



Zandvoorraden van het kustsysteem

Onderbouwing van een conceptueel model met behulp
van trends van de winst- en verliesposten over de
periode 1973-1997

Gertjan Nederbragt

Rapport RIKZ/2005.033

Opdrachtgever / contactpersoon	DG Rijkswaterstaat
--------------------------------	--------------------

Titel	Zandvoorraden van het kuststelsysteem, onderbouwing van een conceptueel model met behulp van trends van de winst- en verliesposten over de periode 1973-1997.
Rapportnummer	RIKZ/2005.033

Samenvatting	In dit rapport wordt een conceptueel model gepresenteerd voor het bepalen van de suppletiebehoefte. Het model gaat er vanuit dat de Nederlandse kust op een tijdschaal van 50 tot 200 jaar zonder zeespiegelstijging en zonder menselijke ingrepen in een (morfologisch) stabiele toestand verkeert. De suppletiebehoefte kan in dat geval sterk vereenvoudigd worden berekend door de oppervlakte van het kuststelsysteem te vermenigvuldigen met de zeespiegelstijging. In de 3^e Kustnota (2000) is becijferd dat bij een zeespiegelstijging van 20 cm/eeuw de suppletiebehoefte 12 Mm³/jaar bedraagt. Na het verschijnen van Mulder (2000), die de onderbouwing voor dit getal gaf, is in de Nota Ruimte (2004) de begrenzing van het kustfundament vastgelegd. De zeewaartse grens bestaat uit de doorgaande NAP -20m lijn, aan de landzijde vormt de binnenduinrand de grens. De Waddenzee en de Westerschelde maken geen deel uit van het kustfundament. Deze definitie van het kustfundament, tezamen met een grotere beschikbaarheid van gegevens, waren de aanleiding om nieuwe berekeningen uit te voeren. Op basis van geanalyseerde gegevens over de periode 1973-1997 van het gehele Nederlandse kuststelsysteem (kustfundament, Waddenzee en Westerschelde) wordt geconcludeerd dat het conceptuele model een goed uitgangspunt vormt voor het bepalen van de suppletiebehoefte. Aandachtspunt is de momenteel optredende versterkte sedimentatie van de estuaria (door aanpassing van het kuststelsysteem na aanleg van grootschalige kunstwerken als de Afsluitdijk). Er wordt in dit rapport geen uitspraak gedaan over de wijze waarop het zand langs de kust verdeeld moet worden. Hiervoor dient een uitvoeringskader te worden opgesteld, waarmee op een slimme manier aan het waarborgen van de zandvoorraden van het kustfundament kan worden voldaan. Dit uitvoeringskader dient tevens een antwoord te geven op de vraag hoe in de toekomst met zandwinning binnen het kuststelsysteem moet worden omgegaan. De ten opzichte van Mulder (2000) door de huidige berekende trends uit het verleden gewijzigde inzichten en het conceptuele model zullen, samen met het toekomstbeeld, bijdragen aan de evaluatie van de 3^e Kustnota (2000), die gepland staat voor het najaar van 2006. Hierbij dienen tevens huidige beleidsontwikkelingen, zoals zwakke schakels en bescherming van buitendijkse bebouwing, gezet te worden naast de inspanningen die momenteel geleverd wordt voor kustlijnverzorging. Ook deze beleidsontwikkelingen kunnen een plaats krijgen in het uitvoeringskader.
--------------	---

Versie	Eigenaar	Datum	Opmerking	Beoordeeld	Goedgekeurd
0	Nederbragt	16/12/2005	Startversie	J.P.M. Mulder	
1	Nederbragt	02/05/2006	Concept	J.P.M. Mulder	
2	Nederbragt	14/07/2006	Concept	J.P.M. Mulder	
3	Nederbragt	26/09/2006	Definitief	Dunsbergen	Voogt
Project ID	Project Kustlijnverzorging				
Vertrouwelijk	☐ JA, tot (datum)	☒ NEE			
Status	☐ Startversie	☐ Concept	☒ Definitief		

Tekstbijdragen:

Jelmer Cleveringa
Richard Duin

Auteur:

Gertjan Nederbragt

Citatie: Nederbragt, G., 2006. Zandvoorraden van het kustsysteem, 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.

Nadere informatie bij Gertjan Nederbragt

Tel. (+) 31 70 311 42 08

Fax (+) 31 70 311 42 00

gertjan.nederbragt@rws.nl

Het Rijksinstituut voor Kust en Zee van Rijkswaterstaat (RWS-RIKZ) heeft de in deze publicatie opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publicatie voorkomen.

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

Inhoudsopgave

Colofon	4
Inhoudsopgave	5
1 Inleiding	7
1.1 Kustbeleid en uitvoering in retrospectief	7
1.2 Herberekening suppletiebehoefte	7
Intermezzo: introductie kustfundament in de Nota Ruimte	8
1.3 Doelstelling en afbakening van dit rapport	9
1.4 Leeswijzer	9
Intermezzo: zandrivier en zanddelend systeem	10
2 Suppletiebehoefte als functie van zeespiegelstijging	11
2.1 Inleiding	11
2.2 Doorvertaling geformuleerde beleid	11
2.3 Conceptueel model	12
2.4 Uitwerking zeespiegelstijgingsscenario's	13
2.5 Voorwaarden	13
3 Zandvoorraden in kaart	15
3.1 Kustfundament verdeeld in deelsystemen	15
3.2 Beschikbare gegevens	15
Intermezzo: Grenzen van de deelsystemen	16
3.3 Ontwikkeling zandvoorraden in de tijd	19
4 Winst- en verliesposten	21
4.1 Inleiding	21
4.2 Storten	21
4.2.1 Suppleties	21
4.2.2 Loswallen	21
4.3 Onttrekking	23
Intermezzo: De zandbalans van het kustfundament	24
4.4 Verandering door natuurlijke transporten	25
4.4.1 Historische zandbalans uit beschikbare data	25
Intermezzo: achtergrond trendanalyse	28
4.4.2 Aanvullende schattingen	29
4.5 Zandverlies door zeespiegelstijging	31
4.6 Samenvatting	32
5 Discussie over de resultaten	35
5.1 Toetsing van het conceptuele model	35
5.2 Vergelijking met de berekeningen van Mulder (2000)	36
5.3 Nauwkeurigheid van de resultaten in perspectief	37
6 Conclusies en vervolgstappen	39
6.1 Conclusies	39
6.2 Vervolgstappen	40
Referenties	41

1 Inleiding

1.1 Kustbeleid en uitvoering in retrospectief

In de 1^e Kustnota (1990) is het duurzaam handhaven van de veiligheid en het duurzaam behoud van functies en waarden in het duingebied als beleidsdoelstelling geformuleerd. Om dit te bereiken werd gekozen voor het dynamisch handhaven van de kust. Hiertoe is een Basiskustlijn (BKL) als norm vastgesteld, die in principe niet landwaarts mag worden overschreden, en worden suppleties als middel ingezet. Tussen 1991 en 2000 is jaarlijks zo'n 6 Mm³ zand gesuppleerd (Roelse, 2002).

Aan het dynamisch handhaven van de kust werd in de 2^e Kustnota (1996) de noodzaak toegevoegd tot het compenseren van zandverliezen op dieper water. Dat is nodig om ook op lange termijn het dynamisch handhaven te kunnen volhouden. Sinds het verschijnen van de 3^e Kustnota (2000) vindt deze compensatie ook daadwerkelijk plaats. Vanaf 2001 wordt gemiddeld 12 Mm³/jaar gesuppleerd langs de Nederlandse kust.

De Nota Ruimte (2004), die onlangs formeel is vastgesteld, onderschrijft de in 1990 geformuleerde doelstelling (zie intermezzo op pagina 8). Als ontwikkelingsperspectief wordt het waarborgen van de zandvoorraden in de kustzone genoemd, waarbij morfologische processen binnen het kuststelsel zoveel mogelijk ongemoeid worden gelaten (zie het intermezzo op pagina 10 voor uitleg over de werking van het morfologische systeem). Dit is in lijn met het karakter van dynamisch handhaven, waarbij "zand als ordenend principe" het uitgangspunt vormt.

1.2 Herberekening suppletiebehoefte

De in de 3^e Kustnota (2000) vastgestelde suppletiehoeveelheid van 12 Mm³/jaar is gebaseerd op een historische zandbalans van de Nederlandse kustzone. Deze is door Mulder (2000) opgesteld aan de hand van de destijds beschikbare gegevens en met een aantal aannames omtrent de ruimtelijke begrenzingen van de kustzone. Inmiddels zijn veel nieuwe gegevens beschikbaar gekomen en is in de Nota Ruimte (2004) het kustfundament geïntroduceerd (zie intermezzo op pagina 8). Hiermee liggen de (beleidsmatige) grenzen van de kustzone vast. Daardoor is het zinvol geworden de historische zandbalans opnieuw op te stellen. Dit zal op dezelfde wijze worden gedaan als Mulder (2000), zodat een vergelijking mogelijk is. In die zin kan dit rapport worden beschouwd als een update van het rapport van Mulder (2000).

In dit rapport wordt een conceptueel model gepresenteerd dat als uitgangspunt dient voor het bepalen van de suppletiebehoefte en wordt voor verschillende zeespiegelstijgingsscenario's de suppletiebehoefte berekend. De resultaten van de historische zandbalans worden gebruikt om de uitgangspunten, die ten grondslag liggen aan het model, te toetsen. Daarmee komen de bruikbaarheid en de beperkingen van het model aan het licht.

Intermezzo: introductie kustfundament in de Nota Ruimte

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 begrensde 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 'natte' zone 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 zeewering... Waarborging van het dynamische zandige kustsysteem 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 kustsysteem 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. Versterking van de zandige kust is niet gewenst."

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

1. *"behoud van zand en ongehinderd transport van zand langs en dwars op de Kust"*
2. *zoveel mogelijk zandige maatregelen als ingrepen noodzakelijk zijn, en;*
3. *alleen in 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:

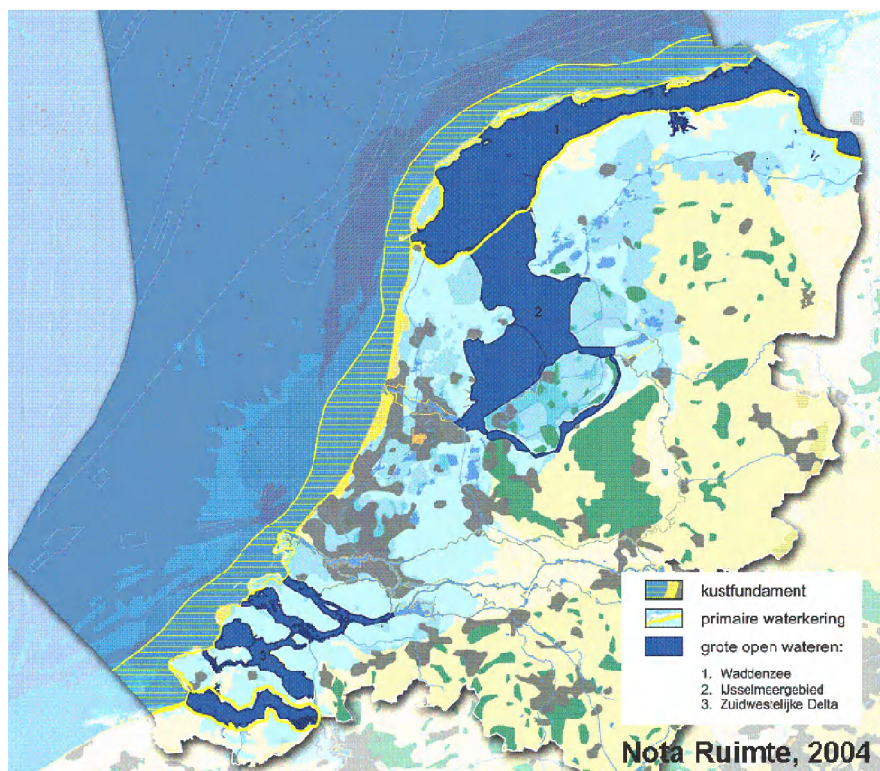
- *de zeewaartse grens bestaat uit de doorgaande NAP -20m lijn (20 meter onder Normaal Amsterdams Peil);*
- *aan de landzijde omvat het kustfundament alle duingebieden én alle daarop gelegen harde zeeweringen. De landwaartse grens valt bij smalle duinen en dijken samen met de grens van de waterkering 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. Figuur 1.1 geeft de grenzen van het kustfundament weer.

Figuur 1.1

Kustfundament volgens de Nota Ruimte (2004) met de doorgaande -20m NAP-lijn als zeewaartse ruimtelijke begrenzing. De landwaartse grens omvat het gehele duingebied.

NB Waddenzee en Westerschelde maken volgens deze definitie geen onderdeel uit van het kustfundament.



1.3 Doelstelling en afbakening van dit rapport

In dit rapport wordt een conceptueel model gepresenteerd voor het bepalen van de suppletiebehoefte en wordt voor verschillende zeespiegelstijging-scenario's de suppletiebehoefte berekend. Daarnaast wordt de historische ontwikkeling geschetst van de zandvoorraden van het kustfundament en van het gehele Nederlandse kustsysteem (kustfundament, Waddenzee en Westerschelde), op basis van geanalyseerde gegevens over de periode 1973-1990. Door zoveel mogelijk aan te sluiten op de door Mulder (2000) gehanteerde methode is een vergelijking met de uitkomsten van Mulder (2000) mogelijk. Tevens wordt met de resultaten het conceptuele model getoetst. Daarmee draagt dit rapport bij aan de beleidsevaluatie die later dit jaar gepland is.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het conceptuele model gepresenteerd en gebruikt voor het berekenen van de suppletiebehoefte.

In hoofdstuk 3 wordt aangegeven welke gegevens geanalyseerd zijn om de zandvoorraden in kaart te brengen en worden de actuele zandvoorraden gepresenteerd. In hoofdstuk 4 worden vervolgens de winst- en verliesposten beschreven en gekwantificeerd. In hoofdstuk 5 vindt een vergelijking met de getallen van Mulder (2000) plaats en wordt het conceptuele model getoetst. Hoofdstuk 6 sluit af met de conclusies en vervolgstappen.

Verschillende intermezzo's zijn toegevoegd om de lezer achtergrondinformatie te geven.

Intermezzo: zandrivier en zanddelend systeem

De zandrivier

Het begrip 'zandrivier' is geïntroduceerd in de Beleidsagenda voor de kust (Min V&W, 2002), als metafoor voor de met elkaar verbonden onderdelen van de kust (zie Figuur 1.2). Getij, golven en wind zorgen voor een traag stromende "rivier" van zand, die het zand meevoert langs de kust van Zeeuws Vlaanderen tot aan de Waddenzee en verder. De doorgaande NAP-20m lijn en de binnen-duinrand (de begrenzingen van het kustfundament) vormen de oevers van de zandrivier. Erosie ontstaat op plaatsen waar de zandrivier meer zand meeneemt dan achterlaat. Harde constructies voorkomen weliswaar de erosie ter plekke, maar ze onderbreken tevens de stroom, waardoor de rivier benedenstrooms "opdroogt". Daarbij nemen ze de zandbehoefte elders niet weg.

Figuur 1.2
De "zandrivier" (Min. V&W, 2002)



Het zanddelend systeem

Het kustfundament vormt samen met de Waddenzee en de Westerschelde een zanddelend systeem, via respectievelijk de kusten van de waddeneilanden en de buitendelta's en de Westerscheldemonding en aangrenzende kusten. Wanneer er geen veranderingen optreden in het zandvolume van het zanddelend systeem (of een deel ervan) is er sprake van een dynamische evenwichtssituatie: er gaat dan net zoveel zand het (deel)systeem in, als er weer uit gaat (Louters en Gerritsen, 1994).

De stijging van de zeespiegel veroorzaakt in de Waddenzee (en de Westerschelde) een vraag naar zand. De bruto zandtransporten binnen het bekken en van en naar het bekken zijn enkele tientallen malen hoger dan het netto zandtransport (Oost e.a., 1998). De relatieve geringe toename in het netto transport kan dan ook makkelijk tot stand komen. Het toegenomen netto zandtransport 'stilt de zandhonger'. Het benodigde zand komt uit de andere onderdelen van het zanddelend systeem en dit is de 'zandvraag' van het getijdebekken. De onderdelen die het zand leveren zijn de buitendelta en de kusten die aan het zeegat grenzen. Deze maken deel uit van het kustfundament. Bij de Waddenzee en de Westerschelde is het natuurlijke effect van de doorgaande stijging van de zeespiegelstijging een continue zandvraag aan het kustfundament, die resulteert in een achteruitgang van het zandvolume van het kustfundament.

2 Suppletiebehoefte als functie van zeespiegelstijging

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een conceptueel model gepresenteerd, op basis waarvan op een sterk vereenvoudigde wijze de suppletiebehoefte kan worden bepaald. Om het model vorm te kunnen geven wordt eerst een doorvertaling gemaakt van het geformuleerde beleid. Deze doorvertaling is een mogelijk interpretatie van de wijze waarop uitvoering gegeven kan worden aan het huidige beleid.

Naast deze beleidsmatige doorvertaling wordt tevens een uitgangspunt geformuleerd over de werking van het Nederlandse kuststelsel. Het model en de uitgangspunten worden gepresenteerd, waarna tot slot de suppletiebehoefte voor verschillende scenario's van zeespiegelstijging wordt berekend.

2.2 Doorvertaling geformuleerde beleid

Het ontwikkelingsperspectief in de Nota Ruimte (2004) is er op gericht 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."

De interpretatie van het huidige beleid heeft betrekking op een tweetal punten:

1. De aan te houden ruimtelijke begrenzing en
2. Invulling van het begrip "waarborgen van de zandvoorraden"

Kustzone, kustfundament en kuststelsel

In de Nota Ruimte is het kustfundament aangewezen als ruimtelijke begrenzing van de kustzone. De definitieschets in Figuur 1.1 laat zien dat de Waddenzee en de Westerschelde geen deel uitmaken van het kustfundament. Het gehele Nederlandse kuststelsel is daarmee ruimer dan het gedefinieerde 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 vraagt om mee te kunnen groeien met de zeespiegelstijging (zie het intermezzo op pagina 10). Het ligt daarom meer voor de hand dat het waarborgen van de zandvoorraden betrekking heeft op het gehele kuststelsel dan op enkel het kustfundament.

Uitgangspunt 1: het waarborgen van de zandvoorraden heeft betrekking op het gehele kuststelsel, niet enkel op het kustfundament.

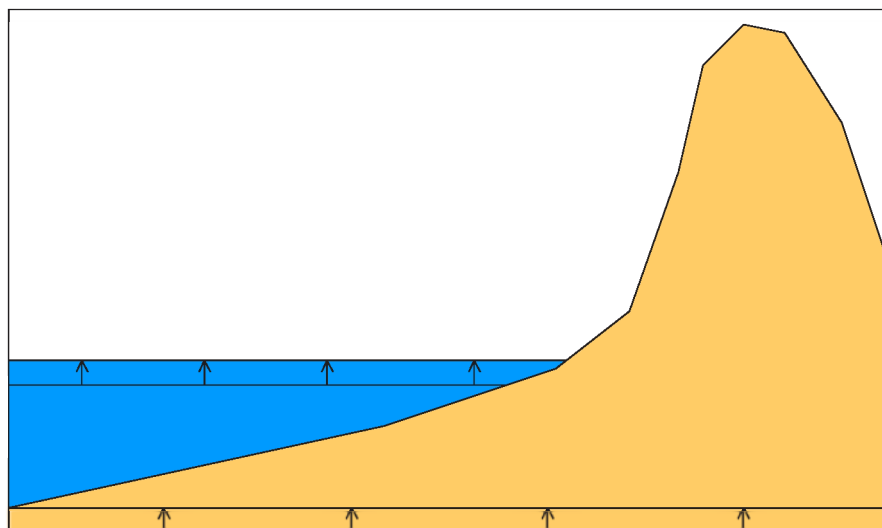
Waarborgen van de bestaande zandvoorraden bij stijgende zeespiegel

Zeespiegelstijging leidt tot een afname van de actieve zandvoorraad. Doordat de gemiddelde waterstand stijgt neemt het actieve zandvolume relatief af (zie Figuur 2.1). In de 3^e Kustnota (2000) wordt gesteld: "...zal in toenemende mate zand nodig zijn om de kust, estuaria en de Waddenzee mee te laten

groeien met de zee." Het uitgangspunt is dat door mee te groeien met de stijging van de zeespiegel, de zandvoorraden zijn gewaarborgd.

Uitgangspunt 2: door mee te groeien met de stijging van de zeespiegel zijn de zandvoorraden gewaarborgd.

Figuur 2.1
Schematische weergave van de relatieve afname van de actieve zandvoorraad door zeespiegelstijging in een dwarsprofiel van de kust.



2.3 Conceptueel model

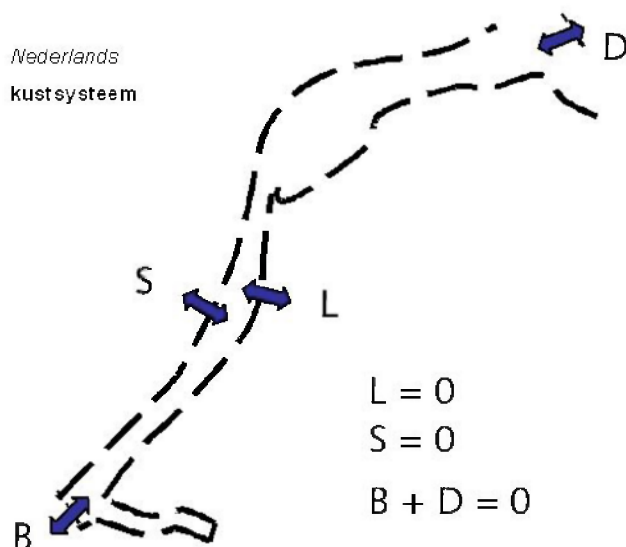
Het waarborgen van de bestaande zandvoorraden in de kustzone wordt ten behoeve van het conceptuele model doorvertaald als: "Het gehele Nederlandse kuststelsel, bestaande uit kustfundament, Waddenzee en Westerschelde, moet meegroeien met de stijging van de zeespiegel."

Het belangrijkste uitgangspunt achter het conceptuele model is:

Uitgangspunt 3: Op een tijdschaal van 50 tot 200 jaar verkeert het Nederlandse kuststelsel zonder zeespiegelstijging en zonder menselijke ingrepen in een (morfologisch) stabiele toestand, waarbij de (absolute) zandvoorraad constant is.

Netto vindt er in dat geval geen sedimentatie en erosie plaats (zie Figuur 2.2).

Figuur 2.2
Schematische weergave van het Nederlandse kuststelsel (kustfundament, Waddenzee en Westerschelde). Voor de het zandtransport over de zeewaartse en landwaartse grenzen (respectievelijk S en L) wordt aangenomen dat deze op een tijdschaal van 50 tot 200 jaar gelijk zijn aan nul. Hetzelfde wordt aangenomen voor het resulterende netto langtransport ($B + D = 0$).



2.4 Uitwerking zeespiegelstijgingsscenario's

Zeespiegelstijging veroorzaakt een verstoring van de stabiele toestand, doordat de relatieve zandvoorraad afneemt. Door deze relatieve afname te compenseren wordt voldaan aan het waarborgen van de zandvoorraden (zie uitgangspunt 2).

De suppletiebehoefte kan binnen dit conceptuele model sterk vereenvoudigd worden berekend door de oppervlakte van het kustsysteem te vermenigvuldigen met de mate van zeespiegelstijging.

Voor de drie beleidsscenario's voor zeespiegelstijging, zoals opgenomen in de 3^e Kustnota (2000) is dit uitgewerkt in Tabel 2.1.

Tabel 2.1
Oppervlakte (km²) van het kustsysteem en de suppletiebehoefte (Mm³/jaar) bij verschillende scenario's voor zeespiegelstijging, berekend volgens het conceptuele model.

Subsysteem	Oppervlak (km ²) ²	Suppletiebehoefte (Mm ³ /jaar) bij verschillende beleidsscenario's voor zeespiegelstijging ¹		
		20 cm/eeuw	60 cm/eeuw	85 cm/eeuw
Kustfundament	4181	8,4	25,1	35,5
Waddenzee	2497	5,0	15,0	21,2
Westerschelde	253	0,5	1,5	2,2
Kustsysteem	6932	13,9	41,6	58,9

¹3^e Kustnota (2000)

²Walburg (2006)

Aan de hand van deze berekeningen zou, volgens het conceptuele model, bij het minimumscenario orde 14 Mm³/jaar gesuppleerd moet worden om de zandvoorraden van het kustsysteem op peil te houden. Bij een snellere stijging neemt de suppletiebehoefte evenredig toe tot orde 60 Mm³/jaar bij een stijging van 85 cm/eeuw.

2.5 Voorwaarden

Gegeven het principe van de zandrivier en van de zanddelende systemen (zie het intermezzo op pagina 10) is het binnen dit conceptuele model van belang dat het zand in het kustsysteem vrij kan blijven bewegen. Dit past ook binnen de in de Nota Ruimte (2004) genoemde drietrapsstrategie, waarbij alleen in het uiterste geval zand met harde constructies kan worden vastgelegd.

De berekening van de suppletiebehoefte is gebaseerd op het compenseren van de zeespiegelstijging. Het conceptuele model (uitgangspunt 3) gaat er echter ook van uit dat er geen zandverlies door menselijke ingrepen (zandwinning) is en dat het kustsysteem niet verstoord wordt door de aanleg van grootschalige werken (Afsluitdijk, Maasvlakte, Deltawerken).

3 Zandvoorraden in kaart

3.1 Kustfundament verdeeld in deelsystemen

Beleidsmatig is het kustfundament als ruimtelijke eenheid gedefinieerd “om te benadrukken dat de Kust één dynamisch systeem is, waarbinnen functies op elkaar worden afgestemd en waarbinnen samenhangend beheer noodzakelijk is” (Nota Ruimte, 2004). Om dit samenhangend beheer te kunnen bereiken is het van belang de verdeling van de zandvoorraden binnen het kustfundament te kennen. Daarom wordt het kustfundament opgedeeld in deelsystemen. De Waddenzee en de Westerschelde worden meegenomen, omdat deze gebieden samen met het kustfundament het zanddelende kustsysteem vormen waarbinnen de zandvoorraden op peil moeten worden gehouden (zie ook uitgangspunt 1 in paragraaf 2.2).

Mulder (2000) kwam op basis van een morfologische beschouwing voor een tijdschaal van decennia tot een ruimtelijke indeling zoals weergegeven in Figuur 3.1. Ten opzichte van deze indeling is in dit rapport een aantal wijzigingen doorgevoerd in de definitie van de deelsystemen. Deze zijn:

- De IJ-geul en de Maasgeul zijn als aparte deelsystemen gedefinieerd.
- De zeewaartse en landwaartse begrenzingen zijn herdefinieerd volgens het kustfundament. Zeewaarts is de grillige actuele 20 meter dieptelij vervangen door de doorgaande NAP -20m lijn, zoals deze door RWS Noordzee en RWS RIKZ in het Geopakhuis is opgenomen en zoals deze in het Netwerk Informatie Systeem (NIS) van Rijkswaterstaat zal worden opgenomen. Landwaarts zijn de deelsystemen uitgebreid met het duingebied. Beide wijzigingen zijn conform de Nota Ruimte (2004).
- Het deelsysteem Delta is onderverdeeld in subdeelsystemen (Haringvliet delta, Grevelingen delta, Oosterschelde delta en Westerschelde delta).

Het intermezzo op pagina 16 gaat nader in op de begrenzingen en benamingen van de deelsystemen.

3.2 Beschikbare gegevens

Voor het in kaart brengen van de historische ontwikkeling van de zandvoorraden in het kustsysteem is gebruik gemaakt van digitaal beschikbare bodemdieptegegevens, die geïnventariseerd zijn door De Kruif (2001). De beschikbaarheid van bodemdieptegegevens varieert zowel ruimtelijk over het kustsysteem als in de tijd. Gegevens van het duingebied en de IJ-geul en de Maasgeul zijn niet geïnventariseerd door De Kruif (2001).

Walburg (2006) heeft uit de beschikbare bodemdieptegegevens een kuberingsgebied samengesteld, waarvoor de volumeverandering in de tijd is bepaald. Het streven is hierbij geweest om een zo groot mogelijke dekking te realiseren in ruimte en tijd. Figuur 3.2 geeft het gebied weer waarvoor de volumeverandering is bepaald en toont tevens het door Mulder (2000) geanalyseerde gebied. Van de deelsystemen Noord-Holland en Zuid-Holland ontbreekt een groot deel van het meest zeewaarts gelegen gebied en daarnaast is de Eems-Dollard niet meegenomen, wegens de zeer beperkte beschikbaarheid van gegevens in dit gebied.

Intermezzo: Grenzen van de deelsystemen

De deelsystemen langs de Waddenkust zijn gesitueerd rond de buitendelta's van de zeegaten: Marsdiep, Eierlandse Gat, Het Vlie, Amelandse Zeegat, Friesche Zeegat en Eems-Dollard. Tot het deelsysteem Marsdiep behoort ook de kop van Noord-Holland tot Petten. Het deelsysteem Eems-Dollard omvat de buitendelta's van de kombergingsgebieden Eilanderbalg, Lauwers, Schild en Eems-Dollard. Over de landwaartse grenzen van de deelsystemen vindt door de zeegaten uitwisseling van sediment plaats met de Waddenzee.

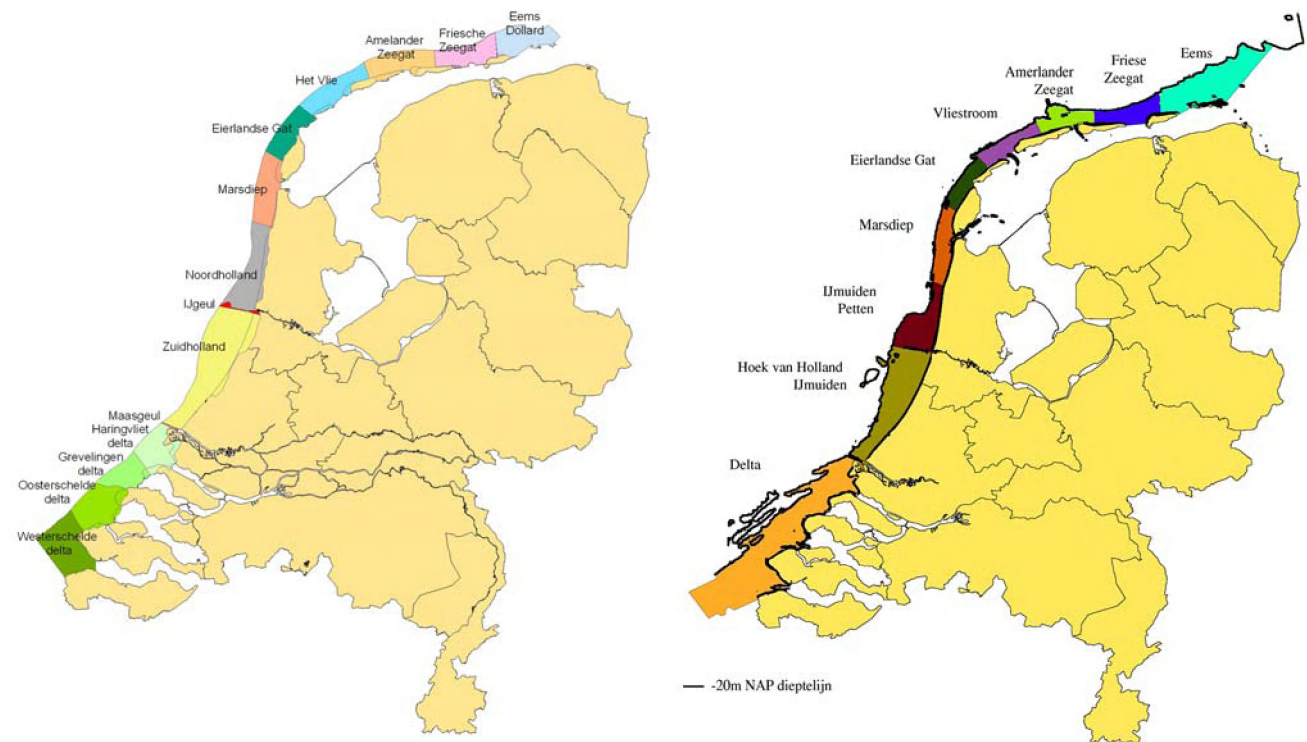
De gesloten Hollandse kust is verdeeld in twee delen. Het noordelijke deel loopt vanaf Petten tot aan noordzijde van de IJ-geul. Het zuidelijke deel loopt vanaf de zuidzijde van de IJ-geul tot aan Hoek van Holland (noordzijde Maasgeul). Hoewel geografisch gezien niet geheel correct, worden deze deelsystemen in het vervolg aangeduid met respectievelijk Noord-Holland en Zuid-Holland.

De Maasgeul en de IJ-geul worden als aparte deelsystemen beschouwd, omdat hier vooral baggerwerk plaatsvindt ten behoeve van vaargeulonderhoud. In deze geulen wordt jaarlijks zand onttrokken om ze op diepte te houden. Van deze deelsystemen zijn geen bodemdieptegegevens geïnventariseerd, maar wel ingreepgegevens. De zeewaartse begrenzing van het deelsysteem IJ-geul is de doorgaande NAP -20m lijn. Landwaarts zijn de sluizen van IJmuiden aangehouden. Deze vormen een vaste ruimtelijke begrenzing. Dit houdt in dat de (buiten)havens een onderdeel vormen van dit deelsysteem. Het deelsysteem Maasgeul loopt vanaf de Maasmond (einde van de noordelijke havendam) tot de doorgaande NAP -20m lijn. De lengte bedraagt ongeveer 5km.

De Delta is onderverdeeld in vier subdeelsystemen: Haringvliet delta, Grevelingen delta, Oosterschelde delta en Westerschelde delta. Zie voor de onderverdeling van de subdeelsystemen binnen de Delta Figuur 3.2. Door de aanleg van de Deltawerken vindt er alleen nog uitwisseling van sediment plaats tussen de Delta en de Westerschelde. De Westerschelde strekt zich uit van de lijn Vlissingen-Breskens tot de grens tussen Nederland en België, nabij Antwerpen. De zuidwestelijke grens wordt gevormd door het Nederlands Continentaal Plat. Het subdeelsysteem Westerschelde delta omvat dus enkel het Nederlandse deel van het mondingsgebied van de Westerschelde.

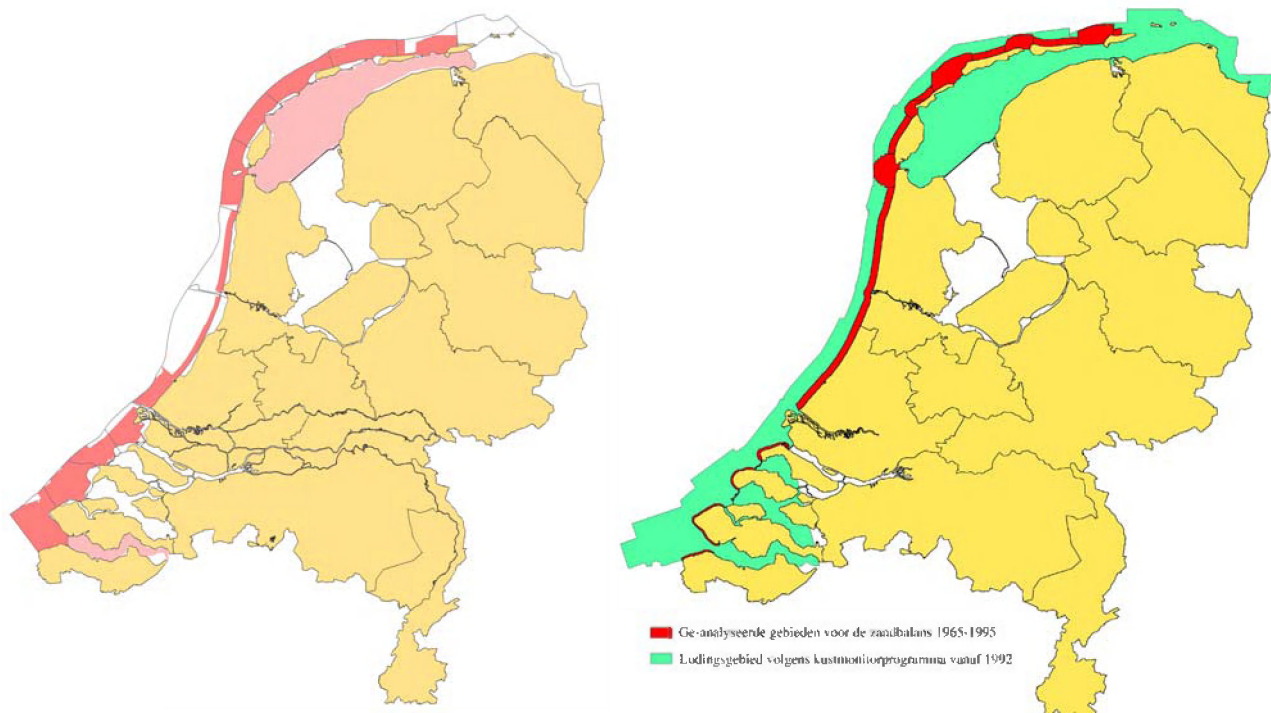
Figuur 3.1

Links: indeling van het kustfundament in deelsystemen. Zie ook het intermezzo op pagina 16.
Rechts: indeling volgens Mulder (2000).



Figuur 3.2

Links: kuberingsgebied in deze studie voor de periode 1973-1997. Donker gekleurd: data van het kustfundament; licht gekleurd: data van Waddenzee en Westerschelde; wit: geen data, of beschikbare data niet geanalyseerd.
Rechts: geanalyseerd gebied voor de zandbalans van Mulder (2000).



Per deelsysteem is de aanwezigheid van geanalyseerde bodemdieptegegevens verschillend (zie Tabel 3.1). Uit deze gegevens heeft Walburg (2006) voor alle deelsystemen, voor de Waddenzee en de Westerschelde en voor het kustfundament en kustsysteem de zandvoorraden bepaald op acht tijdstippen in de periode 1973-1997. Het betreft de jaren 1973, 1975, 1980, 1985, 1990, 1993, 1995 en 1997.

Tabel 3.1

Overzicht geanalyseerde gegevens per deelsysteem in de tijd.
Zie verder Walburg (2006).


 uitgevoerde kubering
 geïnterpoleerde waarde
 1973 jaar waarvoor geïnterpoleerd is

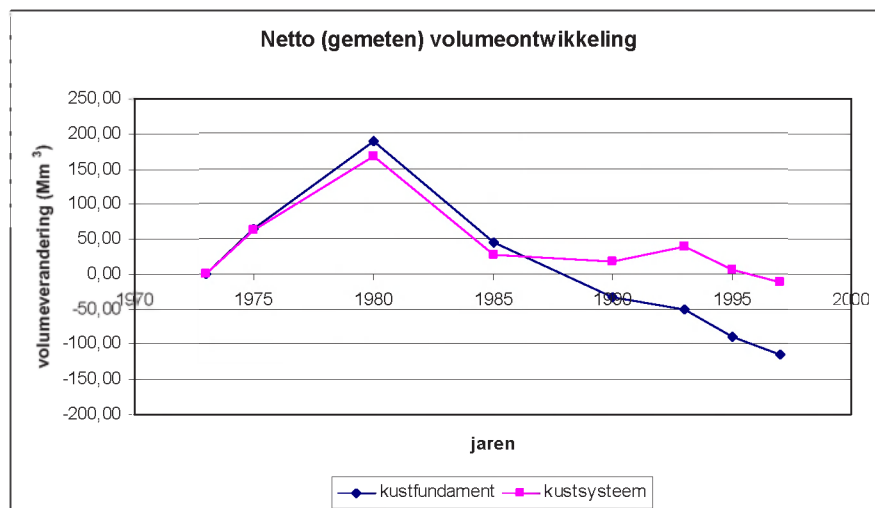
	Friesche Zeegat	Amelandse Zeegat	Het Vlie	Eierlandse Zeegat	Marsdiep	Noord-Holland	Zuid-Holland	Haringvliet delta	Grevelingen delta	Oosterschelde delta	Westerschelde delta	Waddenzee	Westerschelde
1963													
1964													
1965													
1966													
1967													
1968													
1969													
1970													
1971													
1972													
1973													
1974													
1975													
1976													
1977													
1978													
1979													
1980													
1981													
1982													
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
1991													
1992													
1993													
1994													
1995													
1996													
1997													
1998													
1999													
2000													

3.3 Ontwikkeling zandvoorraden in de tijd

De ontwikkeling in de tijd van de zandvoorraden in het geanalyseerde gebied voor het kustfundament en het kuststelsel (zie linker Figuur 3.2) is weergegeven in Figuur 3.3, waarbij het jaar 1973 als referentiejaar is gebruikt. Het betreft de netto ontwikkeling (de daadwerkelijk gemeten volumeverandering), dat wil zeggen dat met alle menselijke ingrepen (suppleties en zandwinning, zie hoofdstuk 4) rekening is gehouden.

Figuur 3.3

Netto (gemeten) ontwikkeling van de zandvoorraden in het geanalyseerde gebied in het kustfundament (donker gekleurde deel in linker Figuur 3.2) en het gehele kuststelsel (kustfundament, Waddenzee en Westerschelde) rekening houdend met alle menselijke ingrepen (suppleties en zandwinning).



Op deelsysteemniveau is de ontwikkeling in de tijd in kaart gebracht door Walburg (2006). Daaruit is af te leiden dat de toe- en afname van de zandvoorraden in de periode 1973-1985 vooral veroorzaakt wordt door de ontwikkeling van de Voordelta. Van de Oosterschelde is bijvoorbeeld bekend dat deze voor de bouw van de stormvloedkering sediment exporteerde naar de Voordelta. Of dit de waargenomen ontwikkeling kan verklaren kan op dit moment niet worden vastgesteld.

Na 1985 nemen de zandvoorraden van het kustfundament af terwijl het gehele kuststelsel redelijk stabiel blijft. Hieruit blijkt de werking van het zanddelend systeem: er verdwijnt zand uit het kustfundament naar de Waddenzee, waardoor de zandvoorraden van het kustfundament afnemen, maar de zandvoorraden van het gehele kuststelsel niet.

Sinds 1990 wordt uitvoering gegeven aan het dynamisch handhaven beleid door jaarlijks orde 6 Mm³ te suppleren. Figuur 3.3 laat zien dat deze hoeveelheid niet voldoende is geweest om de erosie van het kustfundament te compenseren. Roelse (2002) concludeert dat door het suppleren wel de structurele erosie van de kustlijn onder controle is.

Walburg (2006) noemt verschillende factoren die van invloed zijn op de nauwkeurigheid van de gegevens en de bewerking daarvan, die ten grondslag liggen aan de in Figuur 3.3 gepresenteerde ontwikkeling van de zandvoorraden. Het bepalen van een bandbreedte om de individuele waarden vormde geen onderdeel van de uitgevoerde studie (zie ook de discussie in Hoofdstuk 5 en de vervolgstappen in Hoofdstuk 6).

4 Winst- en verliesposten

4.1 Inleiding

Bij Mulder (2000) lag de focus op het kwantificeren van de zandverliezen van de kustzone. Hij hield daarbij rekening met twee componenten, namelijk het zandverlies door natuurlijke transportprocessen (zie bijvoorbeeld de werking van het zanddelend systeem in het intermezzo op pagina 10) en zandverlies door (relatieve) zeespiegelstijging.

In dit rapport wordt daar een aantal verliesposten aan toegevoegd en tevens worden de winstposten in kaart gebracht. Als eerste worden in de paragrafen 4.2 en 4.3 de winst- en verliesposten besproken, die het gevolg zijn van menselijk handelen. Dit zijn het storten van zand, respectievelijk onttrekking door zandwinning. Met deze posten en de bodemdieptegegevens van hoofdstuk 2 wordt in paragraaf 4.4 een zandbalans opgesteld (zie het intermezzo op pagina 24), waarmee de volumeverandering door natuurlijke transportprocessen wordt bepaald. Tot slot wordt het relatieve zandverlies door zeespiegelstijging uitgewerkt op deelsysteemniveau.

In alle paragrafen wordt een uitwerking gegeven voor zowel het kustfundament als ook voor het gehele kustsysteem (kustfundament, Waddenzee en Westerschelde).

4.2 Storten

Een belangrijke positieve bijdrage aan de zandvoorraden van het kustfundament vormen suppleties. Tot 1990 werden deze incidenteel uitgevoerd, maar sinds 1990 wordt jaarlijks langs de Nederlandse kust gesuppleerd. Een tweede vorm van storten vindt plaats op de loswallen bij de IJ-geul en de Maasgeul. Dit zijn locaties die zijn aangewezen voor het storten van baggerspecie die vrij komt bij het toegankelijk houden van de vaargeulen.

4.2.1 Suppleties

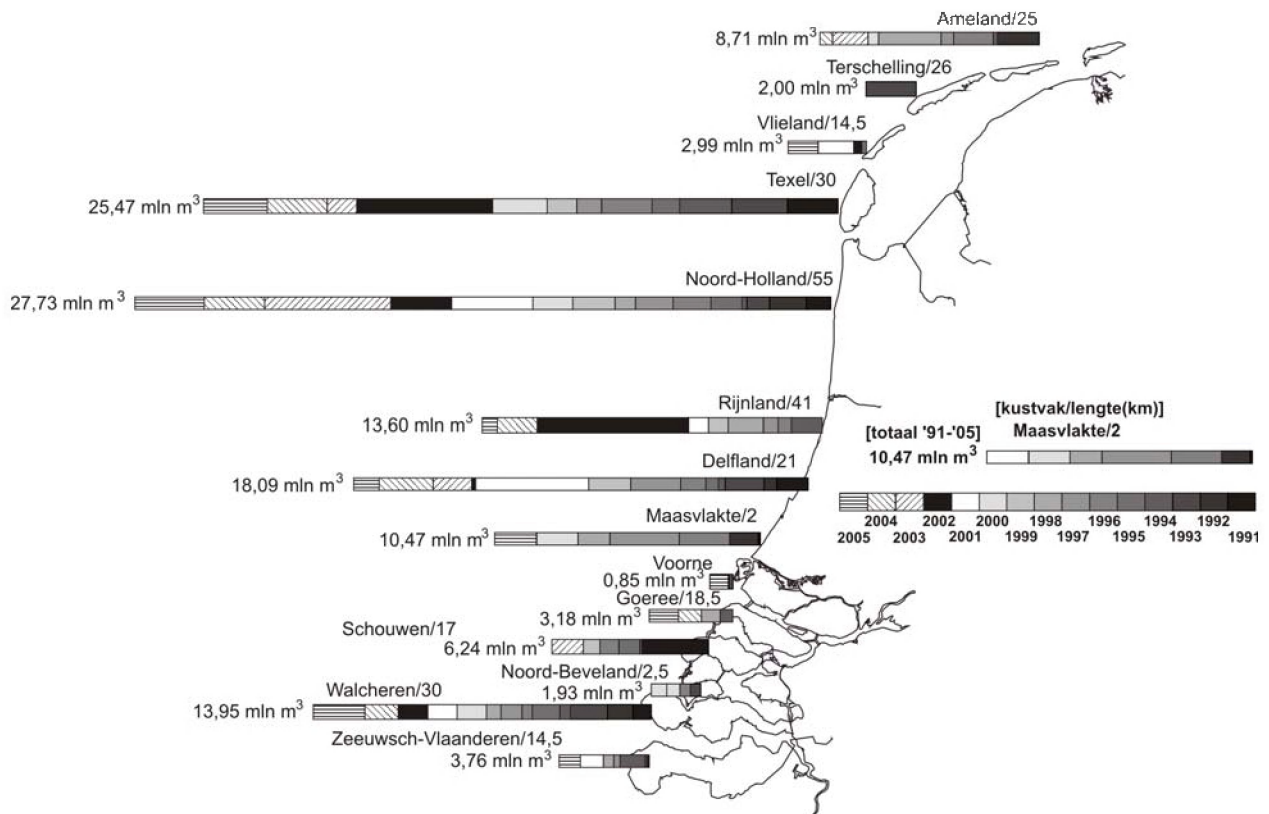
Een overzicht van de sinds 1991 uitgevoerde zandsuppleties wordt gegeven in Rijkswaterstaat (2006), waaruit Figuur 4.1 is overgenomen. In de periode 1991-2000 werd gemiddeld 6 Mm³/jaar gesuppleerd (Roelse, 2002), na 2000 is dit bedrag verdubbeld tot 12 Mm³/jaar (3^e Kustnota, 2000). Omdat het suppletiezand (vrijwel altijd) van buiten het kustfundament afkomstig is, is suppleren een winstpost voor de zandvoorraden van het kustfundament.

4.2.2 Loswallen

Nabij de IJ-geul en de Maasgeul zijn loswallen in gebruik waar sediment (zand en slib) wordt gestort dat vrijkomt bij het baggerwerk in de vaargeulen. In beide gevallen zijn in de loop der tijd meerdere locaties aangewezen als loswal. Bij de IJ-geul liggen al deze locaties binnen het kustfundament. Bij de Maasgeul is tot 1996 de Loswal Noord in gebruik geweest, die zich (grotendeels) binnen het kustfundament bevindt. Na 1996 zijn de Loswal Noordwest en de Verdiepte Loswal in gebruik genomen, deze liggen beide buiten het kustfundament (zie Figuur 4.2).

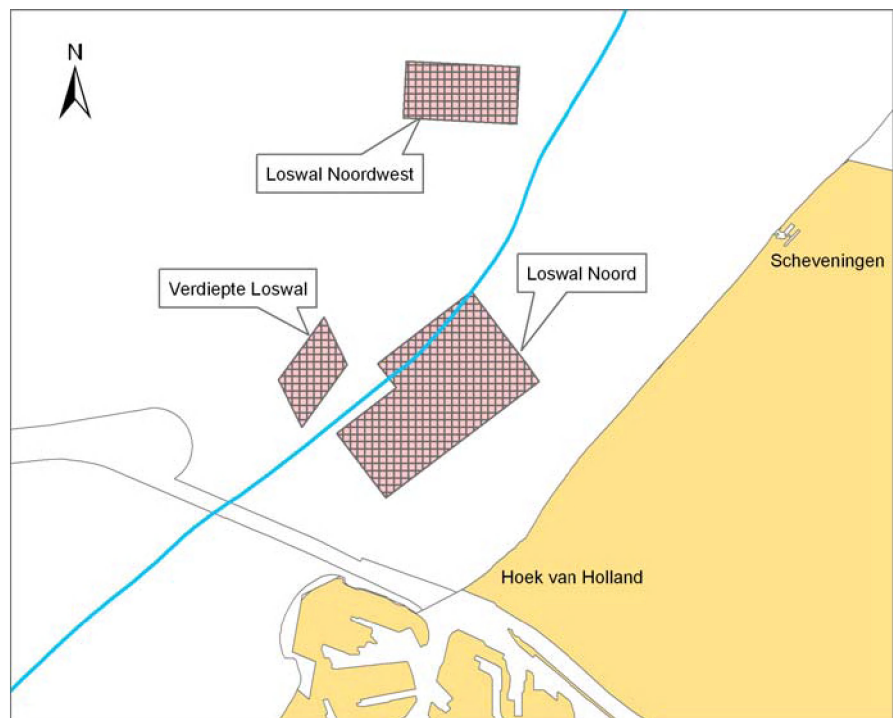
Figuur 4.1

Uitgevoerde zandsuppleties langs de Nederlandse kust sinds 1990 (Rijkswaterstaat, 2006)



Figuur 4.2

Ligging van Loswal Noord, Loswal Noordwest en de Verdiepte Loswal. De blauwe lijn is de doorgaande NAP -20m lijn.



Van de loswallen bij de IJ-geul zijn onvoldoende bodemdieptegegevens beschikbaar voor een goede analyse. De stortgegevens zijn wel beschikbaar. Als we aannemen dat al het gestorte materiaal afkomstig is van onderhouds- en verdiepingsbaggerwerk uit de IJ-geul, dan is sprake van een interne herverdeling van sediment binnen het kustfundament. In dat geval zijn het storten en de mogelijk opgetreden sedimentatie gelijk van grootte en is het netto resultaat voor de zandvoorraden van het kustfundament gelijk aan nul.

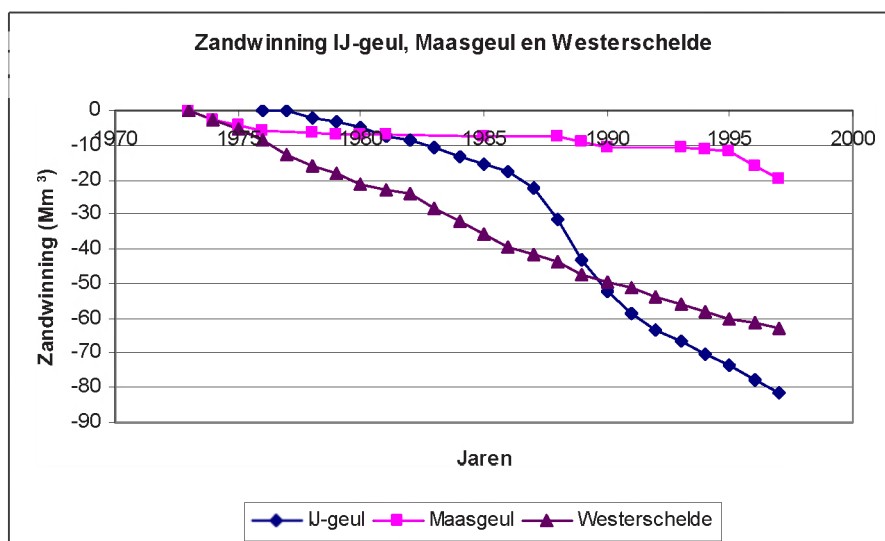
Van de Loswal Noord zijn zowel bodemdieptegegevens als stortgegevens beschikbaar over de gehele periode 1964-1996 dat de loswal in gebruik was. Vergelijking van de gegevens laat zien dat er een groot verschil bestaat tussen het gestorte volume en de gemeten volumeverandering ter plaatse van de Loswal Noord (zie Walburg, 2006). Een belangrijke verklaring voor dit verschil is de volumebenadering, die in deze situatie niet geschikt is, aangezien zand en slib verschillende dichtheden hebben in het beun ten opzichte van in situ op de Loswal Noord. Dit maakt het opstellen van een zandbalans voor dit gebied op dit moment niet goed mogelijk. In dit rapport wordt voor de Loswal Noord dezelfde aanname toegepast als voor de loswallen bij de IJ-geul, met als resultaat dat de loswal Noord geen netto bijdrage levert aan de zandvoorraden van het kustfundament.

4.3 Onttrekking

Zandwinning, waarbij het gewonnen materiaal niet wordt terug gestort, maar aan land gebracht wordt, vormt een verliespost, omdat er door menselijk handelen zand onttrokken wordt aan het kuststelsel.

Langs vrijwel de gehele Nederlandse kust heeft in het verleden incidenteel zandwinning plaatsgevonden (Hoogervorst, 2005). De IJ-geul, de Maasgeul en de Westerschelde zijn de gebieden waar tot op heden structureel zand onttrokken wordt aan het Nederlandse kuststelsel. In de Waddenzee is in het verleden ook zand gewonnen, maar dat is inmiddels tot een minimum beperkt (enkel ten behoeve van vaargeulonderhoud). In het Slikgat is structurele zandwinning recentelijk gestaakt. In Figuur 4.3 is voor de IJ-geul, de Maasgeul en de Westerschelde het cumulatieve verloop van de zandwinning in de periode 1973-1997 weergegeven. Van zandwinning in het verleden in de Waddenzee en in het Slikgat zijn op dit moment nog niet alle gegevens geïnventariseerd. Voor zover beschikbaar zijn deze gegevens wel gebruikt bij het opstellen van de historische zandbalans (paragraaf 4.4.1).

Figuur 4.3
Zandwinning (Mm³) in de IJ-geul, de Maasgeul en de Westerschelde



Intermezzo: De zandbalans van het kustfundament

Een zandbalans is in feite niets meer dan het boekhouden met zand. In een balansgebied, met vaste grenzen in het horizontale en verticale vlak, kan het zandvolume in de tijd (ΔV) veranderen doordat er door natuurlijke processen zand het gebied in of uit wordt getransporteerd (ΔN). Daarnaast kan de zandvoorraad door menselijke invloeden (baggeren en storten) veranderen (ΔI). De volumeverandering in de tijd kan nu in formulevorm worden opgeschreven als:

$$\Delta V = \Delta I + \Delta N$$

Waarin:

ΔV = de opgetreden volumeverandering

ΔI = de netto volumeverandering als gevolg van menselijke ingrepen

ΔN = de volumeverandering als gevolg van natuurlijke processen

In Figuur 4.4 zijn de verschillende posten weergegeven die van invloed zijn op het volume van het kustfundament. Menselijke ingrepen bestaan uit het storten en onttrekken van zand (voornamelijk suppleties en zandwinning). Natuurlijke transporten bestaan uit zanduitwisselingen met de Waddenzee (WZ) en de Westerschelde (WS) en uit transporten op de open grenzen (TL, TZ, TB en TD).

Figuur 4.4

Schematische weergave van alle zandtransporten die invloed hebben op de zandbalans van het kustfundament.

Menselijke ingrepen:

S = storten, voornamelijk suppleties

O = onttrekking vooral door zandwinning

Natuurlijke transporten:

WZ = zanduitwisseling met de Waddenzee

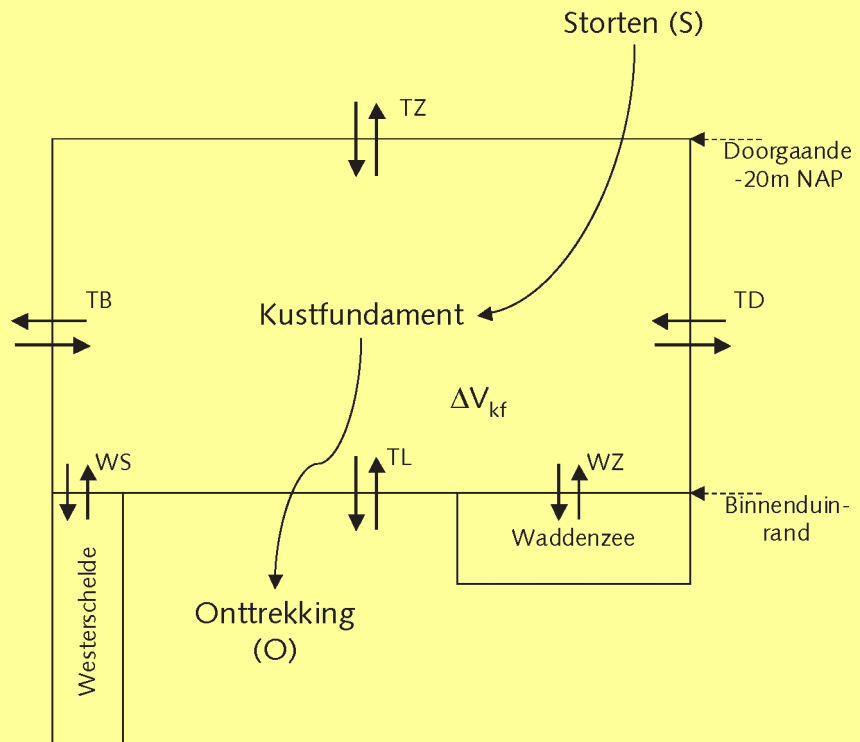
WS = zanduitwisseling met de Westerschelde

TB = zanduitwisseling met de Belgische kust

TD = zanduitwisseling met de Duitse kust

TL = zanduitwisseling met het achterland

TZ = zanduitwisseling met de Noordzee



Als ΔV en ΔI bekend zijn uit verzamelde gegevens dan is ΔN te berekenen door:

$$\Delta N = \Delta V - \Delta I$$

Deze term representeert de autonome ontwikkeling van het kustfundament en bevat dus alle termen van het natuurlijke transport. Volgens hetzelfde principe zijn de zandbalans van de Waddenzee en de Westerschelde op te stellen. De zandbalans van het gehele kuststelsel, omvat alledrie de deelgebieden.

NB Omdat met vaste grenzen in het horizontale vlak wordt gerekend is het relatieve zandverlies door zeespiegelstijging niet verdisconteerd in de zandbalans. Deze post wordt apart opgevoerd (zie paragraaf 4.5).

Voor de deelsystemen IJ-geul en Maasgeul zijn in Tabel 4.1 de trends voor de zandwinning weergegeven. Zandwinning in de Westerschelde bedroeg gemiddeld 2,6 Mm³/jaar (Rijkswaterstaat, 2000). Omdat dit buiten het kustfundament plaatsvindt kan het indirect tot een verliespost voor het kustfundament leiden. Zandwinning in de Waddenzee en de Westerschelde vormt voor het kustsysteem wel een directe verliespost.

Tabel 4.1

Zandwinning in de verschillende delen van het kustsysteem. Het gewonnen zand is aan land gebracht.

Periode 1973-1997	Trend van het zandverlies door zandwinning (Mm ³ /j)		
	Ondergrens	Trend	Bovengrens
Waddenzee		PM	
IJ-geul ¹	-5,8	-4,6	-3,7
Maasgeul ¹	-0,8	-0,5	-0,4
Slijkgat		PM	
Westerschelde ²		-2,6	
Kustfundament	-6,6	-5,1	-4,1
Kustsysteem	-9,2	-7,7	-6,7

¹Trends voor het zandverlies door zandwinning in de IJ-geul en de Maasgeul door Duin (2005). Voor beide trends geldt de periode 1973-1997. Het 90% betrouwbaarheidsinterval is ook aangegeven. Significante trends zijn in groen weergegeven. Zie ook het intermezzo op pagina 28.

² Rijkswaterstaat (2000).

4.4 Verandering door natuurlijke transporten

De zandvoorraden van het kustfundament zijn voortdurend aan verandering onderhevig als gevolg van natuurlijke sedimenttransporten. Uitwisseling van zand met de Waddenzee en de Westerschelde zijn voorbeelden hiervan (zie ook het intermezzo op pagina 10). De grootte van het netto effect van deze uitwisseling op de zandvoorraden wordt indirect afgeleid, door het opstellen van een zandbalans voor het kustfundament en het kustsysteem. De resulterende historische volumeverandering varieert in de tijd, hetgeen het doen van een eenduidige uitspraak over de ontwikkeling van het zandvolume bemoeilijkt. Daarom wordt, op dezelfde wijze als bij Mulder (2000), door het bepalen van de trend een middeling toegepast, waarbij in dit rapport tevens de bandbreedte rond deze trend wordt bepaald.

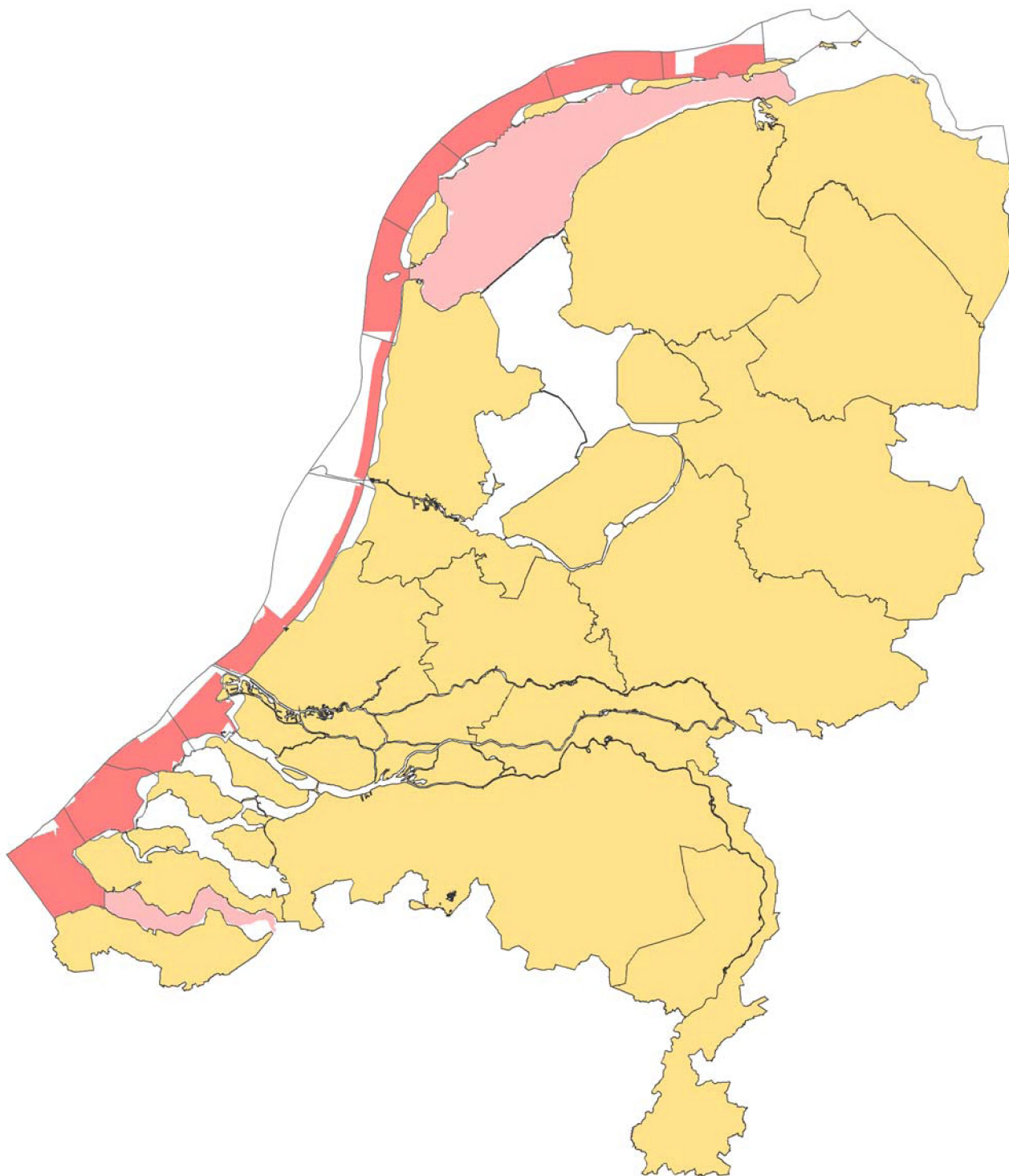
De berekende trend geeft nog geen compleet beeld van de volumeverandering door natuurlijke transporten van het kustfundament en het kustsysteem, omdat niet van het gehele gebied gegevens beschikbaar zijn en niet alle beschikbare gegevens zijn meegenomen in de analyse (zie hoofdstuk 2). Als laatste stap worden daarom aanvullende schattingen gemaakt om voor het kustfundament en het gehele kustsysteem tot een realistische waarde van de historische volumeverandering door natuurlijke transporten te komen.

4.4.1 Historische zandbalans uit beschikbare data

Walburg (2006) heeft per deelsysteem, voor het kustfundament en voor het kustsysteem een zandbalans opgesteld door de gemeten zandvoorraden in de geanalyseerde gebieden (zie Figuur 4.5, deze is gelijk aan linker figuur in Figuur 3.2) te corrigeren voor storten (suppleties) en onttrekken (zandwinning) van zand in die gebieden. Het principe van de zandbalans is uitgewerkt in het intermezzo op pagina 24. Duin (2005) heeft vervolgens hieruit trends berekend (zie het intermezzo op pagina 28). Alle trends zijn berekend over dezelfde perioden van 25 jaar met berekende volumes in de jaren 1973, 1975, 1980, 1985, 1990, 1993, 1995 en 1997.

Figuur 4.5

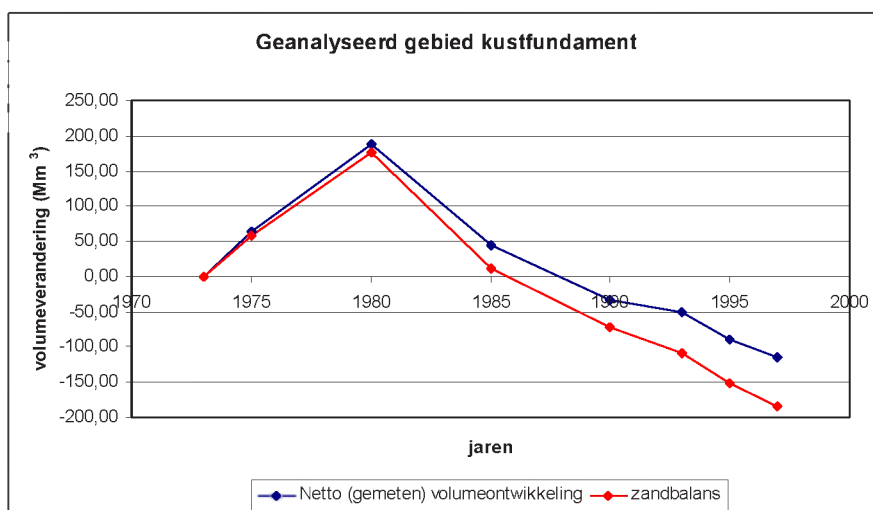
Geanalyseerde gebieden van het
kustfundament (donker gekleurde gebied), de
Waddenzee en de Westerschelde (beide licht
gekleurd), voor de periode 1973-1997.



Voor het kustfundament zijn de resultaten weergegeven in Figuur 4.6 en Tabel 4.2. De zandbalansen van de individuele deelsystemen zijn terug te vinden in Walburg (2006).

Figuur 4.6

Gemeten ontwikkeling en zandbalans (Mm^3) van de zandvoorraden van het kustfundament in het geanalyseerde gebied.



Tabel 4.2

Trends (Duin, 2005) van de volumeverandering door natuurlijke transporten (ΔN) van de deelsystemen en het kustfundament waarvoor gegevens zijn gebruikt (zie Figuur 4.5). Voor alle trends geldt de periode 1973-1997. Het 90% betrouwbaarheidsinterval is ook aangegeven (ondergrens en bovengrens). Significante trends zijn in groen weergegeven (zie ook het intermezzo op pagina 28).

Periode 1973-1997 Ruimtelijke dekking: zie Figuur 4.5	Trend van de volumeverandering door natuurlijke transporten (ΔN) (Mm^3/j)		
	Ondergrens	Trend	Bovengrens
Deelsysteem¹			
Eems Dollard ²		-	
Friesche Zeegat	-1,7	-1,4	-0,7
Amelandse Zeegat	-1,0	+0,1	+2,7
Het Vlie	-2,3	-1,7	-0,9
Eierlandse Zeegat	-1,2	-0,9	-0,5
Marsdiep	-5,0	-3,2	-2,1
Waddenkust (excl Eems-Dollard)³	-10,0	-6,7	-0,5
Noord-Holland	-1,8	-0,1	+0,8
IJ-geul ²		-	
Zuid-Holland ⁴	-0,9	-0,3	+0,4
Maasgeul ²		-	
Hollandse kust³	-1,7	-0,4	+1,2
Haringvliet delta ⁵	-1,2	0,1	+0,8
Grevelingen delta	-2,8	-0,4	+0,5
Oosterschelde delta	-3,6	-1,1	-0,1
Westerschelde delta	-3,3	-2,7	-1,5
Deltakust³	-10,6	-3,9	-0,4
Kustfundament³	-19,0	-15,0	-5,4

¹ Voor alle deelsystemen geldt dat het duingebied geheel ontbreekt.

² Geen bodemdieptegegevens geanalyseerd, daarom kon geen zandbalans worden opgesteld.

³ Optelling van de afzonderlijke trends geeft niet de trend van de samengestelde delen. Dit hangt samen met de gebruikte statistische methode (zie intermezzo op pagina 28).

⁴ In 4.2.2 is aangenomen dat al het gestorte materiaal op de Loswal Noord afkomstig is uit het kustfundament (interne herverdeling).

⁵ Gegevens over zandwinning in het Slikgat zijn onvolledig en derhalve onderschat.

Intermezzo: achtergrond trendanalyse

Voor het bepalen van een trendlijn bestaan verschillende technieken. In dit rapport is gebruik gemaakt van de Mann-Kendall techniek (Duin, 2005), die ook is toegepast door Mulder (2000). Deze techniek (ook wel de niet-parametrische methode genoemd) is in tegenstelling tot de normale lineaire regressie minder gevoelig voor uitschieters of extreme waarden.

Voor berekening van de hellingscoëfficiënt of trend wordt een iets andere techniek gebruikt dan bij de normale lineaire regressie. Bij de laatste wordt naar de optimale coëfficiënten gezocht met een minimalisering routine, zodat de meeste ideale lijn door de waarnemingen gaat. De Mann-Kendall methode daarentegen bepaalt van alle mogelijke hellingen tussen twee punten de mediane waarde, het middelste getal. Nadeel van deze methode ten opzichte van de lineaire regressie methode is dat trendgetallen van verschillende deelsystemen niet bij elkaar opgeteld mogen worden.

Bij elke hellingscoëfficiënt wordt een betrouwbaarheidsinterval berekend, dat met een bepaalde kans aangeeft binnen welke grenzen deze coëfficiënt valt. De grootte van dit interval en daarmee de nauwkeurigheid van de coëfficiënt wordt o.a. bepaald door het aantal waarnemingen en de mate waarin de waarden rondom de lineaire trendlijn liggen. Hoe meer spreiding rondom deze lijn hoe groter de onbetrouwbaarheid en dus hoe kleiner de nauwkeurigheid. Met het betrouwbaarheidsinterval kan beoordeeld worden of een helling wel significant van nul (de horizontale lijn oftewel geen trend) verschilt. Indien binnen het berekende interval de waarde nul valt, dan zeggen we dat er geen trend aanwezig is. In dit rapport is gekozen voor een 90% betrouwbaarheidsinterval, waarmee wordt aangegeven dat in 90 van de 100 gevallen de werkelijke trendwaarde binnen dit interval ligt. De grootte is bepaald door het geringe aantal waarnemingen waarop bij bepaalde gebieden de trend is berekend. In de betreffende tabellen zijn de significante trends groen gemarkeerd.

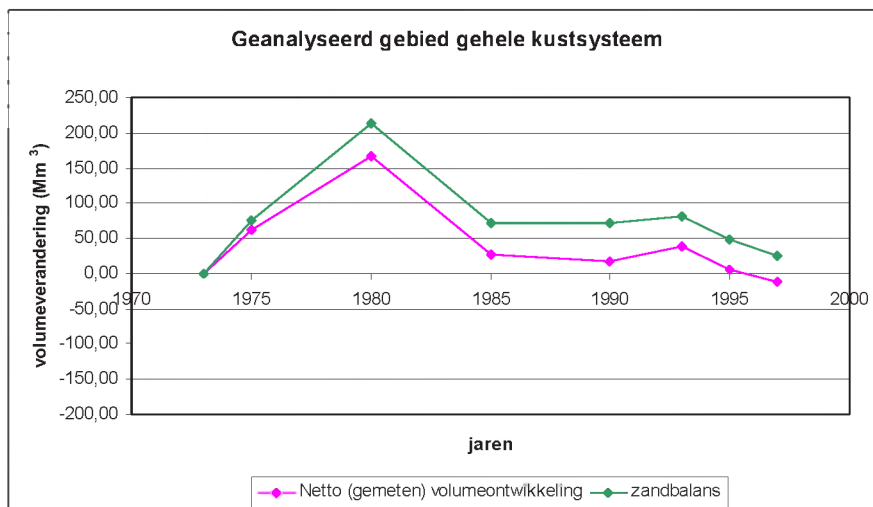
Zoals gezegd mogen individuele trends niet opgeteld worden. Voor het kustfundament is daarom de trend bepaald van de bij elkaar opgetelde volumeveranderingen. Optelling van de trends levert bijvoorbeeld voor de Waddenkust een overschatting op (-7,1 Mm³/jaar tegen -6,7 Mm³/jaar), terwijl het optellen van alle trends van de deelsystemen een onderschatting tot gevolg heeft (-11,4 Mm³/jaar tegen -15,0 Mm³/jaar).

Het bepalen van een lineaire trend is een eerste orde benadering voor het werkelijke gedrag van het kustsysteem. Het is een puur statistische benadering, waarbij morfologische kennis van het systeem niet wordt meegenomen. Dit komt tot uitdrukking in de vrij grote betrouwbaarheidsintervallen. Betere benaderingen zijn in de toekomst wellicht te behalen door andere technieken, al dan niet ondersteund door numerieke modellen.

Voor het gehele kuststelsel zijn de resultaten weergegeven in Figuur 4.7 en Tabel 4.3.

Figuur 4.7

Gemeten ontwikkeling en zandbalans (Mm^3) van de zandvoorraden van het gehele kuststelsel (kustfundament, Waddenzee en Westerschelde) in het geanalyseerde gebied.



Tabel 4.3

Trends (Duin, 2005) van de volumeverandering door natuurlijke transporten (ΔN) van het kuststelsel waarvoor gegevens zijn gebruikt (zie Figuur 4.5). Voor alle trends geldt de periode 1973-1997. Het 90% betrouwbaarheidsinterval is ook aangegeven (ondergrens en bovengrens). Significante trends zijn in groen weergegeven (zie ook het intermezzo op pagina 28).

Periode 1973-1997	Trend van de volumeverandering door natuurlijke transporten (ΔN) (Mm^3/j)		
Ruimtelijke dekking: zie Figuur 4.5			
Deelsysteem	Ondergrens	Trend	Bovengrens
Kustfundament	-19,0	-15,0	-5,4
Waddenzee (excl Eems-Dollard)	+6,0	+7,5	+10,9
Westerschelde	-1,0	+1,4	+2,4
Kuststelsel: kustfundament, Waddenzee en Westerschelde¹	-10,9	-1,4	3,5

¹Optelling van de afzonderlijke trends geeft niet de trend van de samengestelde delen. Dit hangt samen met de gebruikte statistische methode (zie intermezzo op pagina 28).

4.4.2 Aanvullende schattingen

Om te komen tot een betere schatting van het zandverlies door natuurlijke transporten zijn aannames nodig voor die gebieden waarvoor geen gegevens zijn gebruikt. Dit betreft achtereenvolgens het duingebied, de Eems-Dollard, de meest zeewaart gelegen gebieden en de IJ-geul en de Maasgeul.

Het duingebied is niet meegenomen in de historische zandbalans. Op de overgang tussen strand en duingebied heeft echter wel transport plaatsgevonden richting de duinen. Voor het kustfundament als geheel leverde dit geen verliespost op: er ging geen zand verloren, maar het duingebied groeide aan. Voor de berekende trend uit de geanalyseerde data in Tabel 4.2 moet echter voor deze post gecorrigeerd worden, omdat dus een deel van het berekende verlies behouden is gebleven in het kustfundament. Zonder deze correctie wordt het zandverlies overschat. De groei van het duingebied is namelijk ten koste gegaan van het zand in die gebieden waarvoor wél een zandbalans opgesteld kon worden. Door Van der Wal (1999) is het netto transport van strand naar duin voor een aantal locaties langs de kust gemeten. De minimum en maximum gemeten waarden waren hierbij $3,32 m^3/m/jaar$ (Domburg) en $16,78 m^3/m/jaar$ (Kop van Schouwen) met een gemiddelde voor alle waarden van $9,05 m^3/m/jaar$. Nemen we deze waarden als representatief voor de gehele duinenkust (254 km), dan volgen hieruit als ondergrens, trend en bovengrens respectievelijk $+0,8 Mm^3/jaar$, $+2,3 Mm^3/jaar$ en $+4,3 Mm^3/jaar$.

Voor het (kust)deelsysteem Eems-Dollard wordt het zandverlies, naar rato van het beschouwde oppervlakte, evenredig verondersteld aan het zandverlies van de overige deelsystemen langs de Wadden (Tabel 4.2). Als ondergrens, trend en bovengrens worden respectievelijk -2,4 Mm³/jaar, -1,6 Mm³/jaar en -0,1 Mm³/jaar aangehouden. Aangenomen wordt dat de sedimentatie van het binnengebied even groot is als de geschatte erosie van het buitengebied.

In de meest zeewaarts gelegen gebieden, waarvoor geen gegevens bekend zijn, vindt relatief weinig sedimenttransport plaats. Daarom wordt aangenomen dat de volumeveranderingen in die gebieden in de periode 1973-1997 verwaarloosbaar zijn. Tevens wordt aangenomen dat er geen zandtransport heeft plaatsgevonden tussen de gebieden waarvoor wel gegevens bekend zijn en de gebieden waarvoor geen gegevens bekend zijn. De invloed van deze gebieden op het natuurlijke zandverlies van het kustfundament wordt derhalve gesteld op nul.

Voor de loswallen gaat deze aanname niet geheel op. In de IJ-geul en de Maasgeul heeft in de periode 1973-1997 namelijk zowel onderhouds- als verdiepingsbaggerwerk plaatsgevonden. Dit materiaal is óf teruggestort op de loswallen in het kustfundament (zie 4.2.2) óf middels zandwinning onttrokken aan het kustfundament (zie 4.3). Gegeven de eerdere aannames geeft een zandbalans van vaargeulen en loswallen toch een netto resultaat van nul.

Het resultaat van bovenstaande correcties is samengevat in onderstaande tabellen.

Tabel 4.4

Schatting van het zandverlies door natuurlijke transporten over de periode 1973-1997 van het kustfundament, zoals gedefinieerd in de Nota Ruimte (2004), door correcties voor de ontbrekende data.

Kustfundament, periode 1973-1997	Resultierend zandverlies door natuurlijke transporten (Mm ³ /j)		
	Ondergrens	Trend	Bovengrens
Geanalyseerd gebied kustfundament (zie Figuur 4.5)	-19,0	-15,0	-5,4
Schatting voor het duingebied	+0,8	+2,3	+4,3
Schatting voor Eems-Dollard	-2,4	-1,6	-0,1
Schatting voor ontbrekende zeewaarts gelegen gebieden en voor IJ-geul en Maasgeul	0	0	0
Schatting kustfundament¹	-21	-14	-1

¹ Schatting, geen statistisch bepaalde waarde. Daarom is hier lineair opgeteld en afgerond.

Tabel 4.5

Schatting van het zandverlies door natuurlijke transporten over de periode 1973-1997 van het kustsysteem, zoals gedefinieerd in de Nota Ruimte (2004), door correcties voor de ontbrekende data.

Kustsysteem, periode 1973-1997	Resultierend zandverlies door natuurlijke transporten (Mm ³ /j)		
	Ondergrens	Trend	Bovengrens
Geanalyseerd gebied kustsysteem (kustfundament, Waddenzee en Westerschelde, zie Figuur 4.5)	-10,9	-1,4	+3,5
Schatting voor het duingebied	+0,8	+2,3	+4,3
Schatting voor Eems-Dollard ¹	0	0	0
Schatting voor ontbrekende zeewaarts gelegen gebieden en voor IJ-geul en Maasgeul	0	0	0
Schatting kustsysteem	-10	+1	+8

¹ Voor de Eems-Dollard wordt aangenomen dat sedimentatie van het getijdebekken gelijk is aan de erosie van de buitendelta. Het netto resultaat is daarom gelijk aan nul.

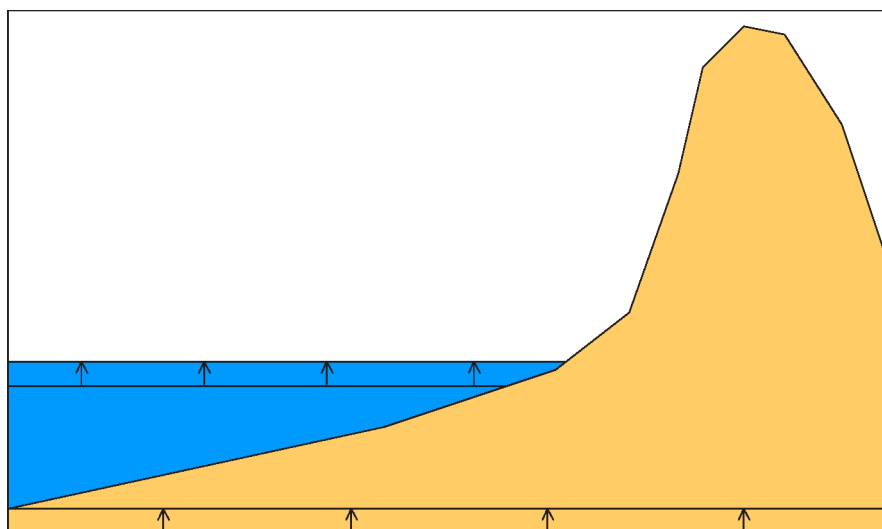
¹ Schatting, geen statistisch bepaalde waarde. Daarom is hier lineair opgeteld en afgerond.

4.5 Zandverlies door zeespiegelstijging

Gegeven het uitgangspunt in Hoofdstuk 2, dat het waarborgen van de zandvoorraden doorvertaald kan worden als meegroeien met de zeespiegelstijging, kan zeespiegelstijging worden aangemerkt als verliespost.

De relatieve afname van de zandvoorraad door zeespiegelstijging komt overeen met de blauwe "schijf" water in Figuur 4.8. In dit rapport wordt echter uitgegaan van de definitie van het kustfundament, waar het duingebied deel van uitmaakt. De jaarlijkse relatieve volumeafname als gevolg van zeespiegelstijging kan conform Hoofdstuk 2 berekend worden door vermenigvuldiging van het beschouwde oppervlak van het kustfundament met de jaarlijks opgetreden zeespiegelstijging. Hierbij wordt voor de periode 1973-1997 uitgegaan van de daadwerkelijk opgetreden zeespiegelstijging van 18 cm/eeuw (Dillingh, 2002).

Figuur 4.8
Schematische weergave van de relatieve afname van de actieve zandvoorraad door zeespiegelstijging in een dwarsprofiel van de kust.



Uitgangspunt vormt het oppervlak zoals weergegeven in Figuur 4.5. In Tabel 4.6 is dit uitgewerkt op deelsysteemniveau voor zowel het zeewaartse deel als het duingebied. Dit onderscheid maakt het mogelijk het relatieve aandeel van het duingebied aan te geven en maakt tevens een vergelijking mogelijk met Mulder (2000), die enkel het zeewaartse deel meenam.

In de berekeningen is voor de zeewaartse grens de doorgaande NAP -20m lijn gebruikt, zoals deze door RWS Noordzee en RWS RIKZ in het Geopakhuis is opgenomen en zoals deze in het Netwerk Informatie Systeem (NIS) van Rijkswaterstaat zal worden opgenomen. De landwaartse grens van het duingebied is indicatief aangegeven in de Nota Ruimte (2004, zie Figuur 1.1). De definitieve landwaartse begrenzing moet nog worden vastgelegd door provincies en gemeenten (Nota Ruimte, 2004).

Tabel 4.6

Relatieve afname van de actieve zandvoorraad als gevolg van zeespiegelstijging (in Mm^3/jaar) per deelsysteem en van het kustfundament, berekend voor 18 cm/eeuw zeespiegelstijging.

Deelsysteem	Afname van de zandvoorraad (Mm^3/j)		
	Opgetreden: 18 cm/eeuw		
	Zeewaarts	Duingebied	Totaal
Eems-Dollard ¹	-0,48		-0,5
Friesche Zeegat	-0,45	0,00	-0,5
Amelande Zeegat	-0,47	-0,06	-0,5
Het Vlie	-0,44	-0,05	-0,5
Eierlandsche Gat	-0,36	-0,06	-0,4
Marsdiep	-0,51	-0,05	-0,6
Totaal Waddenkust	-2,72	-0,22	-2,9
Noord-Holland	-0,63	-0,09	-0,7
IJ-geul	-0,03	-0,01	0,0
Zuid-Holland	-1,38	-0,16	-1,5
Maasgeul	-0,01	0,00	0,0
Totaal Hollandse Kust	-2,05	-0,26	-2,3
Haringvliet delta	-0,42	-0,09	-0,5
Grevelingen delta	-0,36	-0,02	-0,4
Oosterschelde delta	-0,55	-0,08	-0,6
Westerschelde delta	-0,75	-0,01	-0,8
Totaal Deltakust	-2,08	-0,20	-2,3
Totaal kustfundament	-6,85	-0,68	-7,5

¹Voor het deelsysteem Eems-Dollard is geen onderscheid gemaakt tussen het zeewaartse deel van het deelsysteem en het duingebied.

In Tabel 4.7 is het relatieve zandverlies door zeespiegelstijging weergegeven voor de Waddenzee en de Westerschelde. Tevens is gesommeerd voor het gehele kuststelsel.

Tabel 4.7

Relatieve afname van de zandvoorraad als gevolg van zeespiegelstijging (in Mm^3/jaar) voor het kuststelsel, berekend voor 18 cm/eeuw zeespiegelstijging.

Deelsysteem	Afname van de zandvoorraad (Mm^3/j)
	opgetreden: 18 cm/eeuw
Kustfundament	-7,5
Waddenzee ^{1,2}	-4,5
Westerschelde	-0,5
Kuststelsel: kustfundament, Waddenzee en Westerschelde	-12,5

¹Exclusief de landaanwinningsgebieden.

²Voor de Eems-Dollard is op sommige punten een gebiedsgrens aangenomen.

4.6 Samenvatting

Alle winst- en verliesposten (suppleren, zandwinning, natuurlijke transportprocessen en zeespiegelstijging) overziend kan geconstateerd worden dat alleen suppleren tot een toename leidt van de zandvoorraden in het kustfundament. Er zijn drie verliesposten aan te wijzen voor het kustfundament: zandwinning, zandverlies door natuurlijke transportprocessen en zandverlies door zeespiegelstijging. Voor het gehele kuststelsel is het zandverlies door natuurlijke transporten verwaarloosbaar ($+1 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$, met als onder en bovengrens respectievelijk -10 en $+8 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$).

Met het structureel suppleren van de kust is in 1991 begonnen. Tot 2000 werd jaarlijks gemiddeld 6 Mm^3 zand gesuppleerd (Roelse, 2002), vanaf 2001 is dit bedrag verdubbeld naar $12 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ (3^e Kustnota).

De verliesposten zijn berekend over de periode 1973-1997 en zijn samengevat in onderstaande tabellen:

Tabel 4.8

Totaal verliesposten van het kustfundament over de periode 1973-1997.

Verliespost kustfundament Periode: 1973-1997	Verlies (Mm ³ /jaar)	Onder- en bovengrens (Mm ³ /jaar)
Menselijke ingrepen		
Zandwinning IJ-geul en Maasgeul (Tabel 4.1)	-5,1	-6,6 / -4,1
Natuurlijke oorzaken		
Natuurlijke transporten (Tabel 4.4)	-14	-21 / -1
Zeespiegelstijging (18 cm/eeuw) (Tabel 4.6) ¹	-7,5	-7,5 / -7,5
Totaal	-26,6	-35,1 / -12,6

¹Er is geen onder- en bovengrens bepaald. De waarde kan nog wijzigen, omdat de definitieve landwaartse begrenzing nog moet worden vastgelegd door provincies en gemeenten (Nota Ruimte, 2004)

Tabel 4.9

Totaal verliesposten van het kustsysteem (kustfundament, Waddenzee en Westerschelde) over de periode 1973-1997.

Verliespost kustsysteem Periode: 1973-1997	Verlies (Mm ³ /jaar)	Onder- en bovengrens (Mm ³ /jaar)
Menselijke ingrepen		
Zandwinning (Tabel 4.1)	-7,7	-9,2 / -6,7
Natuurlijke oorzaken		
Natuurlijke transporten (Tabel 4.5)	+1	-10 / +8
Zeespiegelstijging (18 cm/eeuw) (Tabel 4.7) ¹	-12,5	-12,5 / -12,5
Totaal	-19,2	-31,7 / -11,2

¹Er is geen onder- en bovengrens bepaald. De waarde kan nog wijzigen, omdat de definitieve landwaartse begrenzing nog moet worden vastgelegd door provincies en gemeenten (Nota Ruimte, 2004)

5 Discussie over de resultaten

5.1 Toetsing van het conceptuele model

In hoofdstuk 4 zijn voor het kustfundament en voor het kustsysteem (kustfundament, Waddenzee en Westerschelde) de winst en verliesposten berekend over de periode 1973-1997. Aan de hand van deze informatie kan een eerste inschatting worden gemaakt over de toepasbaarheid van het conceptuele model voor het berekenen van de suppletiebehoefte.

Het uitgangspunt dat het Nederlandse kustsysteem zonder zeespiegelstijging en zonder menselijke ingrepen in een (morfologisch) stabiele toestand verkeert, lijkt niet te worden weersproken. Immers, voor het gehele kustsysteem geldt dat het zandverlies door natuurlijke transporten ($+1 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$, met als onder en bovengrens respectievelijk -10 en $+8 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$) verwaarloosbaar is.

De zandbalansen van de Waddenzee en de Westerschelde geven inzicht in de mate waarin deze bekkens de zandvoorraden van het kustfundament beïnvloeden. In beide gebieden is sedimentatie opgetreden, waarbij het kustfundament het zand heeft geleverd. Voor zowel de Waddenzee als voor de Westerschelde geldt dat de waargenomen sedimentatie de theoretische zandvraag bij de opgetreden zeespiegelstijging overtreft. Dit kan verklaard worden door het naijlingseffect van grootschalige werken (Afsluitdijk, afsluiting Lauwerszee) in het verleden. Daarnaast speelt ook de sedimentatie van slib een rol. Sedimentatie gaat ten koste van de zandvoorraad in de buitendelta's (zie het intermezzo op pagina 10). Het zandverlies van het geanalyseerde gebied van de Waddenkust ($-6,7 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$, Tabel 4.2) blijkt, rekening houdend met de bandbreedte om de berekende waarden, goed overeen te komen met de gemeten sedimentatie van de Waddenzee ($+7,5 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$, Tabel 4.3) en met de door Mulder (2000, Appendix 1) geschatte maximale sedimentvraag door de Waddenzee.

Hoewel het kustsysteem van nature geen zand verliest, zijn door zandwinning de zandvoorraden van het kustsysteem toch aangetast. Op basis van de in dit rapport gebruikte gegevens kan worden geconcludeerd dat in de periode 1973-1997 jaarlijks gemiddeld 8 Mm^3 zand aan het kustsysteem onttrokken is, zonder dat daarvoor compensatie heeft plaatsgevonden. Omdat niet alle gegevens van zandwinning geïnterpreteerd zijn zal in werkelijkheid dit getal nog hoger uitvallen.

Als het uitgangspunt is dat het kustsysteem meegroeit met de zeespiegelstijging, dan lijkt de benadering, waarbij de daaruit afgeleide suppletiebehoefte sterk vereenvoudigd kan worden vastgesteld door de oppervlakte van het kustsysteem te vermenigvuldigen met de mate van zeespiegelstijging, dus een goed uitgangspunt. Wel dient rekening te worden gehouden met de momenteel optredende versterkte sedimentatie van de estuaria (door aanpassing van het kustsysteem na aanleg van grootschalige kunstwerken als de Afsluitdijk) en zal een vorm gevonden moeten worden hoe om te gaan met zandwinning in het kustsysteem.

5.2 Vergelijking met de berekeningen van Mulder (2000)

Vergelijken we de resultaten uit het vorige hoofdstuk met Mulder (2000), dan valt direct op dat het in dit rapport berekende totale zandverlies van het kustfundament van $-26,6 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ (Tabel 4.8) aanzienlijk hoger is dan het zandverlies berekend door Mulder (2000). In deze paragraaf wordt daarom een vergelijking gemaakt tussen beide berekeningen. De door Mulder (2000) berekende zandverliezen zijn weergegeven in Tabel 5.1. Hij kwam daarbij uit op een totaal zandverlies van $-9,3 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$.

Tabel 5.1

Zandverlies per deelsysteem voor het scenario 20 cm/eeuw zeespiegelstijging uit Mulder (2000). Periode 1965-1995. Getallen zijn uitgedrukt in Mm^3/jaar .

Periode 1965-1995 Deelsysteem	(Mm ³ /jaar)		
	Natuurlijke transporten	Zeespiegelstijging	Totaal
Eems-Dollard			
Friesche Zeegat	-1,13	-0,25	-1,38
Amelandse Zeegat	+2,11	-0,25	+1,86
Het Vlie	-1,50	-0,29	-1,79
Eierlandse Zeegat	-0,60	-0,21	-0,81
Marsdiep	-2,91	-0,29	-3,20
Waddenkust	-4,03	-1,29	-5,32
Noord-Holland	-0,09	-0,33	-0,42
IJ-geul			
Zuid-Holland	-0,18	-0,49	-0,67
Maasgeul			
Hollandse kust	-0,27	-0,82	-1,09
Deltakust	-2,20	-0,70	-2,90
Totaal	-6,50	-2,81	-9,31

Overall vergelijking van de berekening

Op hoofdlijnen kunnen de volgende opmerkingen gemaakt worden:

- Het meenemen van de verliespost zandwinning heeft in de huidige berekening een aanzienlijk aandeel in het totale zandverlies van het kustfundament ($-5,1 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$, Tabel 4.1). Mulder nam zandwinning niet mee.
- In de huidige berekening is volgens dezelfde methode als bij Mulder (2000) de trend bepaald van de historische zandbalans. Optelling van de trends van de deelsystemen is om statistische redenen niet toegestaan (intermezzo op pagina 28). Mulder berekende het totale zandverlies door natuurlijke transporten door optelling van de trends van de deelsystemen. Hoe groot de hiermee geïntroduceerde fout is kan niet worden nagegaan. In de huidige berekening levert dit een onderschatting van het zandverlies van ruim $3 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$.
- Mulder berekende geen zandverlies voor het deelsysteem Eems-Dollard. In de huidige berekening levert dit deelsysteem voor het kustfundament een zandverlies van $-2,1 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ (Tabel 4.4 en Tabel 4.6).
- Mulder nam het duingebied niet mee. Met de introductie van het kustfundament maakt het duingebied echter expliciet onderdeel uit van het beheersgebied. Meenemen van het duingebied geeft voor zeespiegelstijging een verliespost van $-0,68 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ (Tabel 4.6), maar op het zandverlies door natuurlijke transporten is een correctie uitgevoerd van

+2,3 (Tabel 4.4) Mm^3/jaar . Het netto resultaat voor het meenemen van het duingebied komt in de huidige berekening daarmee op +1,6 Mm^3/jaar .

- De beschouwde periodes komen niet geheel overeen. De invloed van het gekozen tijdvenster kan van invloed zijn op de berekening van de trends.

Vergelijking component zeespiegelstijging

Mulder (2000) berekende het zandverlies als gevolg van zeespiegelstijging, zonder het meenemen van de Eems-Dollard en zonder het duingebied, en kwam uit op een waarde van -2,8 Mm^3/jaar , uitgaande van 20 cm/eeuw zeespiegelstijging. Uit Tabel 4.6 is af te leiden dat voor het kustfundament exclusief Eems-Dollard en exclusief duingebied een waarde volgt van circa -6,5 Mm^3/jaar bij 18 cm/eeuw zeespiegelstijging. Het verschil kan slechts ten dele worden toegeschreven aan de wijziging van de zeewaartse begrenzing. De belangrijkste oorzaak ligt in de berekeningswijze in een door Mulder (2000) gebruikte onderliggende studie (Wolters, 1995), die anders is dan de in dit rapport gehanteerde vermenigvuldiging van oppervlakte en zeespiegelstijging.

Vergelijking zandverlies door natuurlijke transporten

Deze zandverliezen zijn berekend uit de historische zandbalansen van de afzonderlijke deelsystemen. Een van de aanleidingen van de huidige berekeningen was de uitbreiding ten opzichte van Mulder (2000) met veel nieuwe gegevens (zie Figuur 3.2).

Voor de Waddenkust kan geconcludeerd worden dat de zandverliezen in de huidige berekende trends vergelijkbaar zijn met die van Mulder, echter zijn wel alle verliezen groter. In de nieuwe berekening resulteert dit voor de Waddenkust in een verlies van -6,7 Mm^3/jaar in het geanalyseerde gebied (Tabel 4.2 en Figuur 4.5), waar Mulder uit kwam op -4 Mm^3/jaar .

De deelsystemen Noord-Holland en Zuid-Holland geven vergelijkbare trends te zien als bij Mulder (2000). In deze deelsystemen zijn ook relatief het minste nieuwe gegevens beschikbaar gekomen.

In de Deltakust zijn zeer veel nieuwe gegevens meegenomen in de analyse. Mulder werkte hier met een aanname voor het zandverlies van -2,2 Mm^3/jaar . Uit de historische zandbalans is een verlies berekend van -3,9 Mm^3/jaar (Tabel 4.2).

Voor het totale kustfundament wijken de optelling van Mulder (-6,5 Mm^3/jaar) en de schatting van het zandverlies in de huidige studie (-14 Mm^3/jaar , Tabel 4.4) als gevolg van bovenstaande verschillen behoorlijk af.

Conclusie

Vergelijking van de nieuw berekende getallen met de getallen van Mulder (2000) laat een duidelijk groter zandverlies zien van het kustfundament. Dit wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door het niet meenemen van zandwinning in het kustfundament door Mulder (2000), een onderschatting door Mulder (2000) van het zandverlies door zeespiegelstijging en het herberekenen van het zandverlies door natuurlijke transporten. Deze nieuwe berekeningen vonden plaats vanwege een gewijzigde ruimtelijke begrenzing en een grotere beschikbaarheid van gegevens.

5.3 Nauwkeurigheid van de resultaten in perspectief

Een grote beperking bij de interpretatie van de resultaten uit het vorige hoofdstuk zit in de nauwkeurigheid van de gegevens waarmee de volumeveranderingen door natuurlijke transporten zijn berekend en in de

bandbreedte van de berekende trends. Deze bandbreedte is in veel gevallen groot, wat enerzijds wordt veroorzaakt doordat in de geanalyseerde periode maar een klein aantal meetpunten beschikbaar is en anderzijds te maken heeft met de grote spreiding van die meetpunten. Over de betrouwbaarheid van de individuele meetpunten is in het geheel geen informatie beschikbaar.

Dit betekent niet dat resultaten geen waarde hebben. In de eerste plaats zijn de resultaten op dezelfde wijze verkregen als Mulder (2000), wiens getallen ter onderbouwing van de 3^e Kustnota (2000) hebben gediend. Dit maakte het mogelijk een vergelijking te maken met Mulder (2000). Daarnaast zijn de resultaten gebruikt om het conceptuele model te toetsen. De huidige grote bandbreedte rondom de berekende getallen kan als aanvullend argument worden opgevoerd om het conceptuele model als uitgangspunt te nemen bij het bepalen van de suppletiebehoefte van het kustfundament.

6 Conclusies en vervolgstappen

6.1 Conclusies

In dit rapport is een conceptueel model gepresenteerd voor het berekenen van de suppletiebehoefte. Het model gaat er vanuit dat het Nederlandse kustsysteem (kustfundament, Waddenzee en Westerschelde) zonder zeespiegelstijging en zonder menselijke ingrepen op een tijdschaal van 50 tot 200 jaar in een (morfologisch) stabiele toestand verkeert. De suppletiebehoefte kan in dat geval sterk vereenvoudigd worden berekend door de oppervlakte van het kustsysteem te vermenigvuldigen met de zeespiegelstijging.

Op basis van geanalyseerde gegevens over de periode 1973-1997 van het gehele Nederlandse kustsysteem (kustfundament, Waddenzee en Westerschelde) wordt geconcludeerd dat het conceptuele model een goed uitgangspunt vormt voor het bepalen van de suppletiebehoefte. Wel dient rekening te worden gehouden met de momenteel optredende versterkte sedimentatie van de estuaria (door aanpassing van het kustsysteem na aanleg van grootschalige kunstwerken als de Afsluitdijk) en zal een vorm gevonden moeten worden hoe om te gaan met zandwinning in het kustsysteem.

Daarnaast zijn de winst- en verliesposten gekwantificeerd en is een vergelijking gemaakt met Mulder (2000). Na het verschijnen van Mulder (2000) is in de Nota Ruimte (2004) de begrenzing van het kustfundament vastgelegd. De zeewaartse grens bestaat uit de doorgaande NAP -20m lijn, aan de landzijde vormt de binnenduintrand de grens. De Waddenzee en de Westerschelde maken geen deel uit van het kustfundament. Deze definitie van het kustfundament, tezamen met een grotere beschikbaarheid van gegevens, waren de aanleiding om nieuwe berekeningen uit te voeren.

De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- Door natuurlijke processen vindt er transport plaats van het kustfundament naar de Waddenzee en de Westerschelde. Hierdoor gaat er voor het kustsysteem in zijn geheel geen zand verloren, omdat sprake is van een interne herverdeling. Het uitgangspunt dat het Nederlandse kustsysteem zonder zeespiegelstijging en zonder menselijke ingrepen in een (morfologisch) stabiele toestand verkeert wordt door de gegevens niet weerlegd.
- Door zandwinning is in de periode 1973-1997 een zandverlies berekend van orde -5 Mm^3 voor het kustfundament. Voor het kustsysteem bedroeg dit orde $-8 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$. Dit is een onderschatting, aangezien de gegevens over zandwinning onvolledig zijn.
- Zeespiegelstijging levert geen direct zandverlies op, maar vanwege het meegroeien van het kustsysteem met de zeespiegelstijging, kan de relatieve afname van de zandvoorraden als verlies worden bestempeld. Uitgaande van de huidige snelheid van zeespiegelstijging van $18 \text{ cm}/\text{eeuw}$ komt voor het kustfundament het zandverlies neer op $-7,5 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$, voor het kustsysteem bedraagt dit $-12,5 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$.
- De in dit rapport gepresenteerde berekeningen laten een duidelijk groter zandverlies zien van het kustfundament dan berekend door Mulder (2000).

Dit wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door het niet meenemen van zandwinning in het kustfundament door Mulder (2000), een onderschatting door Mulder (2000) van het zandverlies door zeespiegelstijging en het herberekenen van het zandverlies door natuurlijke transporten. Deze nieuwe berekeningen vonden plaats vanwege een gewijzigde ruimtelijke begrenzing en een grotere beschikbaarheid van gegevens.

6.2 Vervolgstappen

De Nota Ruimte (2004) spreekt over het waarborgen van de zandvoorraden. In het voorliggende rapport wordt een conceptueel model gepresenteerd, dat als uitgangspunt kan dienen voor het bepalen van de suppletiebehoefte van het kuststelsel. Er wordt echter geen uitspraak gedaan over de wijze waarop het zand langs de kust verdeeld moet worden. Hiervoor dient een uitvoeringskader te worden opgesteld, waarmee op een slimme manier aan het waarborgen van de zandvoorraden van het kustfundament kan worden voldaan en waarin een antwoord wordt gegeven op de vraag hoe in de toekomst met zandwinning binnen het kuststelsel moet worden omgegaan.

De ten opzichte van Mulder (2000) door de huidige berekende trends uit het verleden gewijzigde inzichten en het conceptuele model kunnen, samen met het toekomstbeeld, bijdragen aan de evaluatie van de 3^e Kustnota (2000), die gepland staat voor het najaar van 2006. Hierbij dienen tevens huidige beleidsontwikkelingen, zoals zwakke schakels en bescherming van buitendijkse bebouwing, gezet te worden naast de inspanningen die momenteel geleverd wordt voor kustlijnverzorging. Ook deze beleidsontwikkelingen kunnen een plaats krijgen in het uitvoeringskader.

In dit rapport wordt een beeld geschetst van de historische ontwikkeling van de zandvoorraden in het Nederlandse kuststelsel en de herverdeling tussen het kustfundament en de Waddenzee en de Westerschelde enerzijds en binnen het kustfundament anderzijds. Daarbij is het aan te bevelen de nauwkeurigheid van de gebruikte gegevens te achterhalen. Een vervolgstap is om aan de hand van de resultaten een voorspelling op te stellen van de toekomstige ontwikkeling van de zandvoorraden en deze te leggen naast de uitkomsten van het in dit rapport gepresenteerde conceptuele model.

Referenties

De Kruif, A.C., 2001. Bodemdieptegegevens van het Nederlandse kustsysteem, beschikbare digitale data en een overzicht van aanvullende analoge data. Rapport RIKZ/2001.041, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Dillingh, D., 2002. Klimaatverandering en zeespiegelstijging: vroeger, nu en in de toekomst. Mens & Wetenschap nr. 5, jaargang 29, augustus-september 2002

Duin, R.N.M., 2005. Trends in de zandhuishouding van het Nederlandse kustsysteem. Werkdocument RIKZ/KW/2005.132w, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Hoogervorst, R.D.N., 2005. Inventarisatie bagger-, stort- en zandwingegevens binnen de -20 m NAP, ten behoeve van een zandbalans van het Nederlandse kustsysteem. Werkdocument RIKZ/KW/2005.103w, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Kustbalans 1995, 1996. De tweede kustnota. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. HW/AK 216261.

Kustnota, 1990. Kustverdediging na 1990, beleidskeuze voor de kustlijnverzorging. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21 136, nrs. 5-6.

3^e Kustnota, 2000. Traditie, Trends en Toekomst. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Louters, T., F. Gerritsen, 1994. Het mysterie van de wadden, hoe een getijdesysteem inspeelt op de zeespiegelstijging. Rapport RIKZ-94.040, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2002. Naar integraal kustzonebeleid, beleidsagenda voor de kust.

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

Nota Ruimte, 2004. Ruimte voor ontwikkeling. Ministeries van VROM, LNV, VenW en EZ.

Oost, A.P., 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, 1998. Integrale bodemdalingstudie Waddenzee. Nederlandse Aardolie Maatschappij, rapport, 372 pag.

Roelse, P., 2002. Water en zand in balans. Evaluatie zandsuppleties na 1990; een morfologische beschouwing. Rapport RIKZ/2002.003, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Rijkswaterstaat, 2006. Kustlijnkaarten 2006. Rapport RIKZ/2006.001, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Rijkswaterstaat, directie Zeeland, 2000. Zand in de Hand, Beleidsplan Zandwinning Westerschelde 2001-2011. Nota NWL-00.50. Rijkswaterstaat, directie Zeeland.

Van der Wal, D., 1999. Aeolian Transport of Nourishment Sand in Beach-Dune Environments. Thesis Universiteit van Amsterdam.

Walburg, L., 2006 (in voorbereiding). Zandbalans van het Nederlandse kustsysteem. Werkdocument RIKZ/KW/2005.133w, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Wolters, A.F., 1995. Zeespiegelstijging en de gevolgen voor de Nederlandse kust. Rapport TAW-C/TU Delft, september 2005.