



Zandverliezen in het Nederlandse kuststelsysteem

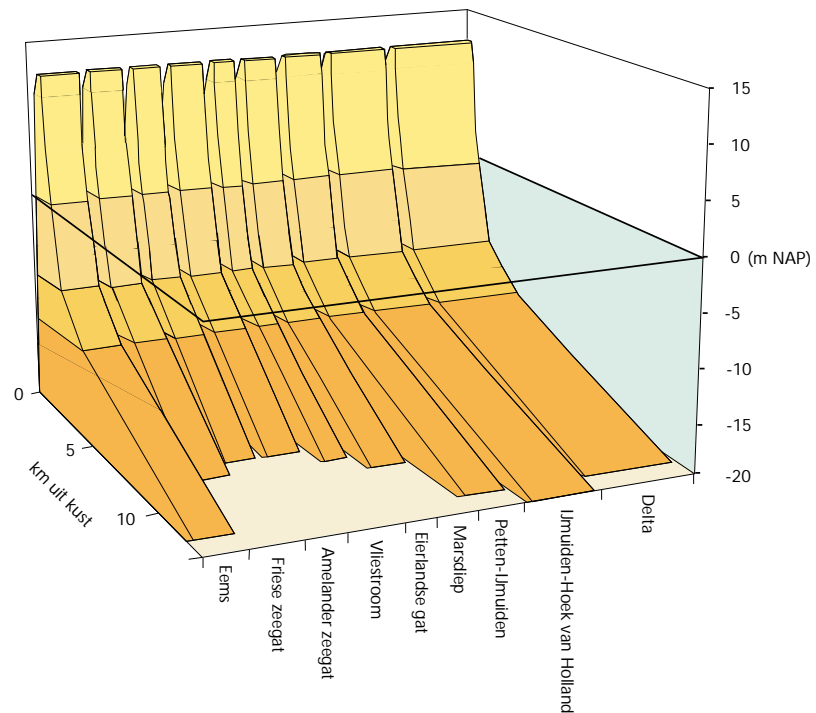
Advies voor Dynamische Handhaven in de 21^e eeuw

Auteur: J.P.M. Mulder

rapport RIKZ/2000.36

juni 2000

Schematische drie-dimensionale weergave van de Nederlandse kust, onderverdeeld in deelsystemen.



Inhoudsopgave

Lijst van figuren	5
Lijst van tabellen	7
Lijst van appendices	9
Samenvatting	11
1 Zandbalans: een winst- en verliesrekening	15
1.1 Zandverlies en zandwinst	15
1.2 Zandbalans verschilt per gebied en per periode	15
1.3 Zandbalans graadmeter voor het kustbeleid	15
2 Kustbeleid	17
2.1 Beleidsdoelstellingen	17
2.2 Kustlijnhandhaving: kleinschalige benadering op het niveau van kustsecties	17
2.3 Veerkrachthandhaving: grootschalige benadering op het niveau van kustsystemen	18
3 Nederlandse kust verdeeld in deelsystemen	19
3.1 Onafhankelijke deelsystemen	19
3.2 Zandbalans per deelsysteem over een periode van decennia	22
3.3 Eems-Dollard uitzondering binnen het kustbeleid	22
4 Zandbalans in cijfers	23
4.1 Schatting van natuurlijke trends over periode 1965-1995	23
4.2 Totaal zandverlies in de ondiepe zone	25
4.3 Zandbalansen van de verschillende dieptezones	26
4.4 Totale zandbalans per deelsysteem van de Nederlandse kust	27
4.5 Een vergelijking met de zandvraag van de Waddenzee	28
4.6 Toekomstige ontwikkelingen en invloeden van zeespiegelstijging	30
4.7 Schatting van toekomstige zandverliezen volgens verschillende scenario's	34
5 Compenseren door suppleren	37
5.1 Hoeveel ?	37
5.2 Waar ?	40
5.3 Meest efficiënte uitvoeringswijze	42
5.4 Evalueren	43
Referenties	45

Lijst van figuren

- Fig 1** Ligging van de NAP-20 m dieptelijn en een indicatie van het lodingsgebied volgens het kustmonitorprogramma vanaf 1992.
- Fig 2** Schematische dwarsdoorsnede van het Nederlandse kuststelsel met een aanduiding van de verschillende onderdelen van de kustzone.
- Fig 3** Verdeling van de Nederlandse kust in negen deelsystemen N.B. De begrenzing van de Wadden-zeegat-kustsystemen ligt halverwege de aanliggende eilanden.
- Fig 4** Schematische drie-dimensionale weergave van de Nederlandse kust, onderverdeeld in deelsystemen.
- Fig 5** Beeld van de ruimtelijke dekking van de gebruikte basisgegevens voor analyse van de zandbalans van het kuststelsel over de periode 1965 - 1995, afgezet tegen het lodingsgebied volgens het kustmonitorprogramma sinds 1992.
- Fig 6** Totaal zandverlies in de ondiepe zone (zeereep tot NAP-8 m) over de periode 1965 - 1995, gecorrigeerd voor uitgevoerde suppleties en gerangschikt per deelsysteem. Om een onderlinge vergelijking mogelijk te maken tussen deelsystemen van verschillende omvang, is het zandverlies uitgedrukt als bodemhoogte verandering (mm/jaar) gemiddeld over de ondiepe zone.
- Fig 7** Delen van de Nederlandse kust waar geen BasisKustLijn (BKL) is gedefinieerd.
- Fig 8** Zandbalans in verschillende dieptezones van de afzonderlijke deelsystemen van de Nederlandse kust over de periode 1965 - 1995, gecorrigeerd voor uitgevoerde suppleties. Om een onderlinge vergelijking mogelijk te maken tussen deelsystemen van verschillende omvang, is het zandverlies uitgedrukt als bodemhoogte verandering (mm/jaar) gemiddeld over de afzonderlijke dieptezones.
- Fig 9** Totale zandbalans per deelsysteem over de periode 1965 - 1995, gecorrigeerd voor suppleties. Om een onderlinge vergelijking mogelijk te maken tussen deelsystemen van verschillende omvang, is het zandverlies uitgedrukt als bodemhoogte verandering (mm/jaar) gemiddeld over het deelsysteem.
- Fig 10** Direct effect van zeespiegelstijging op (10A) de zandinhoud van het kuststelsel en (10B) op de kustlijnligging; het laatste wordt bepaald door de verandering van de zandinhoud binnen de rekenschijf.
- Fig 11** Indirect effect van zeespiegelstijging: schematische weergave van aanpassingen van het kustprofiel door veranderingen in het zandtransport; (11A) volgens de theorie van Bruun, (11B) volgens het model van Stive en de Vriend (1995)
- Fig 12** Toekomstige suppletiebehoefte (Mm^3 /jaar) per deelsysteem over de periode 2000 - 2040 bij gelijkblijvende zeespiegelstijging. Afzonderlijk zijn aangegeven de suppletiebehoefte ter compensatie van de verliezen in de ondiepe zone gericht op de kustlijnhandhaving, en de daarna

resterende suppletiebehoefte ter compensatie van een negatieve zandbalans in het deelsysteem gericht op de veerkrachthandhaving.

Fig 13 Schattingen van de toekomstige suppletiebehoefte (2000 - 2040) in alleen de ondiepe zone (13 A) en in het gehele kustsysteem (13 B). Een vergelijking tussen de prognoses van Kustbalans 1995 en de huidige benadering (KUST2000) volgens zowel het 'Minimum-' als het 'Maximum-scenario'.

Fig 14 Schatting van de totale suppletiebehoefte per deelsysteem uitgedrukt als percentage van de suppletiebehoefte voor het gehele Nederlandse kustsysteem.

Lijst van tabellen

- Tabel 1** Totaal zandverlies (Mm^3 /jaar) in de ondiepe zone (zeereep tot NAP-8 m) over de periode 1965 -1995, gecorrigeerd voor uitgevoerde suppleties engerangschikt per deelsysteem
- Tabel 2** Zandbalans (Mm^3 /jaar) in verschillende dieptezones van de afzonderlijke deelsystemen van de Nederlandse kust over de periode 1965 - 1995, gecorrigeerd voor uitgevoerde suppleties
- Tabel 3** Sedimentvraag en -aanbod (Mm^3 /jaar) voor de westelijke Waddenzee (deelsystemen Marsdiep tot en met Friese Zeegat) bij een zeespiegelstijging van 20 cm/eeuw (Louters en Gerritsen, 1994; Oost et al., 1998); zie ook Appendix 1
- Tabel 4** Direct effect van zeespiegelstijging op het zandverlies in de ondiepe zone (boven NAP-8m) en op de zandbalans van het kustsysteem, rekening houdend met verschillende dieptebegrenzingsen van het kustsysteem en met verschillende scenario's van zeespiegelstijging (bron: Wolters, 1995). De omvang van het directe effect van zeespiegelstijging op de zandbalans van het kustsysteem wordt sterk bepaald door de ondergrens van het kustsysteem
- Tabel 5** Schatting van de gemiddelde toekomstige ondiep water verliezen, en de toekomstige zandbalans van het kustsysteem (Mm^3 /jaar) over de periode 2000 - 2040, bij verschillende scenario's (zie ook Appendix 1 en 2).
- Tabel 6** Afleiding van in de nabije toekomst (2000 - 2040), benodigde suppletiehoeveelheden en de resulterende zandbalans na compensatie van achtereenvolgens de verliezen in de ondiepe kustzone en verliezen op dieper water (eenheden: Mm^3 /jaar) bij gelijkblijvende zeespiegelstijging van 20 cm/eeuw en uitgaande van het 'Minimum-scenario' voor zandverlies en zandbalans (tabel5). Zie voor details en voor overige berekeningen Appendix 3
- Tabel 7** Schatting van de totale suppletiebehoefte in het Nederlandse kustsysteem voor de nabije toekomst (2000 - 2040), bij verschillende scenario's van zeespiegelstijging en uitgaande van verschillende schattingen voor de toekomstige zandbalans van het kustsysteem (zie Tabel 5). Op grond van fluctuaties rond de jaargemiddelde trends in het verleden van orde +/- 50%, wordt rond de schattingen een vergelijkbare range aangenomen

Lijst van appendices

Appendix 1 Schatting van toekomstig maximale sedimentvraag door de Waddenzee en de Westerschelde in de periode 2000 - 2040	47
Appendix 2 Schatting van toekomstig ondiep water zandverlies en zandbalans van het kustsysteem in de periode 2000 - 2040	49
Appendix 3 Prognose van suppletiebehoefte volgens verschillende scenario's	51

Samenvatting

• ZANDBALANS

Zandbalans op dieper water

De zandbalans van de diepere delen (tussen NAP -8 en -20 m) van de Nederlandse kust over de periode 1965 - 1995 vertoont een negatief saldo van naar schatting $-5 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$.

Zandbalans ondiepe kustzone

De ondiepe kustzone (van zeereep tot NAP -8 m) kent - na correctie voor de uitgevoerde suppleties - over dezelfde periode een negatief saldo op de zandbalans van naar schatting $-1,5 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$.

De totale verliespost (het saldo van de zandbalans wordt bepaald door een verliespost en een winstpost) in die periode is veel groter en bedraagt ongeveer $-5,7 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$. Deze verliespost is maatgevend voor het handhaven van de kustlijn en geeft een indicatie voor de daarvoor benodigde suppletiehoeveelheid.

Zandbalans gehele kuststelsel

De resulterende zandbalans van het gehele kuststelsel (van zeereep tot NAP -20 m) gedurende 1965 - 1995 had een gemiddelde waarde van $-6,5 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$.

Ruimtelijke dekking basisdata oorzaak van onderschatting werkelijke zandverliezen

Bovengenoemde balansgegevens zijn gebaseerd op basisdata welke geen volledige ruimtelijke dekking geven van het balansgebied (zie Fig 5 in het rapport). Uit een vergelijking met de opgetreden sedimentatie in de Waddenzee gedurende dezelfde periode, komt naar voren dat de werkelijk opgetreden zandverliezen in de kustzone tot een factor 2 hoger zouden kunnen zijn.

Toekomstige zandbalans van het kuststelsel

Rekening houdend met deze mogelijke onderschatting in de beschikbare basisgegevens is bij de voorspelling van de toekomstige zandbalans zowel gerekend met een conservatief of minimum scenario -uitgaande van de onderzochte basisgegevens in de kustzone-, als met een maximum scenario -uitgaande van de zandvraag door Wadden en estuaria.

Bij een zeespiegelstijging van 20 cm/eeuw zal de toekomstige zandbalans naar schatting variëren tussen gemiddeld -9 en $-16 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$. Versnelt de stijging van de zeespiegel tot 60 cm/eeuw dan loopt het verwachte negatieve saldo op tot ergens tussen -16 en $-31 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$.

• COMPENSEREN DOOR SUPPLEREN

Waarom?

Voor handhaving van de kustlijn, dienen in kustsecties met zandverliezen in de ondiepe zone de verliezen te worden aangevuld. Daarnaast vraagt handhaving van de veerkracht dat op langere termijn

en voor grotere eenheden de totale zandinhoud van de kust op peil blijft: een negatief saldo in de zandbalans van het kuststelsel over een periode van enkele decennia, dient te worden aangevuld. Op deze tijdschaal is de Nederlandse kust onder te verdelen in een negen-tal min of meer onafhankelijke deelsystemen. Voor elk van deze deelsystemen dient de zandbalans neutraal te worden gehouden.

Waar en wanneer?

De eerste prioriteit voor veiligheid en kustlijnhandhaving brengt met zich mee dat allereerst compensatie nodig is van de verliezen in de ondiepe zone: plaats en tijdstip worden bepaald door overschrijding van de BasisKustLijn.

Vervolgens komt compensatie van zandverliezen op dieper water alleen aan de orde, binnen die deelsystemen van de kust waar -na aanvulling van de ondiepe water verliezen- een negatief saldo overblijft op de langjarige zandbalans.

Hoeveel?

De totale suppletiebehoefte bij gelijkblijvende zeespiegelstijging van 20 cm/eeuw wordt geschat op gemiddeld 12 Mm³/jaar met een maximum van 16 Mm³/jaar. Bij toename van de zeespiegelstijging tot 60 cm/eeuw neemt de totale suppletiebehoefte toe tot gemiddeld 19 Mm³/jaar, maximaal oplopend tot 31 Mm³/jaar.

De procentuele verdeling van de suppletiebehoefte per deelsysteem varieert van zo'n 4% voor het deelsysteem Petten - IJmuiden tot 25% voor het Marsdiep en voor de Delta.

Hoe?

Het verdient aanbeveling bij het opstellen van het jaarlijkse suppletieschema rekening te houden met de spreiding van de gemiddelde suppletiebehoefte over de verschillende deelsystemen.

Verder geldt:

Suppleer waar het moet op het strand, waar het kan onder water en

Suppleer onder water in de ondiepe kustzone, en laat natuurlijke processen het zand herverdelen binnen het kuststelsel.

• EVALUEREN

Langjarige monitoring

Compensatie van zandverliezen op dieper water komt voort uit een grootschalige benadering van de kust met ruimtelijke eenheden op de schaal van deelsystemen en een tijdseenheid van decennia. Evaluatie van de effectiviteit van dit beleid vereist een monitorprogramma dat op deze tijd- en ruimteschaal is afgestemd. Indien de langere meetraaien structureel worden opgenomen in het monitoringprogramma voldoet de ruimtelijke dekking en de frequentie aan deze eis. Het programma zal de komende decennia dienen te worden voortgezet.

Door de nauwkeurigheid van de metingen te verhogen, wordt de mogelijkheid vergroot om op kortere termijn uitspraken te kunnen doen over de effectiviteit van het (diep water) suppleren.

Langjarige referentie data

Evaluatie van het nieuwe beleid vereist een goede vastlegging van de langjarige referentie situatie: de gemiddelde zandbalans trend over de voorbije dertig jaar. Door de onvolledige ruimtelijke dekking van de tot heden ge-analyseerde basisdata is de referentie-situatie nog onvoldoende bekend. Verdere analyse van overige data uit de voorbije

periode moet met voorrang leiden tot een volledig dekkende zandbalans van het Nederlandse kuststelsel.

Inzichten versnellen door gerichte proefnemingen

Om op een relatief korte termijn van enkele jaren, een eerste evaluatie van het nieuwe langjarige beleid te kunnen uitvoeren is per definitie lastig. Om de inzichten te versnellen kan, in aanvulling op het monitorprogramma, gedacht worden aan een of meer gerichte proefnemingen. Over de aard hiervan zou in onderling overleg verder moeten worden nagedacht.

• KANSEN

Kansen benutten

Suppleties gericht op het aanvullen van de zandverliezen op dieper water ter handhaving van de veerkracht, bieden een relatieve vrijheid voor wat betreft de plaats, de vorm en het tijdstip van uitvoering. Feitelijk is de enige eis voor veerkrachthandhaving het op peil houden van het totale zandvolume binnen het kuststelsel. Dit biedt belangrijke kansen voor het beheer. Kansen voor het oplossen van problemen naast of in het verlengde van de zuivere kusthandhaving.

Het benutten van deze kansen vereist een goed overleg en verdient een nadere verkenning van de mogelijkheden. Zo zou onderzocht kunnen worden in hoeverre een landwaartse verschuiving van de afslagzone bij stijgende zeespiegel, kan worden beïnvloed door (herhaalde) gerichte suppleties. Het daarvoor benodigde zand zou tegelijkertijd compensatie kunnen bieden voor zandverlies in het kuststelsel.

Wellicht is voor dit vraagstuk een proefneming te overwegen. Daarbij zou aansluiting kunnen worden gezocht bij vraagstukken rond de effecten van grootschalige zandwinning en van infrastructurele werken zoals een tweede Maasvlakte of mogelijk een eiland in zee

1 Zandbalans: een winst- en verliesrekening

1.1 Zandverlies en zandwinst

Op veel plaatsen langs de Nederlandse kust verdwijnt zand; direct zichtbaar zandverlies herkenbaar aan afkalving van strand en duin, maar ook onzichtbaar zandverlies merkbaar aan verdieping van de zeebodem. Op andere plaatsen komt er juist zand bij en groeit de kust aan; direct zichtbare zandwinst herkenbaar aan groter wordende strandvlaktes, maar ook onzichtbare zandwinst onder water.

1.2 Zandbalans verschilt per gebied en per periode

Uit het totaal aan zandverliezen en zandwinsten is een winst- en verliesrekening op te maken: de zandbalans.

Waar de kust afkalft is het zandverlies groter dan de zandwinst, en is sprake van een negatieve zandbalans. Waar de kust aangroeit is de zandbalans positief. Conclusie:

- *Hoe de zandbalans eruit ziet is afhankelijk van het gebied.*

De kust verandert met de tijd.

In het winterseizoen met veel stormen, heeft veelvuldig kustafslag plaats waarbij zand vanaf het strand naar dieper water wordt vervoerd; de strandzone vertoont een negatieve zandbalans, diepere zones een positieve. In het rustige zomerseizoen heeft een tegengestelde ontwikkeling plaats. Op grotere tijdschalen zorgt een stijging van de zeespiegel en veranderingen in de zeespiegelstijging, tot voortdurende aanpassingen langs de kust. Conclusie:

- *Hoe de zandbalans eruit ziet is niet alleen afhankelijk van het gebied en de dieptezone, maar ook van de periode.*

1.3 Zandbalans: graadmeter voor het kustbeleid

Voor de ondiepe zone (tussen NAP -8 m en de zeereep) van de Nederlandse kust als een geheel, blijkt over de afgelopen decennia het zandverlies door natuurlijke processen groter dan de natuurlijke zandwinst: de zandbalans is negatief. In het kader van het Dynamisch Handhaven van de kustlijn vanaf 1990, creëren zandsuppleties in erosieve deelgebieden een kunstmatige winstpost, welke het negatieve saldo in positieve zin ombuigen.

Op een termijn van enige tientallen jaren tot een eeuw, komen voor de Nederlandse kust ook de diepere kustzones (beneden NAP -8 m) in beeld. Om te komen tot een plan van aanpak voor Dynamisch Handhaven in de 21e eeuw, is in Kustbalans 1995 dan ook als actiepunt opgenomen om aan te geven op welke wijze de zandverliezen op dieper water het beste bestreden kunnen worden.

In aanvulling op de exclusieve aandacht voor de ondiepe kustzone in het huidige kustbeleid, is daartoe de zandbalans over een grotere dieptezone bekeken. Op grond van deze gegevens is een voorstel uitgewerkt voor compenserende maatregelen om het Dynamisch Handhaven beleid op termijn vol te kunnen houden.

2 Kustbeleid

2.1 Beleidsdoelstellingen

De beleidsdoelstellingen voor de kust zijn in een aantal regeringsnota's geformuleerd.

Allereerst zijn er de doelstellingen voor het Dynamisch Handhaven van de kustlijn, zoals vastgelegd in de Nota Kustverdediging na 1990:

'... het duurzaam handhaven van de veiligheid en het duurzaam behoud van functies en waarden in de duingebieden. De kustlijn blijft gehandhaafd op de plaats waar die in 1990 ligt'.

In de Nota Kustbalans 1995 werd daaraan toegevoegd:

'Om Dynamisch Handhaven op termijn van enkele decennia te kunnen blijven volhouden, moeten ook de zandverliezen op dieper water worden gecompenseerd'.

In de Vierde Nota Waterhuishouding (1998) is het kustbeleid als volgt nader gespecificeerd:

'De hoofddoelstelling voor het kustbeleid is het handhaven van de veiligheid tegen overstroming gecombineerd met het behoud, waar mogelijk vergroting, van de ruimte voor natuurlijke processen. Water- en sedimentstromen worden zo min mogelijk ingeperkt. In duingebieden worden gradiënten, kwelstromen en verstuiving hersteld. Intergetijdegebieden groeien mee met de stijgende zeespiegel'.

Over de aard van de gewenste maatregelen om het beleid vorm te geven, meldt de Vierde Nota Waterhuishouding in de toelichting:

*'... Sinds 1990 proberen we vooral met de natuurlijke processen mee te werken: zandsuppleties in plaats van dammen en bastionkusten,
Hoe natuurlijker het systeem, hoe groter het zelfherstellend vermogen. Een veerkrachtige kust is onze beste garantie voor duurzame veiligheid,'.*

Voor de kustverdediging betekent dat aldus de Vierde Nota Waterhuishouding:

'Het kustverdedigingsbeleid is gericht op het dynamisch handhaven van de kustlijn. Dat betekent dat de natuurlijke processen zo min mogelijk worden belemmerd, maar dat ingegrepen wordt als er land blijvend verloren dreigt te gaan. Dan wordt een suppletie uitgevoerd. Na het jaar 2000 worden ook de zandverliezen op de onderwateroever met suppleties aangevuld'.

2.2 Kustlijnhandhaving: kleinschalige benadering op het niveau van kustsecties

• beleidsdoel no. 1

De Nota Kustverdediging na 1990 gaat uit van een relatief kleinschalige benadering, rekening houdend met relatief kleine tijd- en ruimteschalen. De zandinhoud van de ondiepe kustzone (van de zeereep tot voorbij de brandingszone; ruwweg tussen NAP +10 m en -8 m) en de trend over een periode van 10 jaar staan centraal. Als (technisch) hulpmiddel en als referentie bij de toetsing van trends wordt daarbij de basiskustlijn (BKL)

gehanteerd. De definitie voor de basiskustlijnpositie is gekoppeld aan de zandinhoud van de ondiepe zone van het kustprofiel (de zgn. BKL-zone, globaal tussen NAP+3 en -6 m) en geldt voor kustsecties met een minimale breedte van 250 m. Tenzij de veiligheid in het geding is, wordt alleen ingegrepen waar in een aantal aaneengesloten secties, land blijvend verloren dreigt te gaan, oftewel waar de basiskustlijn structureel dreigt te worden overschreden. Deelgebieden waar de kustlijn redelijk constant is of waar landwinst wordt geboekt, worden met rust gelaten. Uitgangspunt van de Nota Kustverdediging na 1990 is dat landverlies op de ene locatie niet kan worden weggestreept tegen landwinst op een andere. Maatgevend voor de totale omvang van uit te voeren suppleties in Nederland is dan ook niet het totaal saldo van de zandbalans in de ondiepe kustzone, maar de totale verliespost binnen de ondiepe zone:

- *alle zandverliezen in de ondiepe zone van kustsecties dienen te worden aangevuld.*

2.3 Veerkrachthandhaving: grootschalige benadering op het niveau van kustsystemen

- **beleidsdoel no 2**

De Vierde Nota Waterhuishouding voegt aan de relatief kleinschalige benadering van de Nota Kustverdediging na 1990 een meer grootschalige benadering toe. Gekeken wordt naar een termijn van enige decennia en naar het kuststelsel als een groter geheel. Natuurlijke processen krijgen zoveel mogelijk de ruimte en kunnen zand vrijelijk binnen het kuststelsel verplaatsen. Zolang de totale zandvoorraad in het stelsel op peil blijft, raken de zandbronnen die de kustzone en de Waddenzee van het zand voorzien dat nodig is om mee te kunnen groeien met de zeespiegelstijging, niet opgedroogd. Om dit te bereiken en daarmee de natuurlijke veerkracht in de kustzone te handhaven, moeten zandsuppleties de zandverliezen in het kuststelsel compenseren.

In aanvulling op de Nota Kustverdediging na 1990 volgt hieruit een tweede graadmeter voor de totale omvang van uit te voeren suppleties; het saldo van de zandbalans:

- *een negatief saldo van de zandbalans in het kuststelsel over een periode van enkele decennia, dient te worden aangevuld.*

Hoeveel zand daarmee is gemoeid, hangt af van de schaal die in beschouwing wordt genomen: de ruimtelijke begrenzing van het kuststelsel en de periode.

3 Nederlandse kust verdeeld in deelsystemen

3.1 Onafhankelijke deelsystemen

Het zand langs onze kust kan zich over grote afstanden vrij verplaatsen.

Op geologische tijdschaal geldt dit voor een dieptezone van de diepe Noordzeebodem tot onze volledige duingebieden en voor een geografisch gebied dat meer dan de hele Nederlandse kust beslaat.

Op kleinere tijdschalen is dit gebied kleiner.

Het gebied waarbinnen op een bepaalde tijdschaal vrije zanduitwisseling kan plaatshebben, bepaalt feitelijk de systeemgrenzen.

- **begrenzing in dwarsrichting op de kust**

Hoe breed de kustzone is waarbinnen op een termijn van enkele decennia noemenswaardige zanduitwisseling plaatsheeft, is niet exact bekend.

Een indicatie levert de omvang van het gebied waarbinnen op langere tijdschaal waarneembare morfologische veranderingen plaats hebben. Uit een analyse van de beschikbare langjarige data voor de Hollandse kust - data uit de zgn. doorlodingen tot waterdieptes van 12 tot 15 m - blijkt dat over periodes van meer dan 10 jaar, op veel plaatsen morfologische veranderingen zich uitstrekken tot buiten het waarnemingsgebied (Hinton, 1998). De grens van het actieve kuststelsel lijkt op een tijdschaal van decennia, dus in ieder geval dieper te liggen dan NAP -12 tot -15 m. Als benadering voor de benedengrens van het actieve kuststelsel wordt veelal de trendverandering aangenomen, gevormd door de morfologische overgang van de licht hellende onderwateroever naar de vlakke zeebodem. Zowel in het Waddengebied als in de Delta bevindt deze overgang zich dicht bij de NAP-20 m dieptelijn. Bij de centrale Hollandse kust ligt de overgang ondieper, zo rond de -16 m dieptelijn. Wel bevinden zich hier op de vlakke zeebodem tussen NAP-16 en -20 m diepte een aantal onderzeese zandbanken. Welke rol deze zandbanken spelen voor de kustverdediging is niet helemaal duidelijk; opvallend is wel dat ze juist liggen voor het stabiele deel van de Hollandse kust. Om deze redenen wordt ook hier de -20 m dieptelijn als ondergrens van het actieve kuststelsel beschouwd (Fig 1).

Fig 1

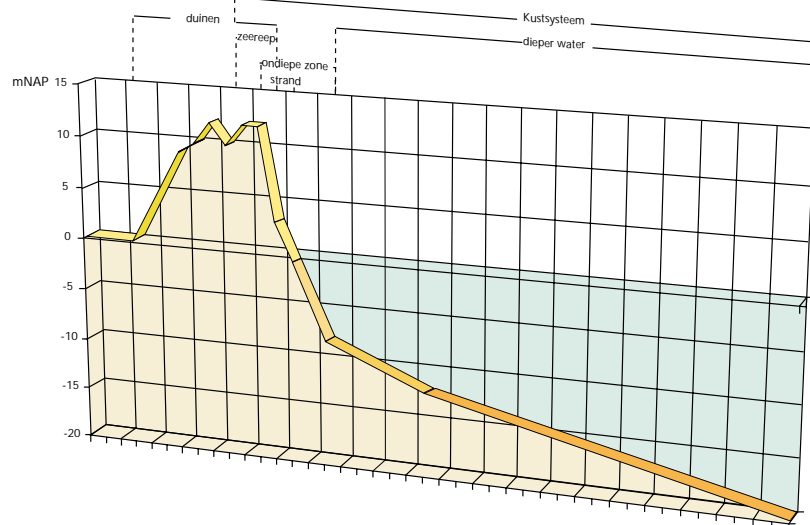
Ligging van de NAP-20 m dieptelijn en een indicatie van het lodingsgebied volgens het kustmonitorprogramma vanaf 1992.



Aan de landzijde vormt de zeereep een natuurlijke grens voor actief zandtransport. Op een tijdschaal van enige tientallen jaren wordt dus verondersteld dat de zanduitwisseling in het Nederlandse kuststelsel zich beperkt tot de dieptezones tussen globaal 20 m waterdiepte en de zeereep. De grenzen van het kuststelsel in dwarsrichting zijn daarmee bepaald (zie ook Fig 2).

Fig 2

Schematische dwarsdoorsnede van het Nederlandse kuststelsel met een aanduiding van de verschillende onderdelen van de kustzone.



• **begrenzing in lengterichting langs de kust**

Ook in langsricting van de kust bestaan op de tijdschaal van decennia begrenzingen aan de uitwisseling van zand. Soms bestaan er kunstmatige barrières zoals de Maasgeul en de IJgeul, die een scherpe grens stellen aan het zandtransport langs de kust. Soms zijn het meer diffuse, natuurlijke grenzen zoals bijvoorbeeld tussen afzonderlijke zeegatsystemen in de Wadden.

• **een negental onafhankelijke deelsystemen**

Op de schaal van enige tientallen jaren is de Nederlandse kust dan ook onder te verdelen in een negental (min of meer) onafhankelijke, morfologisch samenhangende deelsystemen (zie Fig 3 en Fig 4):

- de Zeeuwse en Zuid Hollandse Delta duidelijk gescheiden van het deelsysteem IJmuiden - Hoek van Holland door de havenhoofden bij Hoek van Holland en de Maasgeul;
- het deelsysteem Petten- IJmuiden, aan de zuidkant duidelijk gescheiden van IJmuiden - Hoek van Holland door de havenhoofden bij IJmuiden en de IJgeul; aan de noordkant (meer diffuus) gescheiden van het zeegatsysteem Marsdiep door de Pettemer Zeewering;
- zes Wadden-kustsystemen rond de zeegaten Marsdiep, Eierlandse Gat, Vliestroom, Amerlander Zeegat, Friese Zeegat en Eems-Dollard (inclusief Eilanderbalg, Lauwers en Schild), met meer arbitraire begrenzingen. De keel van het zeegat scheidt het kustsysteem van de achterliggende vloedkom; centraal binnen het deelsysteem is de buitendelta en langs de kust wordt verondersteld dat de zeegatinvloed zich uitstrekt tot halverwege de aanliggende eilanden en in Noord Holland tot Petten.

Fig 3

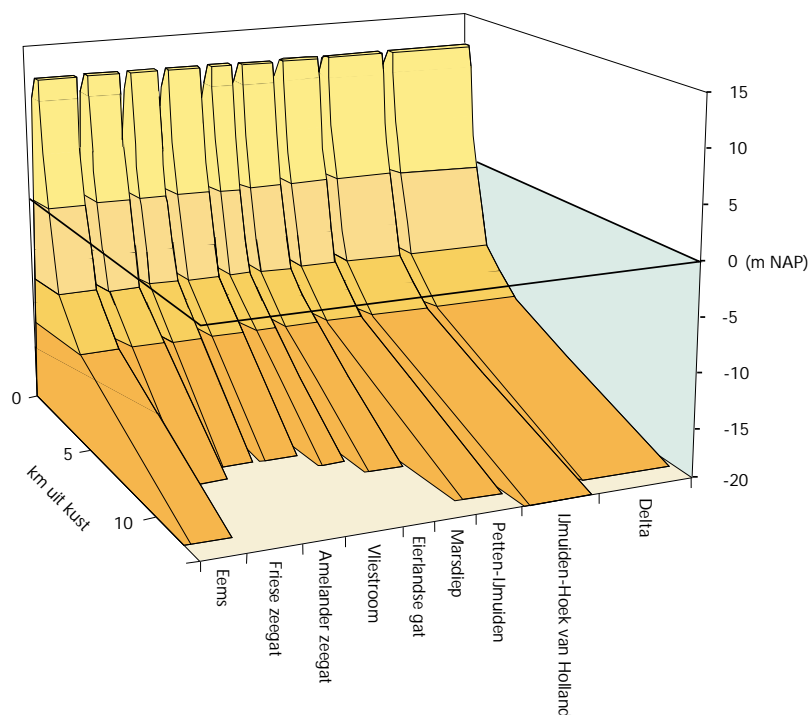
Verdeling van de Nederlandse kust in negen deelsystemen
 N.B. De begrenzing van de Wadden-zeegat-kustsystemen ligt halverwege de aanliggende eilanden.



— -20m NAP dieptelijn

Fig 4

Schematische drie-dimensionale weergave van de Nederlandse kust, onderverdeeld in deelsystemen.



3.2 Zandbalans per deelsysteem over een periode van decennia

Binnen elk deelsysteem wordt aangenomen dat over een periode van decennia, een vrije uitwisseling van zand mogelijk is tot een maximale waterdiepte van 20 m. Zanduitwisselingen tussen de morfologische deelsystemen onderling worden, volgens de huidige inzichten, op de beschouwde tijdschaal verwaarloosbaar geacht.

Om aan de beleidsdoelstellingen te voldoen zal de zandinhoud binnen elk van de afzonderlijke deelsystemen, op peil moeten worden gehouden (beleidsdoel no. 2). Allereerst echter vereist het handhaven van de kustlijn (beleidsdoel no. 1) dat overal waar een Basis-Kust-Lijn is gedefinieerd, de totale verliespost in de zandbalans van de ondiepe zone wordt gecompenseerd.

3.3 Eems-Dollard uitzondering binnen het kustbeleid

Binnen het complexe deelsysteem van de Eems-Dollard is volgens het huidige kustbeleid, geen te handhaven kustlijn vastgesteld. De aanwezige strandvlakten worden een min of meer vrije ontwikkeling toegestaan (Nota Kustverdediging, 1990). Om deze reden is bij de navolgende beschouwingen de Eems-Dollard niet meegenomen.

4 Zandbalans in cijfers

4.1 Schatting van natuurlijke trends over periode 1965-1995

- **Correctie voor suppleties**

Door de dieptegegevens van de Nederlandse kustzone over de periode 1965 - 1995 te corrigeren voor kunstmatige invloeden door uitgevoerde suppleties, ontstaat een beeld van de natuurlijke trends in de zandbalans over de voorbije decennia.

- **Beeld van zandbalans op basis van bestaande analyses**

Het beeld van de natuurlijke trends over de periode 1965 - 1995 is tot stand gebracht op basis van bestaande analyses samengevat in Kustbalans (1995), Groenendijk (1995A en 1995B), Stam (1999) en Mulder (1999).

Het beeld van de zandbalans dat daarmee wordt gecreëerd, dekt feitelijk niet het gehele kuststelsel zoals gedefinieerd in hoofdstuk 3.1. De gebruikte analyseresultaten beslaan daarvan slechts een deel (zie Fig 5).

Fig 5

Beeld van de ruimtelijke dekking van de gebruikte basisgegevens voor analyse van de zandbalans van het kuststelsel over de periode 1965 - 1995, afgezet tegen het lodingsgebied volgens het kustmonitorprogramma sinds 1992.



De ondiepe kustzone (globaal tussen zeereep en NAP -8 m) is volledig beschreven door de jaarlijkse JARKUS-waarnemingen, welke vanaf 1965 met tussenafstanden van 250 m langs de gehele kust worden uitgevoerd.

De diepere zone (van NAP -8 tot -20 m) is voor de afzonderlijke deelsystemen zeer verschillend beschreven in de bestaande analyses.

Voor de kust van Holland en de middendelen van de Wadden-eilanden, beperken de gebruikte bronnen zich tot de dieptezone tussen globaal NAP-8 en -12 m. De analyses baseren zich op de zogenaamde doorlodingen; waarnemingen welke vanaf 1980, elke vijf jaar, met tussenafstanden van 1000 m langs de kust zijn uitgevoerd. Beschikbare vaklodingen voor de Waddeneilanden welke wel tot de -20 m grens van het kustsysteem reiken, zijn vooralsnog niet in de analyse betrokken. Alleen voor de buitendelta's van de Waddeneilanden wordt een beschrijving gegeven van de volledige diepe zone van NAP-8 tot -20 m. Basis hiervoor vormen de zogenaamde vaklodingen welke voor de verschillende buitendelta's in de periode vanaf 1965, tussen de 3 en 7 keer zijn uitgevoerd.

Voor de Delta is het beeld van de ontwikkelingen op dieper water het minst hard door gegevens onderbouwd. Groenendijk (1995B) gaat uit van de aanname dat het diepere deel van de kustzone in de Delta stabiel is.

• **Zandbalans van Delta kustsysteem indirect benaderd**

Omdat vooralsnog geen gebruik kon worden gemaakt van beschikbare gegevens uit vaklodingen in het gebied, is in het navolgende de zandbalans van de diepere zone in de Delta als volgt indirect benaderd: De landwaartse begrenzing van het Delta-kustsysteem is na gereedkomen van de Deltawerken grotendeels gesloten. Na de afsluiting van het Veerse Gat in 1960 en van Haringvliet en Grevelingen in 1970, is de sedimentvraag door deze estuaria geheel weggefallen. De Oosterschelde was tot de gedeeltelijk afsluiting in 1986, als reactie op ingrepen in het verleden, een sediment exporterend bekken (Louters et al., 1996), en vertegenwoordigde dus tot 1986 een negatieve sedimentvraag aan de kust. Na 1986 vormen de Oosterscheldedekering en de aan weerszijden ontstane ontgrondingskuilen, een effectieve barriere tegen zanduitwisseling. De effectieve zandvraag door de Oosterschelde aan het kustsysteem na 1986, kan dan ook worden verwaarloosd. Alleen de Westerschelde heeft nog een onbelemmerde verbinding met het kustsysteem en vertegenwoordigt daarmee een mogelijke sedimentvraag aan het Delta kustsysteem.

De sedimentvraag door de Westerschelde heeft over de afgelopen decennia sterk geschommeld als gevolg van zandwinning en vele bagger- en stortactiviteiten. Uit balansberekeningen (zie Mol et al., 1997) is af te leiden dat over de periode 1965-1995 de Westerschelde gemiddeld $2,6 \text{ Mm}^3$ sediment per jaar heeft geïmporteerd. Uitgaande van de aanname dat ca. 85% van de Westerschelde afzettingen uit zand bestaat, betekent dit een zandimport van gemiddeld ca. $2,2 \text{ Mm}^3$ per jaar.

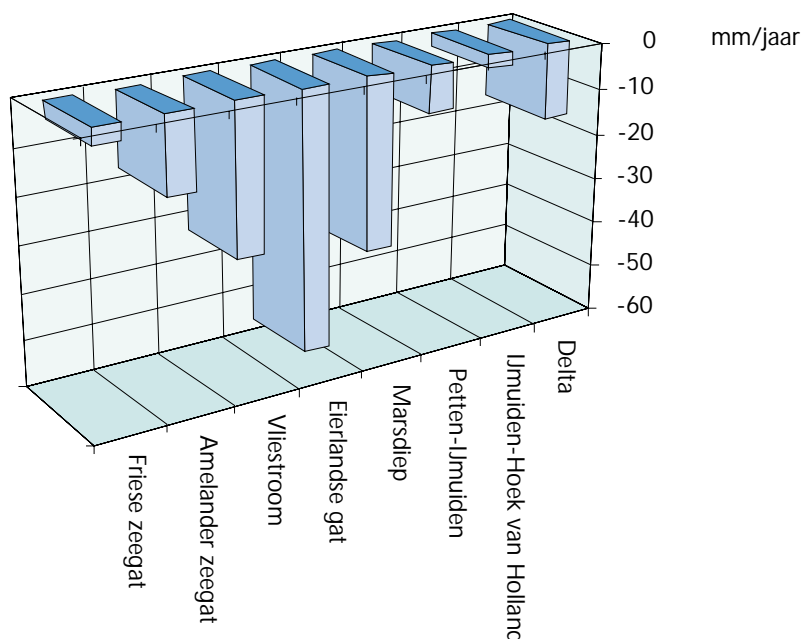
Aannemende dat het Delta-kustsysteem verder gesloten is, vormt de zandimport door de Westerschelde de enige verliespost voor het kustsysteem. De zandbalans van het Delta-kustsysteem over de periode 1965 - 1995 kan dan worden benaderd als: $-2,2 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$

4.2 Totaal zandverlies in de ondiepe zone

Aaneengesloten kustsecties met een negatieve zandbalans in de ondiepe kustzone worden vooral gevonden binnen de Waddensystemen (ca. 70%) en in de Delta (ca. 20%) (Fig 6).

Fig 6

Totaal zandverlies in de ondiepe zone (zeereep tot NAP-8 m) over de periode 1965 - 1995, gecorrigeerd voor uitgevoerde suppleties en gerangschikt per deelsysteem. Om een onderlinge vergelijking mogelijk te maken tussen deelsystemen van verschillende omvang, is het zandverlies uitgedrukt als bodemhoogte verandering (mm/jaar) gemiddeld over de ondiepe zone.



Tabel 1

Totaal zandverlies (Mm^3 /jaar) in de ondiepe zone (zeereep tot NAP-8m) over de periode 1965 - 1995, gecorrigeerd voor uitgevoerde suppleties en gerangschikt per deelsysteem.

deelsysteem:	Wadden							Delta	Totaal Nederlands kuststelsysteem
	Friese Zeegat	Amelander Zeegat	Vliestroom	Eierlandse Gat	Marsdiep	Petten - Ijmuiden	Ijmuiden-Hoek van Holland		
verlies	-0,09	-0,60	-1,10	-1,22	-1,19	-0,32	-0,14	-1,10	-5,7

Het totale jaargemiddelde zandverlies in de ondiepe kustzone van Nederland (tussen zeereep en -8 mNAP) bedroeg de afgelopen 30 jaar ongeveer $-5,7 Mm^3$ /jaar (Tabel 1).

Een deel van deze verliezen heeft plaats op locaties waar geen Basiskustlijn hoeft te worden gehandhaafd. Dit geldt voor eilandkoppen met strandvlaktes en voor dijken en dammen zonder voorliggend strand (zie Fig 7). Het totale verlies in deze gebieden dat volgens het huidige kustbeleid niet voor compensatie in aanmerking komt, is ongeveer $0,7 Mm^3$ /jaar.

Een aftelsom leidt vervolgens tot het voor kustbeleid belangrijke, totale zandverlies in de ondiepe zone:

- $-5 Mm^3$ /jaar

Rond deze gemiddelde jaarlijkse trend over de afgelopen decennia bestaan grote fluctuaties. Er moet rekening worden gehouden met onzekerheidsmarges rond het jaargemiddelde van naar schatting $\pm 50\%$, overeenkomend met de volgende range:

- $-2,5$ tot $-7,5 Mm^3$ /jaar

Fig 7

Delen van de Nederlandse kust waar geen BasisKustLijn (BKL) is gedefinieerd.



4.3 Zandbalansen van de verschillende dieptezones

De zandbalans over de periode 1965-1995 voor de verschillende dieptezones (zeereep tot NAP -12/-20 m) in de afzonderlijke deelsystemen van de Nederlandse kust is weergegeven in Tabel 2 en Figuur 8.

Tabel 2

Zandbalans (Mm^3 /jaar) in verschillende dieptezones van de afzonderlijke deelsystemen van de Nederlandse kust over de periode 1965 - 1995, gecorrigeerd voor uitgevoerde suppleties.

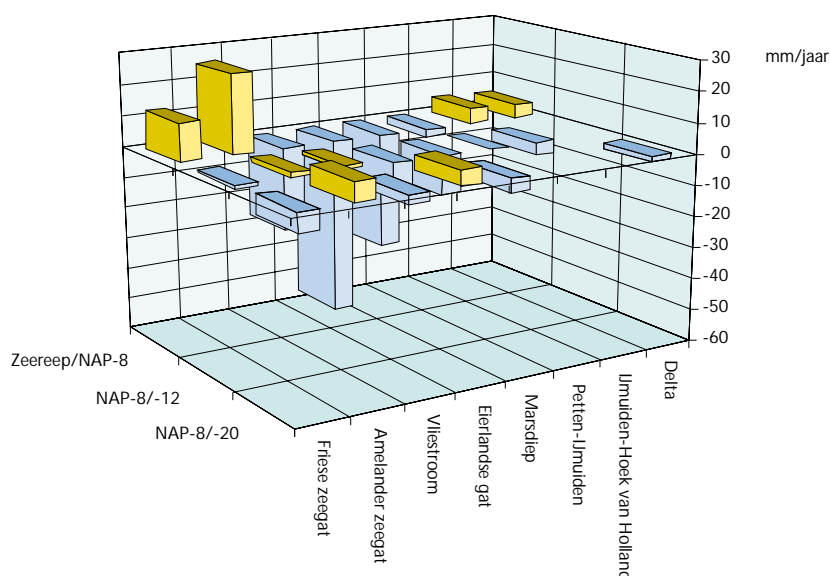
deelsysteem:	Wadden					Holland		Delta	1965 - 1995 Totaal Nederlands kustsysteem
	Friese Zeegat	Amelander Zeegat	Vliestroom	Eierlandse Gat	Marsdiep	Petten -Ijmuiden	Ijmuiden- Hoek van Holland	Delta	
ondiepe zone zeereep tot. -8m	0,29	0,61	-0,75	-1,12	-1,04	-0,08	0,25	0,3	-1,5
dieper water- NAP-8 / -12m	0,05	0,08	0,07	-0,40	-0,74	-0,01	-0,43	-	-1,5
buitendelta's NAP-8 / -20m	-1,37	1,42	-0,82	0,92	-1,13	-	-	-2,5 ²⁾	-3,5
Totaal	-1,12	2,11	-1,51	-0,60	-2,91	-0,09	-0,18	-2,2 ¹⁾	-6,5
			-4,0				-0,3	-2,2 ¹⁾	

noten: 1) gebaseerd op de jaargemiddelde zandimport door de Westerschelde over de periode 1965 - 1995 (Mol et al. , 1997)

2) indirect afgeleid uit verschil tussen gemeten zandwinst in de ondiepe zone en zandimport door Westerschelde

Fig 8

Zandbalans in verschillende dieptezones van de afzonderlijke deelsystemen van de Nederlandse kust over de periode 1965 - 1995, gecorrigeerd voor uitgevoerde suppleties. Om een onderlinge vergelijking mogelijk te maken tussen deelsystemen van verschillende omvang, is het zandverlies uitgedrukt als bodemhoogte verandering (mm/jaar) gemiddeld over de afzonderlijke dieptezones.



De ondiepe kustzone kent naast de verliesposten (Tabel 1) ook aanzienlijke winstposten. De resulterende zandbalans van de ondiepe zone in een aantal deelsystemen (Delta, IJmuiden - Hoek van Holland en het Amelander - en het Friese Zeegat) is zelfs positief (Tabel 2). De balans van de totale ondiepe zone langs de Nederlandse kust is echter negatief: een gemiddeld verlies van **-1,5 Mm³/jaar**.

Op dieper water tussen NAP-8 en -12 m, is het saldo van de zandbalans alleen positief voor de deelsystemen van Amelander Zeegat en Vliestroom. Voor de totale Nederlandse kust geldt een gemiddeld negatief saldo van ongeveer **-1,5 Mm³/jaar**, met de grootste bijdragen in IJmuiden - Hoek van Holland en in de Marsdiep - en Eierlandse Gat systemen.

De zandbalans van de meeste buitendelta's (dieptezone NAP-8 tot -20 m) is negatief. Alleen de buitendelta's van het Amelander Zeegat en het Eierlandse Gat hebben een positief saldo. De zandbalans van alle buitendelta's tezamen toont een negatief saldo van gemiddeld ongeveer **-3,5 Mm³/per jaar**.

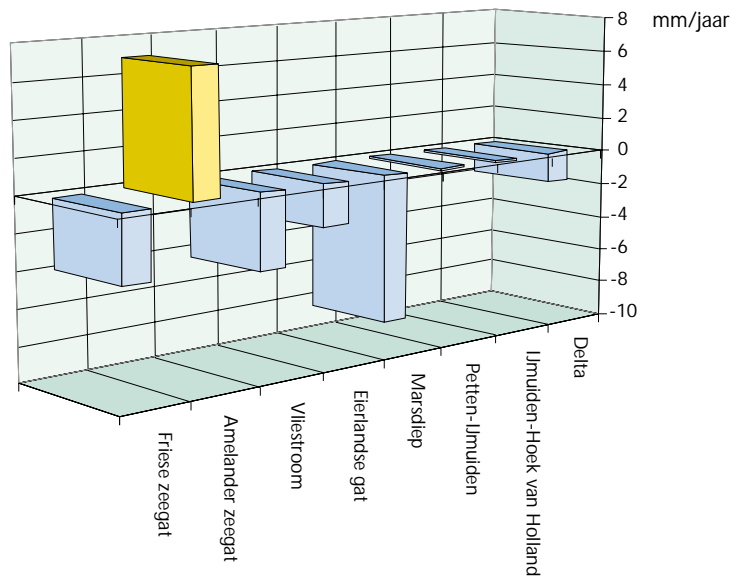
De onzekerheidsmarges rond de gemiddelde trends verschillen feitelijk per deelsysteem. Het aantal waarnemingen en de kwaliteit van de uitgevoerde analyses, verschillen immers per deelsysteem. Als indicatie voor de onzekerheid in de jaargemiddelde trends per dieptezone in de afzonderlijke deelsystemen, wordt uitgegaan van +/- 50%.

4.4 Totale zandbalans per deelsysteem van de Nederlandse kust

Op het niveau van deelsystemen (Tabel 2, Fig 9) blijkt gedurende de afgelopen dertig jaar, alleen de zandbalans van het Amelander Zeegat-kuststelsel een positief saldo te vertonen. De Wadden deelsystemen zijn gezamenlijk goed voor ongeveer 60% van alle zandverliezen in het Nederlandse kuststelsel.

Fig 9

Totale zandbalans per deelsysteem over de periode 1965-1995, gecorrigeerd voor suppleties. Om een onderlinge vergelijking mogelijk te maken tussen deelsystemen van verschillende omvang, is het zandverlies uitgedrukt als bodemhoogte verandering (mm/jaar) gemiddeld over het deelsysteem.



De totale zandbalans van het gehele Nederlandse kuststelsel tussen zeereep en NAP -20 m over de afgelopen dertig jaar, sluit naar schatting op een negatief saldo van gemiddeld (Tabel 2):

- -6,5 Mm³ per jaar

De geschatte onzekerheid rond deze jaargemiddelde trend -gebaseerd op de onzekerheid in de gebruikte basisgegevens- is +/- 50%, overeenkomend met een range van:

- -3 tot -10 Mm³/jaar

4.5 Een vergelijking met de zandvraag van de Waddenzee

De gebruikte meetgegevens over de periode 1965 -1995 reikten vaak niet verder dan de NAP-12 m dieptelijn (zie 4.1; Fig 5). Deze beperking roept de vraag op:

- In hoeverre kan de de schatting van de zandbalans in 4.4, dan representatief worden gesteld voor het Nederlandse kuststelsel met begrenzings tussen zeereep en NAP -20 m diepte?

Voor de zandbalans van het Delta-kuststelsel wordt impliciet aangenomen dat dit het geval is. Bij gebrek aan rechtstreekse gegevens is de zandbalans immers gelijk gesteld aan de (veronderstelde) enige verliespost in het Delta-kuststelsel: de zandvraag door de Westerschelde.

Voor de zandbalansen van de Hollandse - en de Waddenkust kan een indicatie voor het antwoord worden verkregen door een vergelijking tussen het kuststelsel en de Waddenzee:

- Hoe verhoudt zich de waargenomen zandbalans van het kuststelsel over de afgelopen dertig jaar, met de zandhonger door Waddenzee?
- Is het waargenomen aanbod enigzins in evenwicht met de waargenomen vraag?

De basis voor deze benadering -zowel voor de Delta als voor de Wadden- vormt de morfologische evenwichtsgedachte: de morfologische systemen van kust en Waddenzee (en estuaria) worden verondersteld voortdurend te streven naar een evenwicht met de sturende hydrodynamische krachten. Om mee te kunnen groeien met een stijging van de zeespiegel heeft de Waddenzee sediment nodig, zand of slib; hetzelfde geldt voor herstel van het evenwicht na

verschillende ingrepen (zoals afsluiting Zuiderzee en Lauwerszee, zandwinning, gaswinning). Deze sedimentvraag of -honger kan in een natuurlijke situatie alleen worden beantwoord door het kuststelsysteem. Het sedimentaanbod (zand en slib) door het kuststelsysteem is sterk gekoppeld aan de vraag door Waddenzee.

• **Westelijke Waddenzee**

De beste benadering van de opgetreden sedimentvraag aan het kuststelsysteem volgt uit de waargenomen sedimentatie in de Waddenzee (zie Tabel 3).

Tabel 3

Sedimentvraag en -aanbod (Mm^3 /jaar) voor de westelijke Waddenzee (deelsystemen Marsdiep tot en met Friese Zeegat) bij een zeespiegelstijging van 20 cm/eeuw (Louters en Gerritsen, 1994; Oost et al., 1998); zie ook Appendix 1.

Sedimentvraag en -aanbod (Mm^3 /jaar)	VRAAG door de westelijke Waddenzee		AANBOD door het kuststelsysteem
	Theoretisch	Waargenomen	Waargenomen
	Sedimenthonger	Sedimentatie	Verliezen kuststelsysteem Wadden en Holland
periode	ca. 1998	1925 - 1990	1965 - 1995
totaal	8 - 9	14 - 24	
zand		12 - 20 *)	2 - 6,5
slib		2 - 2,5 **)	?

*) geschat op basis van het gegeven dat 85 - 90% van het Waddensediment bestaat uit zand

***) omrekeningsfactor voor tonnen naar m^3 benaderd door de factor 1

Voor het westelijke deel van de Waddenzee -met de vijf deelsystemen welke voor het kustbeleid van belang zijn, te weten Friese Zeegat, Amelander Zeegat, Vliestroom, Eierlandse Gat en Marsdiep- wordt door Louters en Gerritsen (1994) op basis van lodingsgegevens vanaf 1925, de gemiddelde sedimentatie (zand en slib) becijferd op 14 tot 24 Mm^3 per jaar. Oost et al. (1998) vinden voor dit gebied vanaf 1958 een maximale sedimentatie van 22,7 Mm^3 per jaar. Als meest waarschijnlijke schatting voor de netto sedimentatie van alleen slib in de Westelijke Waddenzee geven Oost et al. (1998) 2 - 2,5 miljoen ton per jaar, hetgeen bij benadering overeenkomt met een evengrote hoeveelheid m^3 .

De waargenomen afzetting van alleen zand -en dus de opgetreden zandvraag aan het kuststelsysteem- ligt daarmee gemiddeld tussen de 12 - 20 Mm^3 per jaar over de periode 1925 - 1990.

Het waargenomen zandaanbod door het Wadden-kuststelsysteem en het Holland-systeem steekt hier schril tegen af. Dat aanbod wordt geschat op gemiddeld 4,3 Mm^3 /jaar met een range van 2 - 6,5 Mm^3 /jaar over de periode 1965 - 1995 (Tabel 2).

Het verschil tussen vraag en aanbod is voor een deel te verklaren door het verschil in beschouwde periode. De omvang van de zandvraag is zeker beïnvloed door de periode 1925 - 1965 waarin het Waddensysteem zich heeft aangepast aan de aanleg van de Afsluitdijk in 1932. Deze aanpassingen hebben vooral in het begin een grote sedimentvraag veroorzaakt. Parallel met de aanpassingen is de vraag in de loop der tijd afgenomen zoals o.a. geïllustreerd door de sterke afname van de zandimport door het Marsdiep tussen 1932 en 1995 (van Marion, 1999).

Voor de situatie rond 1998 is op theoretische gronden de sedimentvraag van de westelijke Waddenzee bepaald op 8 - 9 Mm^3 /jaar, rekening

houdend met een zeespiegelstijging van 20 cm/eeuw (zie Appendix 1). Dit lijkt redelijk in overeenstemming met de waargenomen, afnemende trend in optredende sedimentatie. Het is bovendien een aanwijzing - verder bevestigd door historische analyses (Oost et al., 1998)- voor de conclusie:

- de Waddenzee kan de huidige zeespiegelstijging volgen.

Aannemende dat de huidige sedimentatie daadwerkelijk schommelt rond de waargenomen ondergrens van 12 Mm³/jaar, lijkt een zandverlies in de kustzone van 2 - 6,5 Mm³/jaar te weinig om het klaarblijkelijke zandaanbod aan de Waddenzee te dekken:

- het lijkt niet uitgesloten dat de zandverliezen in de kustzone van Wadden en Holland, zijn onderschat (grootte orde van onderschatting: factor 2)

De schatting van de zandverliezen gebaseerd op data welke zich, met uitzondering van de buitendelta's, beperken tot een gemiddelde diepte van NAP -12 m levert dus naar alle waarschijnlijkheid geen representatief beeld op.

Conform de definitie van een actief kuststelsel met een benedengrens van NAP-20 m, zouden zandverliezen in de diepere zone voor de Noord Hollandse kust en de eilanden beneden NAP -12 m, het grotere zandaanbod aan de Waddenzee kunnen verklaren. Analyse van de beschikbare vaklodingen in deze zone moet deze vraag kunnen verhelderen.

4.6 Toekomstige ontwikkelingen en invloeden van zeespiegelstijging

De zandbalans over de afgelopen decennia hoeft niet noodzakelijkerwijs overeen te stemmen met de toekomstige zandbalans van het kuststelsel.

- **Menselijke ingrepen**

Als reactie op menselijke ingrepen (afsluiting van zeegaten, aanleg van havendammen, zandwinning) komen allerlei zandverplaatsingen op gang binnen het kuststelsel, die geleidelijk naar een nieuw evenwicht voeren. Omdat bij het naderen van een nieuw evenwicht de zandverplaatsingen kleiner worden, ligt het voor de hand te veronderstellen dat mettertijd de verliezen in de ondiepe zone geleidelijk kleiner en het saldo van de zandbalans in de afzonderlijke deelsystemen geleidelijk steeds neutraler zal worden. Deze zandverplaatsingen zijn medebepalend voor de zandbalans in een bepaalde periode.

De zandbalans over de afgelopen decennia heeft op deze wijze sterk onder invloed gestaan van ingrepen in die periode (afsluiting Lauwerszee, verlenging havenhoofden, Deltawerken, zandwinning in Waddenzee en Westerschelde). Deze invloed neemt echter in de tijd geleidelijk af. De schattingen van de trends over de afgelopen dertig jaar (zie 4.2 en 4.3) zouden dan overschattingen inhouden van toekomstige trends.

Echter, gegeven de onzekerheid over de schatting van de zandverliezen in het Wadden kuststelsel (zie 4.5), lijkt vooralsnog eerder het tegendeel het geval. Bovendien, nog afgezien van de onzekerheid over de invloed van toekomstige ingrepen, moet ook rekening worden gehouden met de effecten van zeespiegelstijging. De zandbalans over 1965 - 1995 is berekend ten opzichte van het vaste referentie niveau van NAP. De invloed van een geleidelijke stijging van de gemiddelde waterhoogte wordt daarmee niet meegenomen.

• Zeespiegelstijging

Wat is de invloed van zeespiegelstijging op de zandbalans van de kust? Een stijging van de zeespiegel heeft een direct effect op de zandbalans door de toename van de gemiddelde waterhoogte, en een indirect effect door de verandering in zandtransporterende processen.

• Directe effecten van zeespiegelstijging

Het directe effect wordt duidelijk bij de beschouwing van de zandbalans van een kuststelsel over een periode van enkele tientallen jaren. Binnen de definitie van een kuststelsel met op deze termijn, een actieve ondergrens van NAP -20 m, kan de kust over zandreserve's beschikken in een strook van ruwweg 20 m waterdiepte tot de duinen. Door stijging van de zeespiegel komt een deel van de zandreserve's beneden de 20 m waterdiepte te liggen, en daarmee buiten bereik van de kust. Direct gevolg: de beschikbare zandreserve's van de kust nemen af. Om de zandbalans op peil te houden zal aan het kuststelsel een hoeveelheid zand moeten worden toegevoegd welke minimaal zo groot is als de afname in zandreserve's (Fig 10A).

Een vergelijkbaar direct effect treedt op voor de zandverliezen in de ondiepe zone. Stijging van het gemiddeld zeeniveau leidt rechtstreeks tot een overschrijding van de BasisKustLijn. De omvang van de overschrijding hangt samen met de afname van de zandinhoud binnen de rekenschijf voor de BasisKustLijn, als gevolg van de gestegen waterspiegel (Fig 10B). De inhoudsafname bepaalt de hoeveelheid zand welke minimaal nodig is om de kustlijn te handhaven bij een stijging van de zeespiegel.

De rekenmethode voor de BKL maakt gebruik van de gemiddeld laagwaterlijn. Door te rekenen met een gemiddeld laagwaterlijn welke is gefixeerd ten opzichte van NAP, wordt het directe effect van een stijging van het zeeniveau verwaarloosd. Door elke tien jaar de rekenparameters te corrigeren voor de zeespiegelstijging wordt dit effect gecompenseerd.

.....
Tabel 4

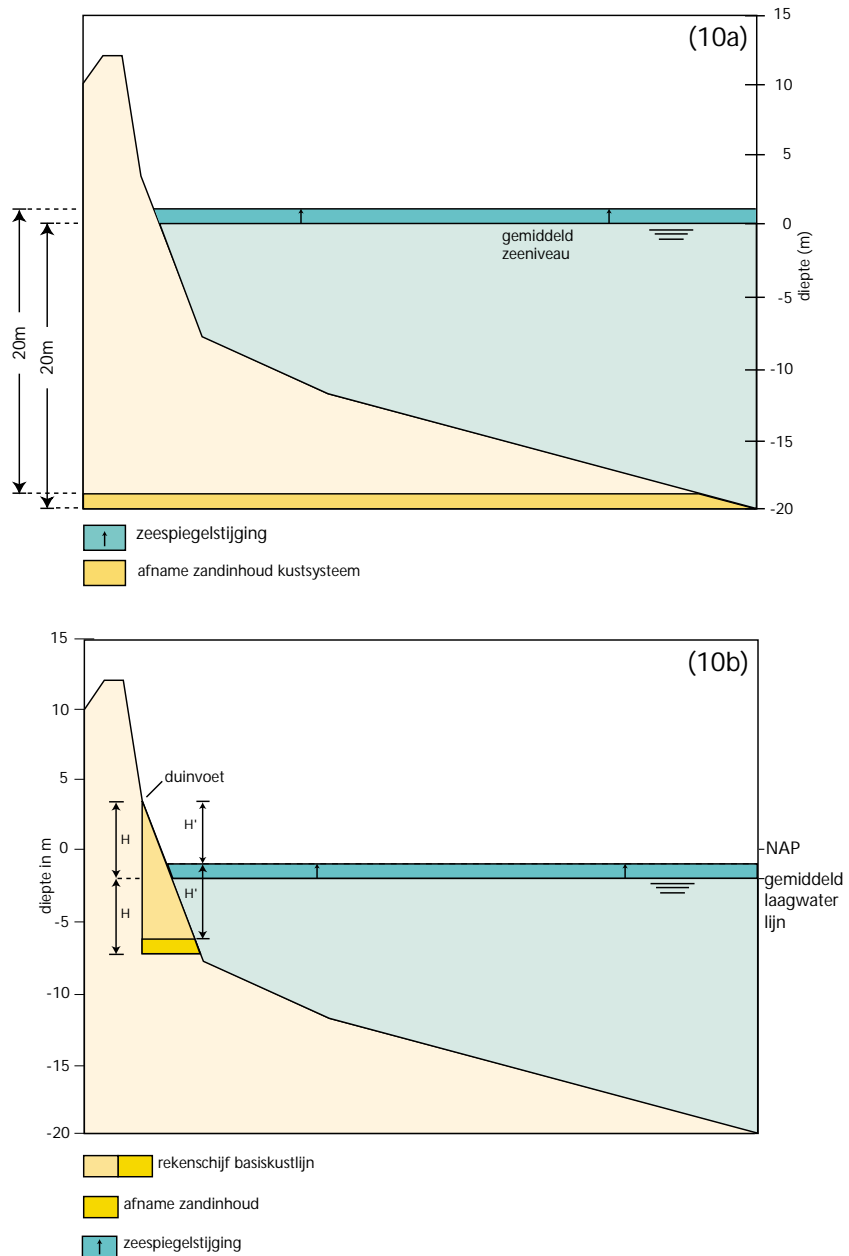
Direct effect van zeespiegelstijging op het zandverlies in de ondiepe zone (boven NAP-8m) en op de zandbalans van het kuststelsel, rekening houdend met verschillende dieptebeperkingen van het kuststelsel en met verschillende scenario's van zeespiegelstijging (bron: Wolters, 1995).

De omvang van het directe effect van zeespiegelstijging op de zandbalans van het kuststelsel wordt sterk bepaald door de ondergrens van het kuststelsel.

Direct effect toename waterdiepte (Mm ³ /jaar)	zeespiegelstijging scenario		
	20 cm/eeuw	60 cm/eeuw	85 cm/eeuw
Zandverlies ondiepe kustzone			
• ondergrens ondiepe zone -8 m	- 0,6	- 2,0	- 2,9
Zandbalans kuststelsel			
• ondergrens kuststelsel -12 m	-0,9	-3,0	-4,2
• ondergrens kuststelsel -20 m	-2,8	-8,5	-12,0

Fig 10

Direct effect van zeespiegelstijging op (10a) de zandinhoud van het kuststelsel en (10b) op de kustlijnligging; het laatste wordt bepaald door de verandering van de zandinhoud binnen de rekenschijf.



• Indirecte effecten van zeespiegelstijging

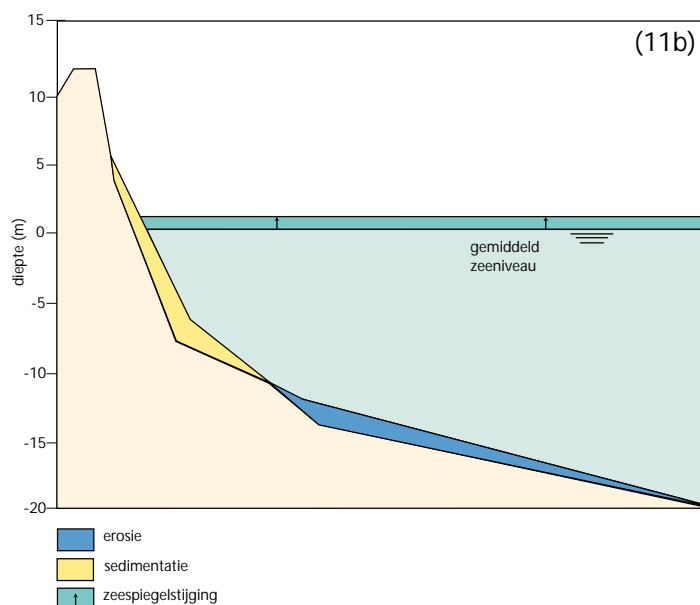
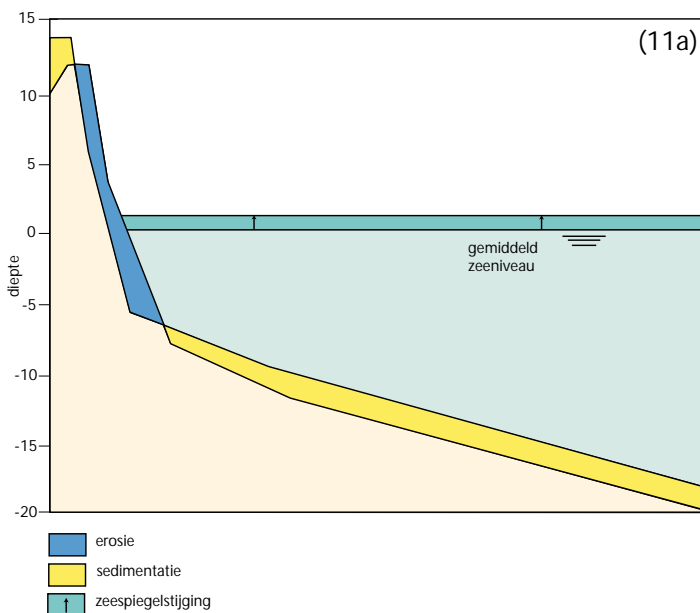
Indirecte effecten van zeespiegelstijging op de zandbalans komen tot uiting in veranderingen in het zandtransport door golven en stroming. Deze veranderingen zijn zeer complex en kunnen zeer verschillende gevolgen hebben voor de zandbalans.

Een gangbare theorie (de zogenaamde Bruun-regel) gaat ervan uit dat een complex aan processen, bij een stijging van de zeespiegel leidt tot vormbehoud van het kustprofiel (Fig 11A). Resultaat daarvan is een zandverlies in de ondiepe, en zandwinst in de diepere kustzone; veranderingen welke een duidelijk effect zouden hebben op het zandverlies in de ondiepe zone. Voor de zandbalans van het kuststelsel als geheel echter, lijken de effecten gering ondanks de vormveranderingen; overheersend is een herverdeling van het zand binnen het systeem. Wel maakt de Bruun-theorie duidelijk dat door een landwaartse verplaatsing van het bovendee van het kustprofiel, zandverliezen door verstuiving via de wind belangrijk zouden kunnen toenemen. Tot op heden is relatief weinig expliciete aandacht besteed

aan de eolische verliespost in de zandbalans. De gemiddelde omvang langs de Nederlandse kust van de zandwinst in de duinen door verstuiving uit de zeereep kan worden geschat op ruwweg 2 Mm³/jaar (van der Wal, 1999); voldoende groot om aan de wind-factor in de toekomst meer aandacht te besteden.

Een andere theorie (Stive en de Vriend, 1995) gaat ervan uit dat in tegenstelling tot Bruun, bij een stijging van de zeespiegel het ondiepe deel van de kust juist vooruit kan gaan, terwijl het diepe deel vervlakt en bijgevolg het middendeel versteilt (Fig 11B). Een geheel andere vormverandering dus. Opnieuw echter een verandering met mogelijk wel gevolgen voor het zandverlies in de ondiepe zone (en dus voor de kustlijnligging), maar nauwelijks voor de zandbalans van het kuststelsel. Herverdeling van het zand in een richting dwars op de kust, blijft overheersend.

Fig 11
Indirect effect van zeespiegelstijging: schematische weergave van aanpassingen van het kustprofiel door veranderingen in het zandtransport; (11a) volgens de theorie van Bruun, (11b) volgens het model van Stive en de Vriend (1995).



De grootste indirecte effecten van zeespiegelstijging op de zandbalans van het kuststelsel, komen tot stand door veranderingen in het zandtransport langs de kust. Hoofdoorzaak van deze veranderingen: een toename van de zandvraag door estuaria en met name de Waddenzee. Om mee te kunnen groeien met een stijgende zeespiegel hebben deze gebieden een evenredige hoeveelheid extra sediment nodig. Dat kan zowel zand als slib zijn. Hoe groot het resulterende verlies aan zand in de kustzone daadwerkelijk is, hangt af van de snelheid waarmee het Waddensysteem op de toegenomen sedimentbehoefte reageert, maar ook van de beschikbaarheid en afzettingssnelheid van slib.

4.7 Schatting van toekomstige zandverliezen volgens verschillende scenario's

De snelheid waarmee de Wadden en de Westerschelde reageren op een verandering in sedimentbehoefte als gevolg van zeespiegelstijging of menselijke ingrepen, bepaalt dus de schatting van toekomstige zandverliezen en de zandbalans van het kuststelsel.

- **Scenario's voor de periode 2000 - 2040**

Om een beeld te vormen van de te verwachten zandverliezen in de komende decennia 2000 - 2040, is daarom een schatting gemaakt voor zowel een maximum- als een minimum scenario. Beide zijn doorgerekend voor drie scenario's voor zeespiegelstijging.

- **Zandbalans**

(1) - *een maximum zandbalans scenario (zie Appendix 1)*, voor een belangrijk deel bepaald door de maximale zandbehoefte van de Waddenzee en Westerschelde om zich aan te kunnen passen aan toekomstige veranderingen in zeespiegelstijging. Daarbij is uitgegaan van de zandbehoefte op het moment dat zich een nieuw evenwicht heeft ingesteld, zonder rekening te houden met een geleidelijke toename van de zandvraag aan de kust doordat in werkelijkheid de Wadden en Westerschelde met een zekere traagheid zullen reageren. Een geleidelijke afname van de invloed van menselijke ingrepen uit het verleden, is in het maximum scenario wel verdisconteerd. Als toekomstige ingrepen is alleen rekening gehouden met een zekere zandwinning.

(2) - *een minimum zandbalans scenario*, waarbij juist wel rekening is gehouden met een vertraagde reactie op de toenemende zandbehoefte als gevolg van zeespiegelstijging. Voor deze schatting is voortgebouwd op de modelbenaderingen gebruikt voor Kustbalans 1995. Er is uitgegaan van de door Steetzel (1995) en van Rijn (1995) berekende relatieve veranderingen in de zandbalans ten opzichte van de huidige situatie (Mulder, 1999).

- **Zandverlies ondiepe zone alleen waar BKL is gedefinieerd**

Voor het kustbeleid is zandverlies in de ondiepe zone alleen van belang in de kustgedeelten waar een BasisKustLijn is gedefinieerd (zie ook 4.2). Alleen voor deze delen is een prognose gemaakt van toekomstige ontwikkelingen.

Ook hierbij is onderscheid gemaakt in

(3) - *een maximum zandverlies scenario*, waarbij evenals bij de maximale zandbalans-berekening, is uitgegaan van de maximale zandvraag door Wadden en Westerschelde. Bovendien is verondersteld dat deze behoefte volledig door alleen de ondiepe zone

voldaan zal moeten worden. Daarmee kan dit scenario worden beschouwd als het absolute maximum voor de ondiepe zone.

(4) - *een minimum zandverlies scenario*, met een vergelijkbare relatieve benadering als bij het minimum-zandbalans scenario.

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in Appendix 1 en 2, en zijn samengevat in Tabel 5.

Tabel 5

Schatting van de gemiddelde toekomstige ondiep water verliezen, en de toekomstige zandbalans van het kuststelsel (Mm³/jaar) over de periode 2000 - 2040, bij verschillende scenario's (zie ook Appendix 1 en 2).

Schattingen van de gemiddelde waarde (Mm ³ /jaar)	zeespiegelstijging scenario		
	20 cm/eeuw	60 cm/eeuw	85 cm/eeuw
Toekomstig zandverlies ondiepe kustzone			
• Minimum scenario	-6	-8	-10
• Maximum scenario	-8 / -14	-18 / -24	-24 / -29
Toekomstige Zandbalans kuststelsel (zeereep tot NAP-20m)			
• Minimum scenario	-9	-16	-21
• Maximum scenario	-10 / -16	-25 / -31	-33 / -38

5 Compenseren door suppleren

5.1 Hoeveel?

Om op langere termijn de zandinhoud van de deelsystemen van de kust op peil te houden moet een negatief saldo in de zandbalans worden aangevuld. Tegelijkertijd vereist het handhaven van de kustlijn dat op de kortere termijn de zandverliezen in de ondiepe zone worden gecompenseerd.

- **Stap 1: compensatie van de verliespost in de ondiepe zone**
De eerste prioriteit voor veiligheid en kustlijnhandhaving brengt met zich mee dat allereerst de zandverliezen in ondiepe zone (de JARKUS zone) moeten worden aangevuld. Zandverliezen op dieper water vragen vervolgens alleen compensatie, wanneer de resterende zandbalans van het deelsysteem een negatief saldo blijft houden:
- **Stap 2: compensatie negatieve zandbalans per deelsysteem**

Gebruikmakend van deze stappen-volgorde is per deelsysteem een schatting gemaakt van de benodigde suppletiehoeveelheden. Hierbij is uitgegaan van zowel een minimum- als een maximum-scenario voor de verwachte toekomstige zandverliezen en zandbalans (zie 4.7) en van verschillende scenario's voor zeespiegelstijging. Verliezen in de ondiepe zone worden alleen gecompenseerd wanneer ter plaatse een BasisKustLijn is gedefinieerd.

Tabel 6

Afleiding van in de nabije toekomst (2000 - 2040), benodigde suppletiehoeveelheden en de resulterende zandbalans na compensatie van achtereenvolgens de verliezen in de ondiepe kustzone en verliezen op dieper water (eenheden: Mm³/jaar) bij gelijkblijvende zeespiegelstijging van 20 cm/eeuw en uitgaande van het 'Minimum-scenario' voor zandverlies en zandbalans (tabel 5). Zie voor details en voor overige berekeningen Appendix 3.

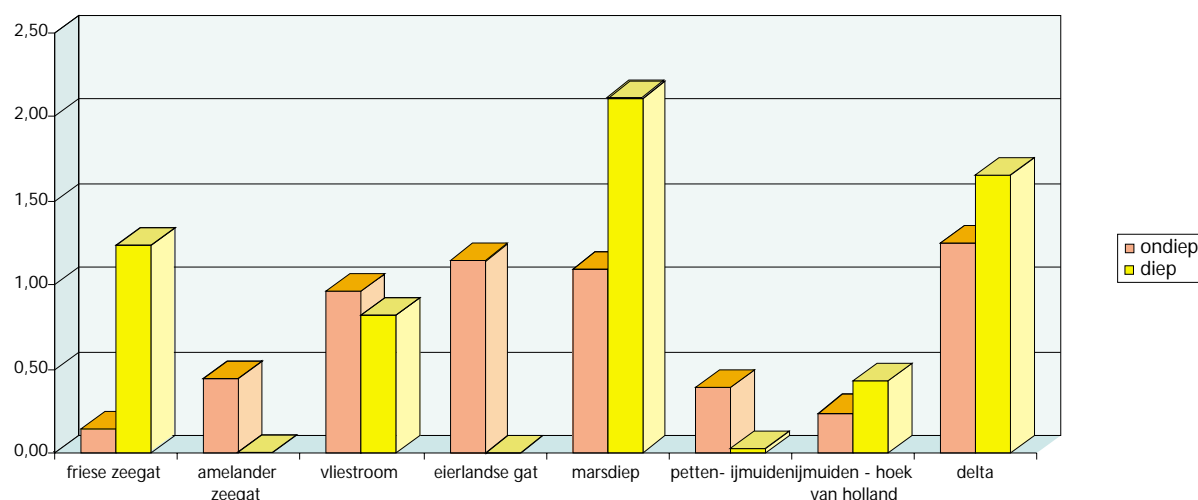
deelsysteem:	Wadden								Totaal Nederlands kustsysteem
	Friese Zeegat	Amelander Zeegat	Vliestroom	Eierlandse Gat	Marsdiep	Petten - Ijmuiden	Ijmuiden- Hoek van Holland	Delta	
A toekomstige zandbalans	-1,4	1,9	-1,79	-0,81	-3,20	-0,42	-0,67	-2,9	-9,3
stap 1:									
B compensatie verlies ondiepe zone	0,14	0,44	0,96	1,14	1,09	0,39	0,25	1,25	5,6
	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C = A + B tussenresultaat zandbalans	-1,23	2,31	-0,83	0,34	-2,11	-0,03	-0,43	-1,65	-3,6
stap 2:									
D compensatie negatieve zandbalans	1,23		0,83		2,11	0,03	0,43	1,65	6,3
	+		+		+	+	+	+	+
E = C + D eindresultaat zandbalans	0	2,31	0	0,34	0	0	0	0	2,6
F = B + D	Totale suppletie behoefte								11,9

Voor het zogenaamde 'Minimum scenario' voor zandbalans en ondiep water zandverlies (zie 4.7), zijn gedetailleerde berekeningen opgenomen in Appendix 3. Als voorbeeld is in Tabel 6 de berekening weergegeven voor dit scenario en een gelijkblijvende zeespiegelstijging van 20 cm/eeuw.

Volgens dit scenario blijkt na compensatie van de ondiep water verliezen (stap 1) de zandbalans van de deelsystemen Amelandse Zeegat en Eierlandse Gat, een positief saldo te hebben. Compensatie van een negatieve zandbalans (stap 2) door het aanvullen van diep water verliezen, blijkt alleen nog nodig in de overige deelsystemen (zie ook Fig. 12). De totale suppletie behoefte volgens stap 1 en stap 2 bij het 'Minimum scenario', blijkt voor de toekomst (2000 - 2040) uit te komen op gemiddeld 12 Mm³/jaar.

Fig 12

Toekomstige suppletiebehoefte (Mm³/jaar) per deelsysteem over de periode 2000 - 2040 bij gelijkblijvende zeespiegelstijging. Afzonderlijk zijn aangegeven: - [ondiep] de suppletiebehoefte ter compensatie van de verliezen in de ondiepe zone gericht op de kustlijnhandhaving, en - [diep] de daarna resterende suppletiebehoefte ter compensatie van een negatieve zandbalans in het deelsysteem gericht op de veerkrachthandhaving.



Voor het 'Maximum scenario' kan de toekomstige suppletiebehoefte eenvoudig worden afgeleid uit de maximale zandvraag door het kustsysteem en door de Wadden en Westerschelde (Appendix 1 en 2; Tabel 5). Bij gelijkblijvende zeespiegelstijging blijkt de gemiddelde suppletiehoeveelheid uit te komen op 10 - 16 Mm³/jaar.

Op het eerste gezicht lijkt het vreemd dat de benedenwaarde volgens het 'Maximum scenario', lager uitvalt dan de gemiddelde waarde volgens het 'Minimum scenario'. Het vormt echter een illustratie voor het feit dat volgens het 'Minimum scenario', de zandbalans van het kustsysteem jaarlijks groeit met een omvang van ca. 2 Mm³ (zie Tabel 6 en Appendix 3). Een consequentie van de stappen-benadering met een eerste prioriteit voor het compenseren van de ondiep water verliezen.

- **Totale suppletiebehoefte voor het Nederlandse kustsysteem (2000 - 2040)**

De totale jaargemiddelde suppletiebehoefte in het Nederlandse kustsysteem (Tabel 7) wordt geschat op

- **minimaal gemiddeld 12 Mm³/jaar**

en

- **maximaal gemiddeld 12 - 16 Mm³/jaar**
bij gelijkblijvende zeespiegelstijging van 20 cm/eeuw

Bij een toename van de zeespiegelstijging kan de behoefte oplopen tot

- **minimaal gemiddeld 19 Mm³/jaar**

en

- **maximaal gemiddeld 25 - 31 Mm³/jaar**

bij een zeespiegelstijging van 60 cm/eeuw

en

- **minimaal gemiddeld 23 Mm³/jaar**

en

- **maximaal gemiddeld 33 - 38 Mm³/jaar**

bij een zeespiegelstijging van 85 cm/eeuw.

Op basis van de grote fluctuaties rond de gemiddelde jaarlijkse trends in de zandbalans, zoals waargenomen over de afgelopen decennia (zie 4.2 en 4.3; Stam, 1999; Mulder, 1999), wordt ook rond de schattingen van de toekomstige suppletiebehoefte een range aangenomen van +/- 50%.

Tabel 7

Schatting van de totale suppletiebehoefte in het Nederlandse kuststelsel voor de nabije toekomst (2000 - 2040), bij verschillende scenario's van zeespiegelstijging en uitgaande van verschillende schattingen voor de toekomstige zandbalans van het kuststelsel (zie Tabel 5). Op grond van fluctuaties rond de jaargemiddelde trends in het verleden van orde +/- 50%, wordt rond de schattingen een vergelijkbare range aangenomen.

Gemiddelde suppletiebehoefte (2000 - 2040) (Mm ³ /jaar)	zeespiegelstijging scenario		
	20 cm/eeuw	60 cm/eeuw	85 cm/eeuw
• minimum scenario			
compensatie ondiepe zone	5,6	7,9	10,0
compensatie dieper water	6,3	10,6	13,0
TOTAAL	12	19	23
• maximum scenario			
TOTAAL	10 - 16	25 - 31	33 - 38

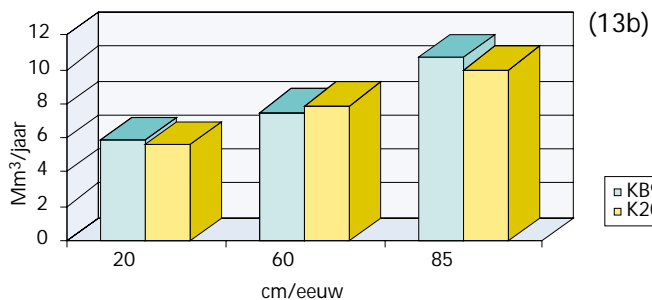
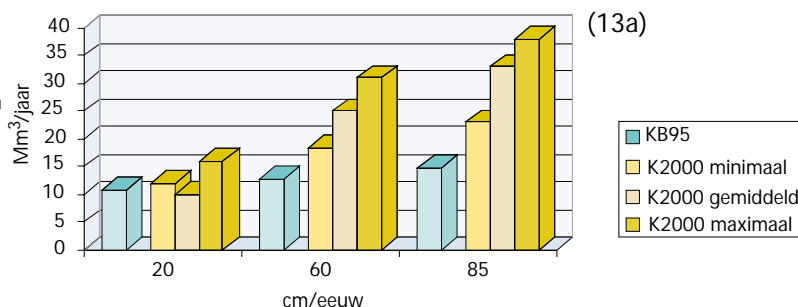
• Conclusies

Eerdere schattingen voor benodigde suppletiehoeveelheden voor compensatie van zandverliezen in de ondiepe zone (KB95 en de Ruig et al., 1995) komen redelijk overeen met de nieuwe schattingen (Tabel 7; Fig 13A). Ook de suppletiebehoefte voor het totale kuststelsel bij gelijkblijvende zeespiegelstijging, wijkt weinig af van de eerdere schatting. Echter,

- bij een versnelling van de zeespiegelstijging neemt volgens de nieuwe schatting, de suppletiebehoefte veel sterker toe. Volgens het 'Minimum scenario' is bij een zeespiegelstijging van 60 cm/eeuw, de suppletiebehoefte ca. 50% hoger dan eerder geschat (Fig 13B).
- Een versnelling van de zeespiegelstijging heeft een grotere invloed dan verondersteld in Kustbalans 1995.

Fig 13

Schattingen van de toekomstige suppletiebehoefte (2000 - 2040) in alleen de ondiepe zone (13 a) en in het gehele kuststelsysteem (13 b). Een vergelijking tussen de prognoses van Kustbalans 1995 en de huidige benadering (KUST2000) volgens zowel het 'Minimum-' als het 'Maximum-scenario'.



Andere conclusies uit de huidige benadering zijn:

- Rond de jaargemiddelde schattingen kunnen marges van orde 50% optreden. Dit onderstreept dat bij de uitvoering, de suppletie-inspanning jaarlijks behoorlijk kan en mag fluctueren.
- Compensatie van zandverlies op dieper water is niet iets dat overal langs de kust even belangrijk is. Volgens de gebuikte benadering betreft het vooral de kustsystemen in de Delta en rond het Marsdiep, het Friese Zeegat, het Vlie en in mindere mate het systeem IJmuiden - Hoek van Holland (zie ook Fig 12).
- De huidige benadering illustreert dat toepassing van geschatte suppletiehoeveelheden volgens het 'Minimum scenario', leidt tot een duidelijke toename van de zandinhoud van het gehele kuststelsysteem; jaarlijks orde 2Mm³ (zie Appendix 3).

Genoemde schattingen beperken zich tot de suppletiehoeveelheden nodig voor het bereiken van de beleidsdoelstellingen voor alleen de kust.

- Wanneer ook de beleidsdoelstellingen voor de Waddenzee in de beschouwing worden betrokken, zal in de toekomst ook aandacht moeten worden geschonken aan de zandbalans van het Eems-Dollard systeem. Het is niet op voorhand uit te sluiten dat ook hier verliezen moeten worden gecompenseerd.

5.2 Waar?

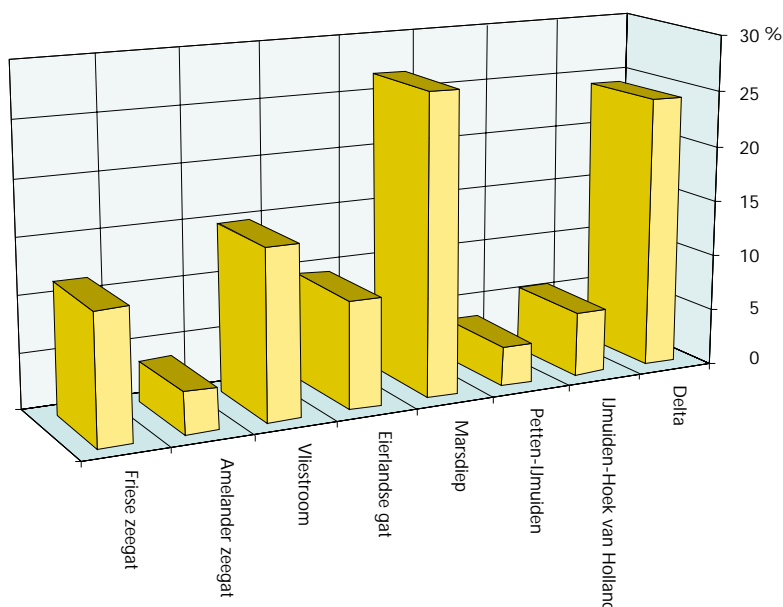
De vraag waar het suppletiezand moet worden aangebracht is voor een deel al beantwoord:

1. op plaatsen waar land blijvend verloren dreigt te gaan, oftewel waar de basiskustlijn structureel dreigt te worden overschreden; de uitwerking van het Dynamisch Handhaven beleid 1990.
2. binnen de deelsystemen van de kust met een resterend negatief zandsaldo na compensatie van de ondiep water verliezen; de uitwerking van het in de 4^e Nota Waterhuishouding vastgelegde beleid ter compensatie van zandverliezen op dieper water.

De grootste suppletiebehoefte blijkt te bestaan in de deelsystemen van de Wadden (met als uitschieter het Marsdiep-systeem) en in het Delta-systeem (zie Tabel 6 en Fig 14).

Fig 14

Schatting van de totale suppletiebehoefte per deelsysteem uitgedrukt als percentage van de suppletiebehoefte voor het gehele Nederlandse kuststelsel.



Rest de vraag in welke dieptezone? Op het strand of onder water?

Omdat compensatie van de verliezen in de ondiepe zone voorop blijft staan, komt de ervaring die vanaf 1990 is opgedaan bij het Dynamisch Handhaven van de kustlijn, goed van pas :

• Strandsuppleties

Merendeels door het uitvoeren van strandsuppleties, is het de afgelopen jaren vrijwel overal gelukt de kustlijn te handhaven. Dynamisch Handhaven is succesvol. Gemiddeld is in de periode 1990 - 1997 jaarlijks 6 Mm³ zand gesuppleerd. Een hoeveelheid welke redelijk overeenstemt met het waargenomen jaargemiddelde zandverlies in de ondiepe zone.

- Compenseren van de verliezen in de ondiepe zone door een vergelijkbare suppletiehoeveelheid binnen dezelfde zone, blijkt het gewenste resultaat te hebben.

Wanneer strandsuppleties over een grotere tijd- en ruimteschaal worden geëvalueerd - een tiental jaren en vele kilometers - dan blijkt dat er vrijwel nergens sprake is van verlies van suppletiezand. Het meeste suppletiezand verspreidt zich langs de kust over een groter gebied, maar blijft in de ondiepe kustzone aanwezig (Roelse, 1996). Op de schaal van hele kustvakken zijn de suppleties dus vrijwel overal 100% effectief. Alleen bij Texel lijkt een duidelijk lek in dit systeem te zitten. Zandhonger van de Waddenzee lijkt een belangrijke oorzaak.

• Onderwatersuppleties in de ondiepe kustzone

Intussen zijn de eerste ervaringen opgedaan met onderwatersuppleties; weliswaar beperkt tot onderwatersuppleties in de ondiepe kustzone. De eerste onderwatersuppletie op een diepte tussen -7 en -5 m NAP (Terschelling; zie Spanhoff, 1997) heeft een zeer positief effect op de kustlijn. Er zijn geen significante verliezen naar dieper water opgetreden. Het gesuppleerde zand is relatief snel opgenomen in het dynamische bankensysteem. Wel wordt ruwweg gesteld dat hoe dieper het zand wordt geplaatst, hoe trager het transport in landwaartse richting zal verlopen. Als algemene lessen leidt Spanhoff (1997) af:

- Onder water suppleren is in potentie goedkoper dan suppleren op het strand.
[Deze stelling wordt verder onderbouwd door recente ervaringen met onderwatersuppleties op Ameland (1998), bij Noordwijk, Katwijk en Delfland (1997) en Scheveningen (1999)].

- Onder water suppleren levert minder overlast voor andere functies, m.n. recreatie
- Voor compensatie van kustlijnachteruitgang, is onder water suppleren een efficiënte methode. Echter, bij acute (veiligheids)problemen is een strandsuppletie op de bedreigde plek nog steeds de aangewezen oplossing
- Onder water suppleren ter compensatie van ondiepe zandverliezen, heeft goede kansen langs de gehele Nederlandse kust, met uitzondering van kustvakken met getijgeulen.

• **Compensatie van zandverlies op dieper water (dieper dan NAP-8 m)**

Compensatie van zandverlies op dieper water (dieper dan NAP-8 m) door het rechtstreeks suppleren van zand in de diepe kustzone, heeft tot op heden niet plaatsgevonden. Het is ook de vraag of dat wel zinvol is. De wens om de zandvoorraad van het kuststelsel op peil te houden en dus ook zandverlies op diep water te compenseren, stelt feitelijk geen eis aan de plaats waar de compensatie wordt aangebracht. De enige eis is dat voldoende zand in het systeem wordt gebracht. In lijn met de beleidswens om onbelemmerd werkende natuurlijke processen te stimuleren, wordt verondersteld dat de natuur zelf zorg draagt voor een herverdeling van zand welke zo goed mogelijk past bij een nieuw evenwicht.

Uitvoerings- en kostentechnisch is voor het suppleren van zand beneden NAP-5/-6 m, de aanlegdiepte nauwelijks onderscheidend.

5.3 Meest efficiënte uitvoeringswijze

Uitgaande van een dynamische zelfregulering is voor duurzaam kustbeheer, gebaseerd op het principe van veerkracht, niet de plaats waar verliezen optreden een probleem, maar het handhaven voor langere termijn van voldoende zand en speelruimte om natuurlijke veranderingen aan de kust toe te kunnen laten. Op kleinere schaal vanuit het oogpunt van kustlijnhandhaving, zijn de problemen en dus de gewenste maatregelen juist wel sterk plaats- en tijdgebonden. De problemen gekoppeld aan de relatief kleinschalige benadering van de kustlijnhandhaving, kunnen worden verlicht door gebruik te maken van de relatieve vrijheid geboden door de grootschalige benadering.

Beide beleidsdoelstellingen combinerend en voortbouwend op de ervaringen met suppleties leidt dit tot de volgende aanbevelingen voor de meest efficiënte uitvoeringswijze:

- *Breng het zand zo dicht mogelijk in de buurt waar het nodig is, vanuit oogpunt van kustlijnhandhaving of van veiligheid.*

Dus:

- *Suppleer waar het moet op het strand, waar het kan onder water*

en

- *Suppleer onder water in de ondiepe kustzone (niet dieper dan NAP -8 m), en laat natuurlijke processen het zand herverdelen binnen het kuststelsel.*

Voor de opstelling van het jaarlijkse suppletieschema geldt:

- *houdt rekening met de spreiding van de jaarlijkse suppletiebehoefte over de verschillende deelsystemen.*

5.4 Evalueren

• Langjarige monitoring

Compensatie van zandverliezen op dieper water komt voort uit een grootschalige benadering van de kust met ruimtelijke eenheden op de schaal van deelsystemen en een tijdseenheid van decennia. Evaluatie van de effectiviteit van dit beleid vereist een monitorprogramma dat op deze tijd- en ruimteschaal is afgestemd. Indien de langere meetraaien structureel worden opgenomen in het monitoringprogramma voldoet de ruimtelijke dekking en de frequentie aan deze eis. Het programma zal de komende decennia dienen te worden voortgezet.

Door de nauwkeurigheid van de metingen te verhogen, wordt de mogelijkheid vergroot om op kortere termijn uitspraken te kunnen doen over de effectiviteit van het (diep water) suppleren.

Door de ontwikkeling van verschillende ondiepe onderwatersuppleties te monitoren worden de morfologische effecten en effectiviteit van de suppleties gevolgd. De kennis over de hoeveelheid zand welke weglekt naar dieper water kan vervolgens worden gebruikt om de vraag te beantwoorden of rechtstreeks suppleren op dieper water efficiënt kan zijn ten einde suppleties te optimaliseren.

• Langjarige referentie data

Evaluatie van het nieuwe beleid vereist een goede vastlegging van de langjarige referentie situatie: de gemiddelde zandbalans trend over de voorbije dertig jaar. Door de onvolledige ruimtelijke dekking van de tot heden ge-analyseerde basisdata is de referentie-situatie nog onvoldoende bekend. Verdere analyse van overige data uit de voorbije periode moet met voorrang leiden tot een volledig dekkende zandbalans van het Nederlandse kuststelsel.

Zeker met het oog op toekomstige effecten van een versnelde zeespiegelstijging, verdienen de Waddenkustsystemen bijzondere aandacht. Het onderzoek moet dan ook leiden tot een beter antwoord op de vraag: levert de kust voldoende zand aan de Waddenzee (zie ook 4.5)?

• Inzichten versnellen door gerichte proefnemingen

Om op een relatief korte termijn van enkele jaren, een eerste evaluatie van het nieuwe langjarige beleid te kunnen uitvoeren is per definitie lastig. Om de inzichten te versnellen kan, in aanvulling op het monitorprogramma, gedacht worden aan een of meer gerichte proefnemingen. Over de aard hiervan zou in onderling overleg verder moeten worden nagedacht.

• Kansen benutten

Suppleties gericht op het aanvullen van de zandverliezen op dieper water ter handhaving van de veerkracht, bieden een relatieve vrijheid voor wat betreft de plaats, de vorm en het tijdstip van uitvoering.

Feitelijk is de enige eis voor veerkrachthandhaving het op peil houden van het totale zandvolume binnen het kuststelsel. Dit biedt belangrijke kansen voor het beheer. Kansen voor het oplossen van problemen naast of in het verlengde van de zuivere kusthandhaving.

Het benutten van deze kansen vereist een goed overleg en verdient een nadere verkenning van de mogelijkheden. Zo zou onderzocht kunnen worden in hoeverre een landwaartse verschuiving van de afslagzone bij stijgende zeespiegel, kan worden beïnvloed door (herhaalde) gerichte suppleties. Het daarvoor benodigde zand zou tegelijkertijd compensatie kunnen bieden voor zandverlies in het kuststelsel.

Wellicht is voor dit vraagstuk een proefneming te overwegen. Daarbij zou aansluiting kunnen worden gezocht bij vraagstukken rond de

effecten van grootschalige zandwinning en van infrastructurele werken zoals een tweede Maasvlakte of mogelijk een eiland in zee.

Referenties

- Groenendijk, F.C. (1995 A),
Zand voor Nederland, Een analyse vanaf 1964 en een
extrapolatie tot 2010 van het zandvolume in de Jarkus zone,
Rapport RIKZ-95.003
- Groenendijk, F.C. (1995 B),
Kustvoorspelling 1995, Integratienota van Kustgeneserapporten
ten behoeve van de voorspelling van de Nederlandse kust,
Rapport RIKZ-95.004
- Hinton, C. (1998),
The spatial and temporal behaviour of sediment volume
changes and depth of closure along the Holland coast between
1965 and 1990, Rapport PACE / Kust*2000 (october 1998)
- Kustbalans (1995),
Kustbalans 1995; de tweede kustnota,
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, april 1996
- Kustnota (1990),
Kustverdediging na 1990; beleidskeuze voor de kustlijnzorg
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Tweede Kamer, 1989-1990, 21 136
- Kustbalans 1995 (1996),
Kustbalans 1995 - de tweede kustnota,
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat Generaal
Rijkswaterstaat
april 1996
- Louters, T en F. Gerritsen (1994),
Het Mysterie van de Wadden - Hoe een getijdesysteem inspeelt
op zeespiegelstijging -, Rapport RIKZ-94.040
- Marion, B.B. van (1999)
Zandbalansen van het Zeegat van Texel met het Invers
sediment Transport Model (1931 tot 1997); deel I en II, Rapport
RIKZ/OS-99.116x
- Mulder, J.P.M. (1999),
Zandverlies op dieper water; een samenvatting van de jongste
inzichten
Werkdocument RIKZ/OS-99.165 X.
- Mol, G., A.M. van Berchum, G.M. Krijger (1997)
De toestand van de Westerschelde aan het begin van de
verdieping 48'/43', Rapport RIKZ-97.049,
ISBN 90-369-3412-5
- Oost, A.P., B.J. Ens, A.G. Brinkman, K.S. Dijkema, W.D. Eijsink,
J.J. Beukema,
H.J. Gussinklo, B.M.J. Verboom, J.J. Verburgh, (1998),
Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee, Rapp. Nederlandse
Aardolie Maatschappij BV, Assen, ISBN 90-804791-4-4
- van Rijn, L.C. (1995),
Sand budget and coastline changes of the central Dutch coast
WL rapport H2129- project Kustgenese
- Roelse, P. (1996),
Evaluatie van zandsuppleties aan de Nederlandse kust 1975 -
1994; een morfologische beschouwing, Rapport RIKZ-96.028

- Ruig, J de (red). (1995),
De kust in breder perspectief, Basisrapport kustnota 1995
Rapport RIKZ-95.005
- Spanhoff, R. (1997),
Suppleren onder water, Werkdocument RIKZ/OS-97.150X
- Stam, J.M.T.(1999),
Zandverlies op diep water aan de Hollandse kust, Rapport RIKZ-
99.006
- Steetzel, H. (1995),
Voorspelling ontwikkeling kustlijn en buitendelta's Waddenkust
over de periode 1990 - 2040, WL rapport H1887- project
Kustgenese
- Stive, M.J.F. en W.D. Eijsink, (1989),
Voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990 - 2090, fase3
Deelrapport 3.1: dynamisch model van het Nederlandse
kustsysteem, H825
- Stive, M.J.F. en H.J de Vriend, (1995)
Modelling shoreface profile evolution
Marine Geology 126(1995), 235-248
- TR-5 (1990),
Kustvoorspelling; voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990-2090
Technisch Rapport 5; Kustverdediging na 1990
- Vierde Nota Waterhuishouding (1998),
Water Kader; Vierde Nota Waterhuishouding;
Regeringsbeslissing
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
- Wal, D. van der, (1999)
Aeolian Transport of Nourishment Sand in Beach-Dune
Environments
Thesis Universiteit van Amsterdam
- Wolters, A.F. (1995)
Zeespiegelstijging en de gevolgen voor de Nederlandse kust
Rapport TAW-C / TUD, september 1995

Appendix 1 Schatting van toekomstig maximale sedimentvraag door de Waddenzee en de Westerschelde in de periode 2000 - 2040

Maximale of evenwichtswaarden ¹ van de Sedimentvraag aan Nederlandse kuststelsysteem (Mm ³ /jaar) door Waddenzee en estuaria in de Delta									
als gevolg van verschillende factoren		bij verschillende scenario's van zeespiegelstijging							
		20 cm/eeuw		60 cm/eeuw		85 cm/eeuw			
		1998	2040	2040	2040	2040			
Wadden:									
(ww)= Westelijke Waddenzee	(tot) = Waddenzee Totaal	ww	tot	ww	tot	ww	tot	ww	tot
• meegroeien van Waddenzee :									
sedimentvraag als gevolg van zeespiegelstijging		4	5,4	4	5,4	12	16,2	17	23
• aanpassing Waddenzee aan menselijke ingrepen:									
sedimentvraag als gevolg van aanpassing aan									
• zand- en schelpenwinning ²		0,5	3,5	0	3,5	0	3,5	0	3,5
• afsluiting Zuider- en Lauwerszee ³		2 - 3	2 - 3	0,7 - 1,5	0,7 - 1,5	0,7 - 1,5	0,7 - 1,5	0,7 - 1,5	0,7 - 1,5
• gaswinning		1,5	2	0,7	1,4	0,7	1,4	0,7	1,4
• verlanding randgebieden		0	0	0 - 4,6	0 - 8,6	0 - 4,6	0 - 8,6	0 - 4,6	0 - 8,6
• Subtotalen		8 - 9	13 - 14	5 - 11	11 - 20	13 - 19	22 - 31	18 - 24	29 - 38
Delta:									
• meegroeien Oosterschelde: ⁶									
sedimentvraag als gevolg van zeespiegelstijging		0	0	0	0	0	0	0	0
• meegroeien Westerschelde: ⁷									
sedimentvraag door aanpassing aan		0,6	0,6			1,9		2,8	
• zandwinning ⁸		2	2	2	2	2	2	2	2
• baggeren ⁹		-3	0	0	0	0	0	0	0
• verlanding randgebieden ⁷		0 - 1,2	0 - 1,2	0 - 1,2	0 - 1,2	0 - 1,2	0 - 1,2	0 - 1,2	0 - 1,2
• Subtotalen		0 - 1	3 - 4	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5	5 - 6	5 - 6
samenvatting van de totale Sedimentvraag aan Nederlandse kuststelsysteem (Mm ³ /jaar) door Westelijke Waddenzee en estuaria in de Delta									
• Westelijke Wadden:		8 - 9	5 - 11	13 - 19	18 - 24				
• Subtotalen									
• Delta:		0 - 1	3 - 4	4 - 5	5 - 6				
• Subtotalen									
Overall totaal		8 - 10	8 - 15	17 - 24	23 - 30				
vertaling van sediment vraag in ZANDvraag ¹⁰ aan Nederlandse kuststelsysteem (Mm ³ /jaar) door Westelijke Waddenzee en estuaria in de Delta									
• Westelijke Wadden:		7 - 8	5 - 10	12 - 17	17 - 21				
• Subtotalen									
• Delta:		0 - 1	2 - 3	4 - 5	4 - 5				
• Subtotalen									
Overall totaal		7 - 9	7 - 13	16 - 22	21 - 26				

*zie voor voetnoten volgende pagina

- 1 -De maximale sedimentvraag welke optreedt wanneer een nieuw evenwicht in de vraag is opgetreden. De werkelijke momentane sedimentvraag hangt af van de traagheid waarmee het systeem reageert.
- 2 -bronnen: Jaarboek Waddenzee -1999/ Oost et al, 1998 / Louters en Gerritsen, 1994
- 3 -Bronnen: Louters en Gerritsen (1995; tabel 5.1) en Oost et al. (1998; tabel 5.1)
- 4 -bron: Oost, 1998 (tabel 5.8)
- 5 -Voor 1998 waarde gelijk 0 op basis van gegeven dat oppervlak randgebieden vanaf 1970 vrijwel stabiel is. Voor 2040 waarde afhankelijk van toekomstig beheer (Bron; Louters en Gerritsen, 1994)
- 6 -Eigenlijke sedimentvraag Oosterschelde kan naar alle waarschijnlijkheid niet door kust worden geleverd als gevolg van het bestaan van drempels en ontgrondingskuilen rond de kering. Daarom: effectieve sedimentvraag gelijk nul !
- 7 -Bron: Stive en Eijsink, 1989
- 8 -Bron: Mol et al, 1997
- 9 -Onnatuurlijke situatie wordt door baggeren in stand gehouden. Door toename vloedvolume wil de Westerschelde verruimen (Israel en Huijs, 1998). Vandaar een negatieve zandvraag aan de kust. (zie ook Stive en Eijsink, 1989)
- 10 -Een vertaling van *sedimentvraag* in *zandvraag* is uitgevoerd onder de aanname dat 90% van de afzettingen zand bedraagt, conform de gemiddelde bodemsamenstelling van de Waddenzee en Westerschelde.
NB. De correctiefactor is alleen toegepast op de schattingen voor de sedimentvraag Wadden en Westerschelde, NIET op de schatting voor de kustzone.

Appendix 2 Schatting van toekomstig ondiep water zandverlies en zandbalans van het kuststelsysteem in de periode 2000 - 2040

Schatting van de gemiddelde waarde van toekomstige ondiep water verliezen, en de toekomstige zandbalans van het kuststelsysteem (Mm³/jaar) bij verschillende scenario's en een kuststelsysteem met een ondergrens van NAP-20 m.

Schattingen van de gemiddelde waarde (Mm ³ /jaar)	zeespiegelstijging scenario		
	20 cm/eeuw	60 cm/eeuw	85 cm/eeuw
Zandverlies ondiepe kustzone ¹			
Minimum scenario			
• direct effect toename gemiddelde waterdiepte in de ondiepe kustzone ²	- 0,6	- 1,9	- 2,8
• zandvraag door Wadden en Westerschelde	- 5,0 ³	+18 % ⁴ - 5,9	+42 % ⁴ - 7,1
totaal	-6	-8	-10
Maximum scenario			
• direct effect toename gemiddelde waterdiepte in de ondiepe kustzone ²	- 0,6	- 1,9	- 2,8
• maximale zandvraag door Wadden en Westerschelde ⁵	-7/-13	-16/-22	-21/-26
totaal	-8/-14	-18/-24	-24/-29

Zandbalans kuststelsysteem (zeereep tot NAP-20 m)

Minimum scenario			
• direct effect toename gemiddelde waterdiepte in de kustzone ²	-2,8	-8,5	-12,0
• zandvraag door Wadden en Westerschelde	-6,5 ⁶	+ 16% ⁴ -7,5	+30% ⁴ -8,5
totaal	-9	-16	-21
Maximum scenario			
• direct effect toename gemiddelde waterdiepte in de kustzone ²	-2,8	-8,5	-12,0
• maximale zandvraag door Wadden en Westerschelde ⁵	-7/-13	-16/-22	-21/-26
totaal	-10/-16	-25/-31	-33/-38

¹ -verliezen berekend in uitsluitend de kustsecties waar een BasisKustLijn is gedefinieerd (zie 4.2)

² -afname van beschikbare zandreserve's als gevolg van zeespiegelstijging bron: Wolters (1995)

³ -zie 4.2

⁴ -naar: Steetzel, 1995; van Rijn, 1995 (zie Mulder (1999))

⁵ -zie Appendix 1

⁶ -zie Tabel 2

Appendix 3 Prognose van toekomstige suppletiebehoefte volgens verschillende scenario's

Schattingen per deelsysteem van

- de toekomstige ondiep waterverliezen en
 - de zandbalans
- en van
- de toekomstige suppletiebehoefte

volgens drie scenario's voor zeespiegelstijging

- 20 cm/eeuw
- 60 cm/eeuw
- 85 cm/eeuw

en uitgaande van

- het 'Minimum scenario' voor zandverlies en zandbalans volgens par. 4.7

20 / MIN zandbalans / MIN ondiep verlies		bij een zeespiegelstijging (zss) scenario 20 cm/eeuw						zandbalans scenario :		Minimum
volume								zandverlies ondiep scenario:		Minimum
veranderingen (Mm ³ /jaar)										
Zandbalans systeem	Friese Zeegat	Amelander Zeegat	Vliestroom	Eierlandse Gat	Marsdiep	Petten - Ijmuiden	Ijmuiden- Hoek van Holland	Delta	TOTAAL	
netto NAP-8/-20	-1,37	1,42	-0,82	0,92	-1,13			-2,5	-3,48	
netto NAP-8/-12	-0,045	0,08	0,07	-0,4	-0,74	-0,01	-0,43		-1,475	
netto ondiep NAP+12/-8	0,29	0,61	-0,75	-1,12	-1,04	-0,08	0,25	0,3	-1,54	
netto Totaal	-1,13	2,11	-1,50	-0,60	-2,91	-0,09	-0,18	-2,2	-6,50	
zeespiegelstijging	-0,25	-0,25	-0,29	-0,21	-0,29	-0,33	-0,49	-0,70	-2,80	
direct effect										
A totaal zandbalans	-1,4	1,9	-1,79	-0,81	-3,20	-0,42	-0,67	-2,90	-9,3	
Verliespost										
ondiepe zone										
(BKL-scenario)										
bruto verlies ondiep	-0,09	-0,39	-0,9	-1,1	-1,03	-0,32	0,14	-1,1	-5,04	
NAP+12/-8										
zeespiegelstijging	-0,05	-0,05	-0,06	-0,04	-0,06	-0,07	-0,11	-0,15	-0,59	
direct effect										
totaal verlies ondiep	-0,14	-0,44	-0,96	-1,14	-1,09	-0,39	-0,25	-1,25	-6	
NAP+12/-8										
B totaal ondiep	0,14	0,44	0,96	1,14	1,09	0,39	0,25	1,25	5,6	
NAP+12/-8										
compensatie										
C = A + B	-1,23	2,31	-0,83	0,34	-2,11	-0,03	-0,43	-1,65	-3,6	
<i>tussenbalans na compensatie ondiepe zone</i>										
D compensatie	1,23		0,83		2,11	0,03	0,43	1,65	6,3	
<i>diep water verlies</i>										
E = C + D	0	2,31	0	0,34	0	0	0	0	2,6	
<i>eindresultaat zandbalans</i>										
F Totale suppletie										
behoefte :	1,37	0,44	1,79	1,14	3,20	0,42	0,67	2,90	11,9	
F = D + B										

60 / MIN zandbalans / MIN ondiep verlies		bij een zeespiegelstijging (zss) scenario 60 cm/eeuw						zandbalans scenario :		Minimum
volume								zandverlies ondiep scenario:		Minimum
veranderingen (Mm ³ /jaar)										
Zandbalans systeem	Friese Zeegat	Amelander Zeegat	Vliestroom	Eierlandse Gat	Marsdiep	Petten - Ijmuiden	Ijmuiden-Hoek van Holland	Delta	TOTAAL	
netto NAP-8/-20	-1,37	1,42	-0,82	0,92	-1,13			-2,5	-3,48	
netto NAP-8/-12	-0,045	0,08	0,07	-0,4	-0,74	-0,01	-0,43		-1,475	
netto ondiep NAP+12/-8	0,29	0,61	-0,75	-1,12	-1,04	-0,08	0,25	0,3	-1,54	
netto Totaal zeespiegelstijging	-1,13	2,11	-1,50	-0,60	-2,91	-0,09	-0,18	-2,2	-6,50	
indirect effect (+16%)	-0,25	-0,25	-0,29	-0,21	-0,29	-0,33	-0,49	-0,70	-2,80	
direct effect	-0,75	-0,75	-0,88	-0,63	-0,88	-1,00	-1,50	-2,13	-8,50	
A totaal zandbalans	-2,1	1,7	-2,62	-1,32	-4,25	-1,10	-1,71	-4,68	-16	
Verliespost ondiepe zone (BKL-scenario)										
bruto verlies ondiep NAP+12/-8	-0,09	-0,39	-0,9	-1,1	-1,03	-0,32	0,14	-1,1	-5,04	
zeespiegelstijging	-0,02	-0,07	-0,16	-0,2	-0,19	-0,06	-0,03	-0,2	-0,91	
indirect effect (+18%)										
direct effect	0,16	-0,15	-0,20	-0,14	-0,18	-0,24	-0,35	-0,50	-1,91	
totaal verlies ondiep NAP+12/-8	-0,27	-0,61	-1,26	-1,43	-1,39	-0,61	-0,52	-1,80	-6	
B totaal ondiep NAP+12/-8 compensatie	0,27	0,61	1,26	1,43	1,39	0,61	0,52	1,80	7,9	
C = A + B	-1,80	2,31	-1,35	0,11	-2,86	-0,49	-1,19	-2,88	-8,1	
<i>tussenbalans na compensatie ondiepe zone</i>										
D compensatie diep water verlies	1,80		1,35		2,86	0,49	1,19	2,88	10,6	
E = C + D	0	2,31	0	0,11	0	0	0	0	2,4	
<i>eindresultaat zandbalans</i>										
F Totale suppletie behoefte :	2,06	0,61	2,62	1,43	4,25	1,10	1,71	4,68	18,5	
F = D + B										

85 / MIN zandbalans / MIN ondiep verlies		bij een zeespiegelstijging (zss) scenario 85 cm/eeuw						zandbalans scenario		Minimum
volume								zandverlies ondiep scenario:		Minimum
veranderingen (Mm ³ /jaar)										
Zandbalans systeem	Friese Zeegat	Amelander Zeegat	Vliestroom	Eierlandse Gat	Marsdiep	Petten - Ijmuiden	Ijmuiden- Hoek van Holland	Delta	TOTAAL	
netto NAP-8/-20	-1,37	1,42	-0,82	0,92	-1,13			-2,5	-3,48	
netto NAP-8/-12	-0,045	0,08	0,07	-0,4	-0,74	-0,01	-0,43		-1,475	
netto ondiep NAP+12/-8	0,29	0,61	-0,75	-1,12	-1,04	-0,08	0,25	0,3	-1,54	
netto Totaal	-1,13	2,11	-1,50	-0,60	-2,91	-0,09	-0,18	-2,2	-6,50	
zeespiegelstijging	-0,34	-0,633	-0,45	-0,18	-0,87	-0,03	-0,05	-0,66	-1,95	
indirect effect (+30%)										
direct effect	-1,06	-1,06	-1,24	-0,88	-1,24	-1,41	-2,12	-3,00	-12,0	
A totaal zandbalans	-2,5	1,7	-3,19	-1,66	-5,02	-1,53	-2,35	-5,86	-20,5	
Verliespost										
ondiepe zone (alleen waar BKL gedefineerd)										
bruto verlies ondiep NAP+12/-8	-0,09	-0,39	-0,9	-1,1	-1,03	-0,32	0,14	-1,1	-5,04	
zeespiegelstijging	-0,04	-0,16	-0,38	-0,46	-0,43	-0,13	-0,06	-0,46	-2,13	
indirect effect (+42%)										
direct effect	0,23	-0,22	-0,29	-0,20	-0,26	-0,34	-0,51	-0,73	-2,77	
totaal verlies ondiep NAP+12/-8	-0,36	-0,78	-1,57	-1,76	-1,72	-0,80	-0,71	-2,29	-10	
B totaal ondiep NAP+12/-8 compensatie	0,36	0,78	1,57	1,76	1,72	0,80	0,71	2,29	10,0	
C = A + B <i>tussenbalans na compensatie ondiepe zone</i>	-2,17	2,46	-1,62	0,10	-3,30	-0,73	-1,64	-3,57	-10,5	
D compensatie diep water verlies	2,17		1,62		3,30	0,73	1,64	3,57	13,0	
E = C + D <i>eindresultaat zandbalans</i>	0	2,46	0	0,10	0	0	0	0	2,6	
F Totale suppletie behoefte :	2,53	0,78	3,19	1,76	5,02	1,53	2,35	5,86	23,0	
F = D + B										

