106w

Marijs, K., en E. Parée, 2004. Nauwkeurigheid vaklodingen Westerschelde en –monding :”de praktijk”, Notitie ZLMD-04.N.004, Rijkswaterstaat Dir. Zeeland, Meetinformatiedienst, Vlissingen.

MER MV, 2007. Milieueffectrapport Aanleg Maasvlakte 2; Hoofdrapport.

Mulder, J.P.M., 2000. Zandverlies in het Nederlandse kustsysteem, advies voor dynamisch handhaven in de 21e eeuw. Rapport RIKZ/2000.36, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Nederbragt, G., en G. Liek, 2004. Beschrijving zandbalans Westerschelde en monding, Rapport RIKZ/2004.020, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Nederbragt, G. 2005. Zandvoorraden van het Kustsyteem: onderbouwing van een conceptueel model met behulp van trends van de winst- en verliesposten over de periode 1973-1997. Rapport RIKZ/2005.033, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Waterdistrict Waddenzee, 2007, Baggerrapportage Waterdistrict Waddenzee, overzicht kosten en hoeveelheden baggerwerk in de periode 1997 t/m 2006

Nederbragt, G., 2007, verslag Workshop suppletiebehoefte, april 2007.

Periplus, 2007. Gevolgen en omvang van verschillen LRK en waterstandgecorrigeerde dieptemetingen, Opdrachtnummer: RKZ-1616.

Rijkswaterstaat, 2005. Vaargeulonderhoud, zandwinning & kustlijnzorg; risico's en perspectieven voor Rijkswaterstaat. Publicatierreeks Grondstoffen 2005/04 / Rapport RIKZ-2005-025.

Rijn van, L.C., 1997, Sediment transport and budget of the central coastal zone of Holland, Coastal Engineering 32: 61-90.

Stive, M.J.F., de Vriend, H.J., 1987, Quasi-3D nearshore current modelling: wave-induced secondary current. Proc. ASCE Conference on Coastal Hydrodynamics, Delaware, 1987.

Wang, Z., H. Steetzel en M. van Koningsveld, 2006, Effecten van toekomstige kustontwikkelingen, Resultaten langetermijn simulaties morfologische ontwikkeling Nederlandse Noordzeekust, Rapport WL | Delft Hydraulics Z4051 / Alkyon A1462.

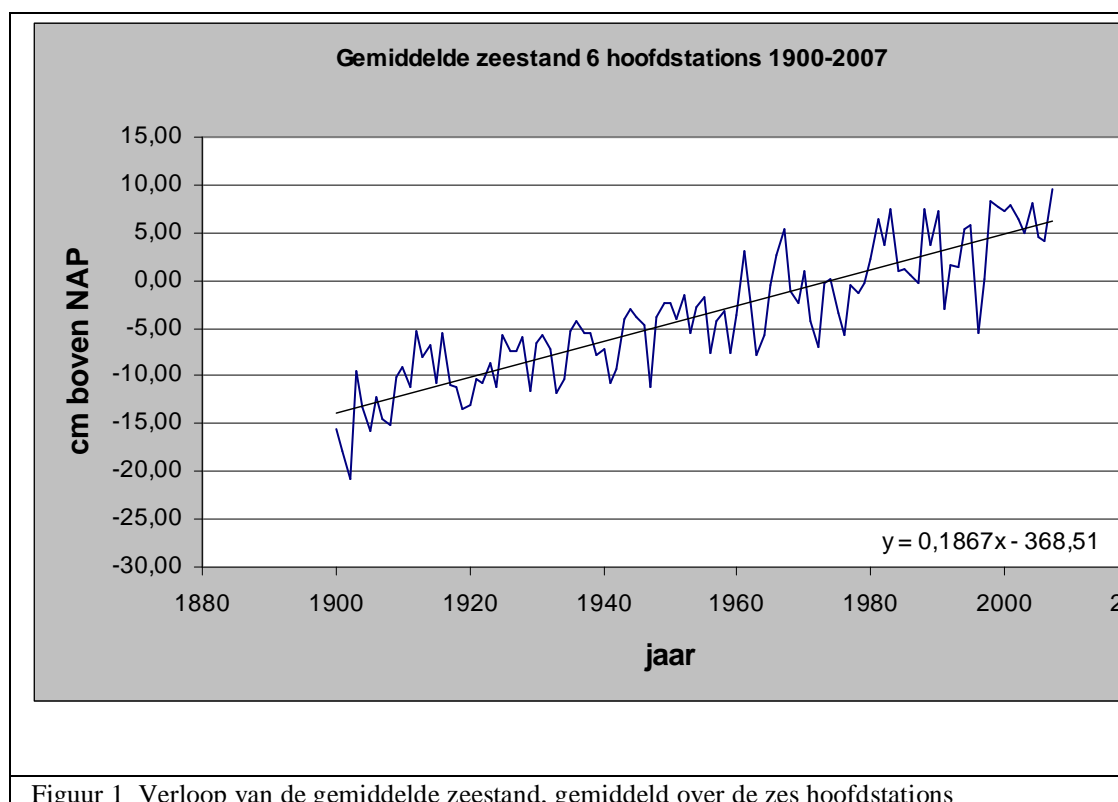
A

Zeespiegelstijging langs de Nederlandse Kust

(Ingekorte versie van memo van Douwe Dillingh van 9 april 2008.)

1. Zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust vanaf 1900

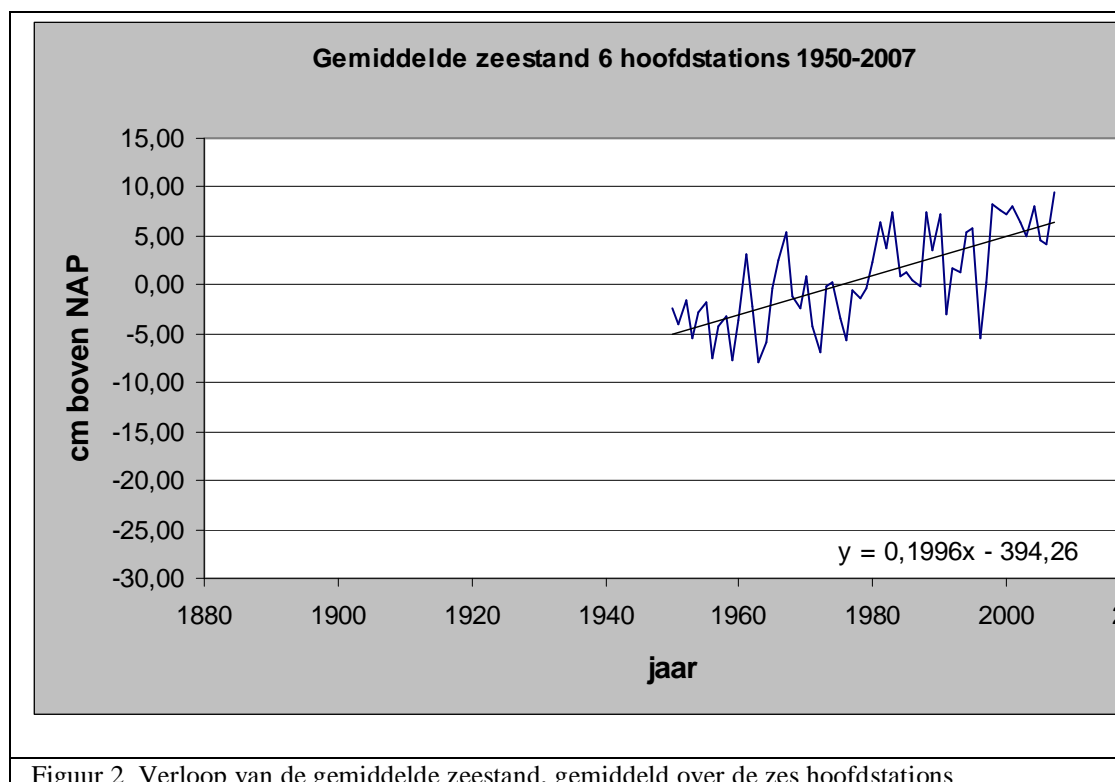
Dit memo is bedoeld om een indruk te geven van de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust. Figuur 1 geeft de beschikbare gegevens weer van de jaargemiddelde zeestanden volgens de metingen aan de zes hoofdpeilmeetstations Delfzijl, Harlingen, Den Helder, IJmuiden, Hoek van Holland en Vlissingen over de jaren 1900 t/m 2007. Deze stations hebben zeer lange meetreeksen. Vanaf 1900 vertonen de bestanden een min of meer lineair verloop, daarvoor wijkt het verloop voor sommige stations af. De standen zijn ten opzichte van het NAP. Figuur 1 toont het verloop van het gemiddelde van de zes genoemde stations.



2. Zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust vanaf 1950

De noordelijke stations Delfzijl, Den Helder en Harlingen laten in de eerste helft van de 20^e eeuw een relatief vlak verloop zien. De oorzaak hiervan is niet duidelijk. De andere drie stations vertonen dit fenomeen niet. Het is daarom interessant te zien wat de

resultaten zijn als de data vanaf 1950 worden geanalyseerd. Het resultaat staat in figuur 2 .



Figuur 2 Verloop van de gemiddelde zeestand, gemiddeld over de zes hoofdstations

Het gemiddelde van de zes stations laat een iets snellere stijging zien, maar de conclusie dat dit op een versnelde zeespiegelstijging duidt is voorbarig. Hoe korter de tijdreeks, hoe gevoeliger het resultaat voor het begin en einde van de tijdreeks: de nauwkeurigheid van de schatting van de stijgsnelheid neemt af. De volgende tabel geeft een overzicht van de berekende gemiddelde stijgsnelheden over de beide tijdvensters.

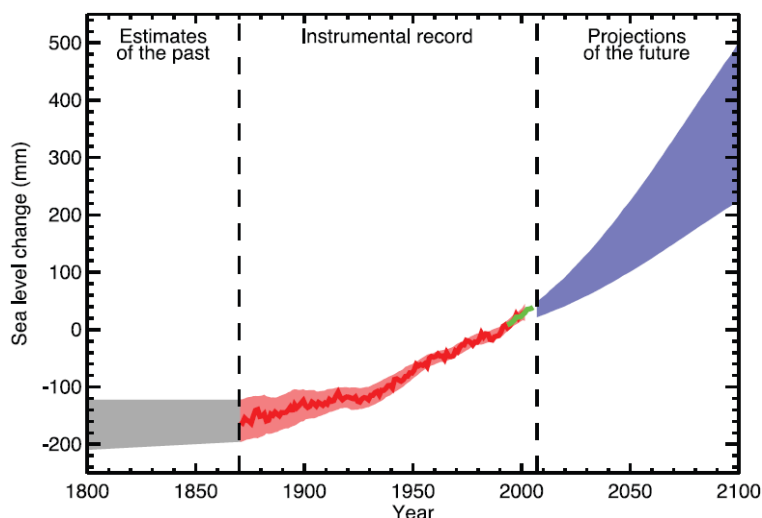
Tabel 1 Gemiddelde stijgsnelheid (in cm/eeuw) van de zeespiegel voor de tijdvensters 1900-2007 en 1950-2007

station	1900-2007	1950-2007
Delfzijl	19,2	23,9
Harlingen	12,2	15,2
Den Helder	15,4	18,0
IJmuiden	22,3	18,8
Hoek van Holland	22,4	27,7
Vlissingen	20,6	16,2
Gemiddelde zes stations	18,7	20,0

Opmerkelijk is, dat de gemiddelde stijgsnelheid van de noordelijke stations vanaf 1950 hoger is dan vanaf 1900. Voor de zuidelijke stations is dat net andersom, behalve voor Hoek van Holland. Het relatieve gewicht van de lage waarden rond 1960 voor Hoek van Holland is daar debet aan.

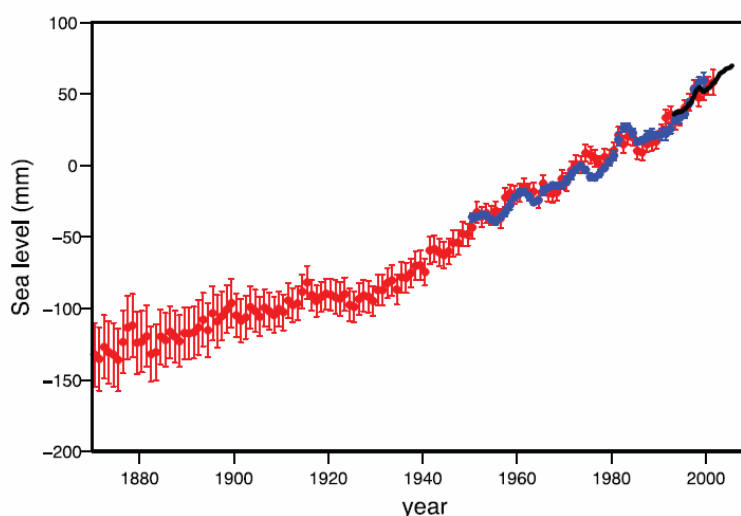
3. Mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging volgens het IPCC

De discussie over de al dan niet versnelde zeespiegelstijging is nog gaande. Over het algemeen wordt gesteld dat de zeespiegelstijging sneller is geworden ergens tussen de helft van de 19e en de 20e eeuw. Zie ook figuur 3.



Figuur 3 Het verloop van de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging volgens het 4^e assessmentrapport van het IPCC, werkgroep 1, hoofdstuk 5. Voor 1870 waren te weinig data van peilmeetstations beschikbaar voor het bepalen van een globaal gemiddelde zeespiegelstijging. De rode lijn is afgeleid uit data van peilmeetstations, de groene lijn geeft de satellietwaarnemingen. Het blauwe vlak geeft de range van de projecties voor de zeespiegelstijging tot 2100 volgens het A1B-scenario t.o.v. 1990.

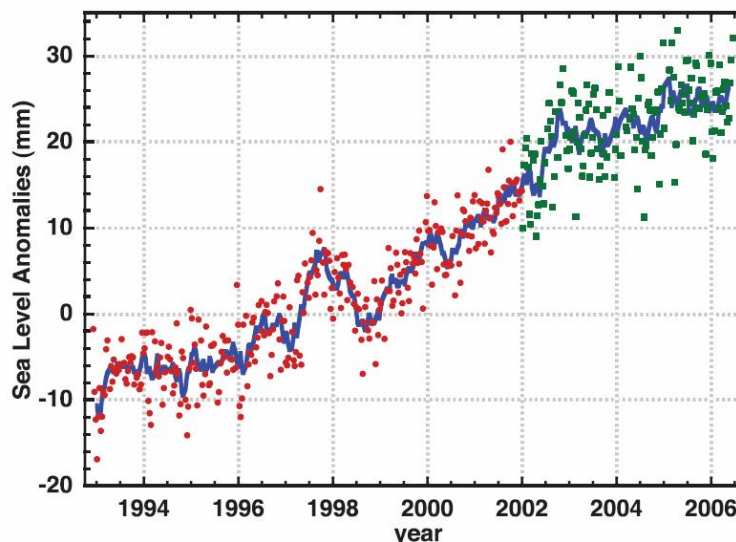
Figuur 4 zoomt in op de instrumentele periode. Deze figuur laat een versnelling in de zeespiegelstijging zien rond 1925, wat niet in de Nederlandse data is terug te vinden. De figuur laat ook nogal wat variabiliteit zien in het verloop van de mondiaal gemiddelde zeespiegel. Op het oog wijkt het karakter van verloop volgens de satellietaltimetrie niet significant af van dat van de peilmeetstations.



Figuur 4 Jaargemiddelden van de mondiaal gemiddelde zeespiegel (mm) volgens het 4^e assessmentrapport van het IPCC, werkgroep 1, hoofdstuk 5. De rode lijn volgt uit gereconstrueerde zeespiegelvelden, de blauwe lijn uit metingen van peilmeetstations vanaf 1950 en de zwarte lijn uit

satellietaltimetrie. De rode en blauwe lijn zijn uitgezet t.o.v. hun gemiddelde over de periode 1961-1990, de zwarte lijn t.o.v. het gemiddelde over de periode 1993-2001. De verticale balken geven de 90%-betrouwbaarheidsintervallen.

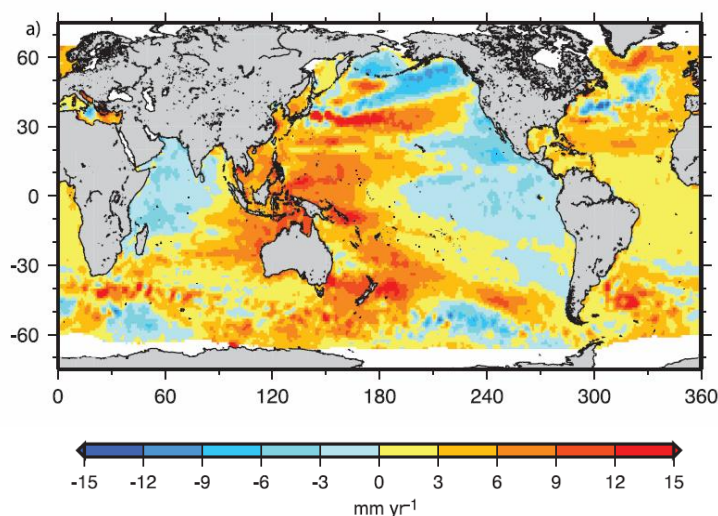
Figuur 5 zoomt nog eens extra in op de satellietwaarnemingen.



Figuur 5 10-daagse gemiddelden van de mondiaal (tussen 65° N.B. en 65° Z.B.) gemiddelde zeespiegel (mm) uit satellietaltimetrie volgens het 4^e assessmentrapport van het IPCC, werkgroep 1, hoofdstuk 5. De rode stippen zijn van de TOPEX/Poseidon-satelliet, de groene van de Jason-satelliet. De blauwe lijn geeft het lopend gemiddelde over 60 dagen.

De zeespiegelstijging volgens de satellietaltimetrie bedraagt over de periode 1993-2003 gemiddeld ongeveer 3 mm per jaar (dit komt overeen met 30 cm per eeuw). De vraag is nu of dat betekent dat de zeespiegelstijging de laatste decennia is toegenomen. Gezien de fluctuaties in de tijdreeksen van de gemiddelde zeestanden en de relatief korte tijdreeks van de satellietmetingen is dat maar zeer de vraag. Voor de Nederlandse kust is dat in ieder geval nog niet te zien. Een duidelijke uitspraak over een waargenomen versnelling van de zeespiegelstijging als gevolg van menselijk handelen (versterkt broeikas effect) is dan ook nog niet te geven. Er zal nog een aantal jaren langer gemeten moeten worden.

De satellietmetingen zijn ruimtedekkend en geven daarom een goed beeld van de verschillen in zeespiegelstijging. Figuur 6 laat zien dat over de periode 1993-2003 er gebieden zijn met een zeespiegelstijging die een aantal malen groter is dan de mondiaalgemiddelde waarde. Ook zijn er gebieden met de zeespiegeldaling over deze periode.



Figuur 6 Geografische verdeling van de lineaire trend in de gemiddelde zeespiegel, berekend over de periode 1993-2003 en gebaseerd op de TOPEX/Poseidon satellietaltimetrie volgens het 4^e assessmentrapport van het IPCC, werkgroep 1, hoofdstuk 5 .

4. Relatieve zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust

Over de afgelopen 100 jaar meten wij een zeespiegelstijging van gemiddeld bijna 20 cm/eeuw. Dat is ten opzichte van het NAP, wat gefundeerd is op de bovenkant van het pleistoceen. Dat betekent dat alleen de bodembeweging van de bovenkant van het pleistoceen in de meetreeksen zit. Hoeveel die bedraagt is niet helemaal duidelijk en is per station verschillend, maar is langs de Nederlandse kust niet meer dan hooguit enkele cm's per eeuw (daling). Dat heeft met name te maken met de zogenaamde postglacial rebound: de reactie van de aardkorst op het afsmelten van de ijskappen van de laatste ijstijd.

Het 4^e IPCC-assessmentrapport geeft voor de 20^e eeuw een schatting van de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging van ongeveer 1,7 mm per jaar (dit komt overeen met 17 cm per eeuw).

De gemeten relatieve zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust is derhalve in goede overeenstemming met de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging.

5. De invloed van de gravitatiekrachten van de landijsmassa's van Groenland en Antarctica

Gravitatie is het verschijnsel dat twee massa's elkaar aantrekken. Bekend is natuurlijk de zwaartekracht van de aarde, maar ook de aantrekkingskrachten tussen aarde en maan en aarde en zon, waardoor het getij ontstaat. In het geval van de zeespiegel gaat het om de aantrekkingskracht die een ijsmassa als op Groenland uitoefent op het omringende water. De zeespiegel loopt daardoor richting Groenland omhoog (geldt natuurlijk niet alleen voor Groenland). Als nu al het landijs van Groenland smelt, betekent dat een over de oceanen gemiddelde zeespiegelstijging van 7 meter. Het betekent echter ook dat de massa van Groenland sterk afneemt, waardoor het oplopende effect van de zeespiegel naar Groenland toe verdwijnt, of in ieder geval veel minder wordt. Nederland ligt op zodanige afstand van Groenland dat dit effect nog goed merkbaar is. Berekend is dat van de mondiaal gemiddelde stijging van de zeespiegel

als gevolg van het smelten van Groenland ongeveer een kwart overblijft ter plaatse van Nederland. Vlak bij Groenland zelf zal zelfs sprake zijn van een zeespiegeldaling. Voor Antarctica geldt dat Nederland ongeveer 10% meer krijgt dan de mondiaal gemiddelde stijging als gevolg van het smelten van het landijs aldaar. De bijdrage van het smelten van de ijskappen van Groenland en Antarctica is nu nog relatief gering, waardoor het genoemde gravitatie-effect vooral in de toekomst merkbaar zal zijn.

B Bagger- en stortgegevens Rotterdamse haven

in m3 sediment (zand + slib) per jaar

Van Naar	Rotterdam haven Slufter	Rotterdam haven NCP (loswal)	Rotterdam F NCP (loswal)	Rotterdam E NCP (loswal)	VAK G Kustfundament	Vak G NCP (loswal)	Nieuwe waterweg	Nieuwe Maas
2000	774000	3315000	650694	1439530	0	163167	?	?
2001	714000	3375000	2376561	2731613	0	1115651	?	?
2002	617000	3472000	3106376	3426855	0	760318	385244	113056
2003	1699000	2390000	1864723	2937408	0	559706	572008	622664
2004	823000	3266000	1964996	2995803	0	390846	236719	674852
2005	912000	3177000	1787268	2626708	0	653904	187076	566901
2006	?	?	1747380	1722979	0	331409	515233	543490
2007	?	?	3590962	4999723	1705911	475778	444029	1095732

in m3 zand per jaar

percentage zand	10	10	60	10	90	90	60	30
2002-2007							234031	180835
2001-2005	95300	313600						
2000-2007			1281672	286008		500713		
Gem langst mogelijke periode	95300	313600	1281672	286008		500713	234031	180835

Prognose periode na 2012

in miljoen m3 Verlies zand per jaar	Rotterdam haven	Rotterdam haven	Vak F	Vak E	VAK G	Vak G	Nieuwe waterweg	Nieuwe Maas	Totaal	
	0,00	0,31	1,28	0,29	0,00	0,00	0,23	0,18	2,30	Bovengrens
	0,00	0,31	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,18	0,78	Middenwaarde
	0,00	0,31	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,18	0,78	Ondergrens