

# Zand voor zuidwest Texel

Technisch advies RIKZ over vier mogelijke  
ingrepen in het Zeegat van Texel

Auteur: Jelmer Cleveringa  
rapport RIKZ/OS/2001.031



## Zand voor zuidwest Texel

Technisch advies RIKZ over vier mogelijke ingrepen in het Zeegat van Texel.

Auteur: Jelmer Cleveringa

rapport RIKZ/2001.031



## Advies

---

De kust van zuidwest Texel is al decennia aan erosie onderhevig. De erosie is afgenomen na de constructie van strandhoofden, maar dit heeft de erosie niet volledig tot stilstand gebracht. Het beleid van dynamisch handhaven door middel van suppleren van na 1990 heeft de achteruitgang van de zuidwestkust in de voorgaande decennia beëindigd. Dankzij de suppleties is sinds 1990 het zandvolume in de ondiepe zone van het kustvak tussen strandpaal 9 tot 18 op peil gebleven. Het huidige beheer is op dit moment ook voor Texel effectief voor het handhaven van de kustlijn. Het regelmatig uitvoeren van zandsuppleties blijft in de toekomst nodig om de erosie te compenseren. Duurzame ingrepen in de kustzone, waardoor over een langere termijn de zandsuppleties beperkt zouden kunnen worden, zijn mogelijk een alternatief voor het huidige beheer met suppleties.

De ontwikkeling van de zuidwestkust van Texel wordt beïnvloed door de buitendelta van het Zeegat van Texel. De vloedgeul het Molengat drukt tegen de kust aan en veroorzaakt een deel van de erosie.

De ondiepte Noorderhaaks is een potentiële bron van zand voor de zuidwestkust. Duurzame alternatieve beheersingrepen voor de kust van zuidwest Texel zouden een tweeledig doel kunnen hebben. Enerzijds zouden de ingrepen de erosie door de druk op de kust van het Molengat moeten beperken en anderzijds zouden de ingrepen de aanlanding van de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks met de zuidwestkust moeten versnellen. Er zijn eind jaren negentig, onafhankelijk van de geldende regelgeving, vier innovatieve ingrepen voorgesteld:

- 1) Het Molengat aan de westzijde verruimen en met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren.
- 2) Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks en met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren.
- 3) Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks en met het vrijgekomen zand een drempel in het noordelijke eind van het Molengat aanleggen.
- 4) Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks, met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren en het Molengat afsluiten met een dam.

Modelstudie heeft aangegeven dat geen van de voorgestelde ingrepen leidt tot een versnelde aanlanding van de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks met de zuidwestkust van Texel. De afname van de erosie door het verminderen van de druk op de kust van het Molengat is bij alle ingrepen beperkt. Geen van de beheersingrepen leidt tot een structurele vermindering van de erosie van de kust van zuidwest Texel. Ook bij het uitvoeren van deze alternatieve beheersingrepen blijft het in de toekomst nodig regelmatig zandsuppleties uit te voeren om zandverlies in de kustzone te compenseren. Op grond hiervan moet worden geadviseerd geen van de alternatieve beheersingrepen uit te voeren.

De beheersingrepen bieden weliswaar geen structurele vermindering van de erosie van zuidwest Texel, maar leveren wel relatief goedkoop suppletiemateriaal, omdat de winning van het zand dichtbij het

suppletiegebied plaatsvindt. Echter, de grens van het kuststelsel van het Zeegat van Texel ligt bij strandpaal 14, ten noorden hiervan is het zandtransport langs de Texelse kust naar het noorden gericht is. Zand van de buitendelta dat ten noorden van strandpaal 14 gesuppleerd wordt zal naar het noorden worden getransporteerd en dus onttrokken worden aan de buitendelta. Het onttrekken van zand aan de buitendelta leidt elders in het kuststelsel van de buitendelta tot kustachteruitgang. Op grond hiervan wordt geadviseerd dat suppleties met op de buitendelta gewonnen zand, indien de winning wordt toegestaan, niet noordelijker dan strandpaal 14 worden uitgevoerd.

Bij een kostenafweging van de verschillende alternatieven en het huidige beheer moeten ook de meerkosten van de uitgebreide planprocedure worden beschouwd. Een kostenraming laat zien dat de besparing met de alternatieve beheersingrepen ongeveer € 1.5 miljoen bedraagt over een periode van vier jaar. Wanneer suppleties met materiaal van de buitendelta niet noordelijker worden uitgevoerd dan strandpaal 14 bedraagt de besparing ongeveer € 0.2 miljoen over vier jaar. Aangetekend moet worden dat ingrepen in de buitendelta vallen onder de vogel- en habitatrichtlijnen en waarschijnlijk binnenkort indirect onder de planologische kernbeslissing (PKB) voor de Waddenzee. Dit betekent dat de beheersingrepen onderhevig zijn aan uitgebreide regelgeving. Het is hierbij niet ondenkbaar dat de ingrepen niet worden toegestaan, omdat een reëel alternatief voorhanden is (namelijk het huidige beheer van suppleren).

In het kader van het duurzaam kustbeleid wordt met ingang van 2001 ook het zandverlies op dieper water (tot de -20 m waterlijn) gecompenseerd en dit geeft aanleiding om na te denken over andere beheersmogelijkheden dan de bovengenoemde vier alternatieven. Overwogen kan worden om deze compensatie uit te voeren door middel van een onderwatersuppletie in het noordelijke deel van het Molengat. Het doel van een dergelijke systeemsuppletie is de druk op de kust door het Molengat verminderen en de verheling van de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks met de zuidwestkust te versnellen. Het bijkomende voordeel van een dergelijke suppletie is dat een deel van het gesuppleerde materiaal ten goede komt aan het erosieve gedeelte van de kust en het zandvolume van de buitendelta toeneemt.

# Inhoudsopgave

<b>Advies</b>	<b>3</b>
<b>Inhoudsopgave</b>	<b>5</b>
<b>Lijst van figuren</b>	<b>7</b>
<b>Lijst van tabellen</b>	<b>11</b>
<b>Voorwoord</b>	<b>13</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>15</b>
1.1 De erosieproblematiek van zuidwest Texel	16
1.2 Het doel van duurzame beheersingrepen	16
1.3 Een advies over mogelijke beheersingrepen en het huidige supleren	16
<b>2 Erosie van zuidwest Texel en de morfologische ontwikkelingen op de buitendelta</b>	<b>17</b>
2.1 Kustlijn ontwikkeling	18
2.2 Beheersingrepen in het verleden.	19
2.3 Veranderingen van de Noorderhaaks en het Molengat	19
2.4 Ideeën voor beheersingrepen	23
<b>3 Zandtransport rond zuidwest Texel</b>	<b>25</b>
3.1 Druk op de kust door het Molengat	25
3.2 Golfgedreven zandtransport naar het noorden én het zuiden	26
3.3 Zandtransport naar het noorden en het zuiden door een stuwpunt in de vloedstroom	27
3.4 De effecten van duurzame beheersingrepen op het zandtransport	28
<b>4 Voorspelling van de morfologische ontwikkelingen van de beheersingrepen</b>	<b>29</b>
4.1 Beschrijving van het ZW-Texel model	29
4.2 Voorspelling van de autonome (natuurlijk) ontwikkeling van 1997 tot 2000	30
4.3 Geulverruiming en strandsuppletie	32
4.4 Geulverplaatsing en strandsuppletie	32
4.5 Geulverplaatsing en drempelsuppletie	32
4.6 Geulverplaatsing, dam en strandsuppletie	33
<b>5 De waarde van voorspellingen met een model</b>	<b>35</b>
<b>6 De omgevingsfactoren bij beheersingrepen in de buitendelta</b>	<b>37</b>
6.1 Beheersingrepen mogen niet leiden tot zandverlies van de buitendelta	37
6.2 Natuurwaarden en wettelijk kader stellen voorwaarden aan ingrepen in de buitendelta	38
6.3 Het belang van het Molengat voor de scheepvaart	39
6.4 De recreatiefunctie van de Noorderhaaks en de zuidwestkust	39
6.5 De financiële voor- en nadelen ten opzichte van het huidige beleid	40
6.6 Kostenraming	42
6.7 Zand uit de buitendelta is van voldoende kwaliteit voor suppleties	44
<b>7 Onvoorziene effecten</b>	<b>47</b>
7.1 De strandhoofden bij zuidwest Texel beperken de erosie.	47
7.2 Het huidige suppletiebeleid is effectief	47
7.3 Wat is de oorzaak van de afname van de erosie in de jaren '90 ?	47

7.4	Hebben geulverruiming en geulverplaatsing averrechtse effecten op de kustontwikkeling?	48
8	Een suppletie in het Molengat als reëel alternatief	51
9	Conclusie	53
	Verantwoording	55
	Referenties	57

#### Leeswijzer

De conclusies van dit rapport zijn zowel samengevat in het Advies (pagina 3), als in de Conclusies (pagina 53). Hoofdstukken 2 tot en met 7 worden elk gevolgd door een samenvatting.

## Lijst van Figuren

---

- Figuur 1:** Zuidwestkust van Texel, het noordelijke deel van de buitendelta van het Zeegat van Texel en de in de tekst gebruikte namen.
- Figuur 2:** De ontwikkeling van de Gemiddelde Hoogwaterlijn van strandpaal 9 tot en met 19 van 1850 tot 1980, in bliksemgrafieken. De GHW lijn van strandpaal 9 verplaatst tot het begin van de eeuw nog zeewaarts, om daarna snel landwaarts te verplaatsen. De GHW lijnen tot en met strandpaal 17 verplaatsen alle landwaarts, maar de mate daarvan neemt af van strandpaal 10 naar 17. De GHW posities bij strandpalen 18 en 19 vertonen geen duidelijke trend. Bij alle GHW posities in de jaren negentig is een stabilisatie, of zelfs zeewaartse trend zichtbaar.
- Figuur 3:** Volumeveranderingen van 1960 tot en met 1998 in de Jaarlijkse Kustmetingen ten opzichte van het referentievolume van 1990 voor het kustvak van strandpaal 9 tot 18. Na 1993 geven de open bolletjes de waargenomen trend weer, terwijl de kruisjes het volume minus de opgebrachte suppleties weergeven (Walhout e.a., 2000).
- Figuur 4:** MKL-BKL ontwikkeling van 1980-2000 voor het kustvak van strandpaal 9 tot 18, inclusief suppleties. Het verschil tussen de MKL (Momentane KustLijn) en de BKL (Basis Kustlijn) is een maat voor de ligging van de kustlijn en het zandvolume in de ondiepe kustzone, een afname van het verschil betekent een landwaartse verplaatsing van de kustlijn en een afname van het zandvolume in de ondiepe kustzone. Raai 900 komt overeen met strandpaal 9, raai 1000 met strandpaal 10 en zo verder. Raai 960 ligt tussen strandpaal 9 en 10. **Figuur 4A:** MKL-BKL ontwikkeling voor de periode 1980-2000 voor raaien tussen strandpaal 9 en 10. De figuur laat een duidelijke afname van de MKL-BKL zien tot 1989, waarna stabilisatie optreedt. De stabilisatie is overigens (nog geen) gevolg van suppleties, deze beginnen pas in 1993. Na 1992 zorgt de landwaartse verplaatsing van het Molengat en de noordelijke uitlopers voor een complexe verandering van het zandvolume in deze raaien, vandaar dat deze niet weergegeven zijn. **Figuur 4B:** MKL-BKL ontwikkeling voor de periode 1980-2000 voor raaien tussen strandpaal 10 en 13. Er is een duidelijk afname van het verschil tussen MKL en BKL zichtbaar tot 1994, waarna het beeld bepaald wordt door de invloed van suppleties. **Figuur 4C:** MKL-BKL ontwikkeling voor de periode 1980-2000 voor raaien tussen strandpaal 13 en 16. Ook in deze raaien is een duidelijk afname van het verschil tussen MKL en BKL zichtbaar tot 1994, waarna het beeld bepaald wordt door de invloed van suppleties. **Figuur 4D:** MKL-BKL ontwikkeling voor de periode 1980-2000 voor raaien tussen strandpaal 16 en 19. Er is een zeer beperkte afname van het verschil tussen MKL en BKL zichtbaar tot 1994, waarna het verschil toeneemt als gevolg van suppleties.
- Figuur 5:** Ontwikkeling van de zuidwestkust van Texel, de Noorderhaaks en het Molengat vanaf 1950 tot 1997. **Figuur**



5a: Zeegat van Texel in 1950, Noorderhaaks en de Razende Bol zijn nog twee gescheiden platen. Het diepe deel van het Molengat is nog niet verbonden met het Marsdiep. Van Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks is nog geen sprake. Het Westgat heeft nog een duidelijke geulvorm. Figuur 5b: Zeegat van Texel in 1972, het gebied heeft de vorm gekregen die het nu ook nog heeft. De Noorderhaaks heeft zijn vorm gekregen, de Noordelijk uitlopers strekken zich naar het noorden en het diepere deel van het Molengat is verbonden met het Marsdiep. Van het Westgat resteert nog slechts een restgeul, terwijl het Nieuwe Schulpengat tot belangrijke geul is ontwikkeld. Figuur 5c: Zeegat van Texel in 1981, de Noorderhaaks is niet veel van vorm veranderd sinds 1970, de noordelijke uitlopers strekken zich beduidend verder uit naar het noorden. Het Molengat is iets versmald. Figuur 5d: Zeegat van Texel in 1997, de Noordelijke uitlopers strekken zich veel verder noordwaarts en het Molengat is verder versmald.

- Figuur 6:** De ligging van de -5 m waterlijn van de Noorderhaaks ondiepte in 1986, 1994 en 1997. Duidelijk zichtbaar is de verplaatsing van de Noordelijke uitlopers naar het oosten en de verlenging van de Noordelijke uitlopers naar het noorden. De westrand van de gehele ondiepte verschuift duidelijk naar het oosten. Het zuidelijke deel van de ondiepte verplaatst in zijn geheel naar het oosten.
- Figuur 7:** Profielen vanaf de Noorderhaaks over het Molengat naar de zuidwestkust van Texel voor de jaren 1986, 1991, 1994 en 1997. In het noorden (profiel A en B) vormt het Molengat onderdeel van het vooroeverprofiel van de kust. De landwaartse verplaatsing van de Noordelijke uitlopers is zeer duidelijk. Ook is zichtbaar dat de Noordelijke uitlopers steeds hoger worden. Aan de landwaartse kant is verplaatsing van het Molengat veel minder duidelijk. In het zuiden (profiel C en D) vormt het Molengat geen onderdeel van het vooroeverprofiel en de geul is ook veel dieper. De landwaartse verplaatsing van de Noorderhaaks en het Molengat is hier veel minder groot (let ook op de andere schaal!). Bij profielen C en D verdiept de Noorderhaaks. De landwaartse verplaatsing van profiel C is waarschijnlijk een lokale ontwikkeling, die veroorzaakt wordt door de lijszijde erosie van het meest zuidelijke strandhoofd.
- Figuur 8:** Het zeegat van Texel in 1846, 1876 en 1903. In deze periode verplaatst de ondiepte Onrust van de buitendelta naar de zuidwestkust van Texel. De geul die de Onrust van de zuidwestkust scheidde, het Noordergat, verplaatst daarbij steeds meer landwaarts en wordt geleidelijk opgevuld met sediment. De ontwikkeling van Onrust en Noordergat van 1846 tot 1876 is vergelijkbaar met de ontwikkeling van Noorderhaaks en Molengat in de afgelopen decennia. In de toekomst wordt de verheling van de Noorderhaaks met de zuidwestkust en het verdwijnen van het Molengat verwacht, vergelijkbaar met de ontwikkeling van Onrust en Noordergat tussen 1876 en 1904.
- Figuur 9:** Voorgestelde alternatieve beheersingrepen (uit Steijn en Jeuken, 2000). Figuur 9A: Het Molengat aan de westzijde verruimen en met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren van strandpaal 9 tot 18. Figuur 9B: Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks en met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren van strandpaal 9 tot 18. Figuur

9C: Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks en met het vrijgekomen zand een drempel in het noordelijke eind van het Molengat aanleggen. Figuur 9D: Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks, met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren van strandpaal 9 tot 18 en het Molengat afsluiten met een dam.

- Figuur 10:** Conceptueel sedimenttransport model van de kust van zuidwest Texel, het Molengat en de Noorderhaaks. Onder invloed van het gemiddelde jaarlijkse golfklimaat vindt langs de kust ten noorden van strandpaal 14 brandingstransport naar het noorden plaats en ten zuiden van strandpaal 13 brandingstransport naar het zuiden. Langs de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks vindt brandingstransport naar het noorden plaats en er vindt ook golfgedreven transport over de Noordelijke uitlopers naar de kust plaats. De vloedstroom divergeert voor de kust van zuidwest Texel, een deel gaat verder noordelijk langs de kust en een deel gaat door het Molengat (zie ook figuur 11).
- Figuur 11:** Maximum vloedstroom in het zeegat van Texel, met stuwpunt of divergentiepunt rond strandpaal 11 (naar Steijn en Jeuken, 2000).
- Figuur 12:** De voorgestelde alternatieve beheersingrepen (uit Steijn en Jeuken, 2000) en hun gevolgen voor het sedimenttransport. Figuur 12A: Deze ingreep verandert niets aan de patronen in het sedimenttransport en heeft ook de minste invloed op het sedimenttransport. Figuur 12B: Het baggeren van de alternatieve geul beïnvloedt de vloedstroom door het Molengat. Figuur 12C: Het baggeren van de alternatieve geul beïnvloedt de vloedstroom door het Molengat en de aanleg van de drempel beïnvloedt het sedimenttransport van de Noordelijke uitlopers naar de kust. Figuur 12D: Ook bij ingreep beïnvloedt de alternatieve geul de vloedstroom door het Molengat, terwijl de aanleg van de dam het sedimenttransport langs de kust van Texel naar de Waddenzee beperkt.
- Figuur 13:** Suppleties van strandpaal 9 tot 13 en de richting van het sedimenttransport door het divergentiepunt in het brandingstransport en het stuwpunt in de vloedstroom. Ten zuiden van strandpaal 13 wordt het materiaal naar het zuidoosten, in de richting van de vloedkom getransporteerd. Ten noorden van strandpaal 14 wordt het materiaal naar het noorden getransporteerd, weg van de buitendelta van het zeegat van Texel. Wanneer het materiaal gewonnen wordt op de buitendelta en gesuppleerd wordt ten noorden van strandpaal 14 wordt dus aan het zanddelend systeem van het zeegat van Texel onttrokken.
- Figuur 14:** Schematisch geologisch dwarsprofiel door de Noorderhaaks, Noordelijke uitlopers en het Molengat (naar Sha, 1990). Het bovenste deel van het profiel bestaat uit jong, Holoceen materiaal, dat is afgezet in getijdegeulen en op platen.



## Lijst van Tabellen

---

- Tabel 1:** Kosten van de voorgestelde beheersvarianten (Variant L tot O) ten opzichte van het huidige beheer (Variant K). Ook is de toe- of afname van het zandvolume van het buitendelta van het Zeegat van Texel aangegeven.
- Tabel 2:** Kostenraming van het huidige beheer (Variant K), beheer met winning op de buitendelta (Variant L en M) en beheer met winning op de buitendelta voor de suppleties van strandpaal 9 tot 14 (aangepaste Variant L en M).



# Voorwoord

---

## Het Kust\*2000 programma

Kust\*2000 staat voor een vijfjarig onderzoeksprogramma van de Nederlandse kust, uitgevoerd in de periode 1996 tot en met 2000. Binnen het Kust\*2000 programma is in opdracht van Rijkswaterstaat onderzoek uitgevoerd naar zandstromen langs de Nederlandse kust en de kansen, problemen en mogelijkheden van die deze bieden voor de kustlijn­zorg. Het onderzoek is gestuurd door vragen uit de beheers- en beleidspraktijk. Kust\*2000 is onder andere gericht geweest op lange termijn kustlijn­handhaving rond de eilandkoppen. Hierbij is het streven om beter en efficiënter in te spelen op natuurlijke veranderingen en processen.

Zuidwest Texel is een van de zorggebieden ten aanzien van kustlijn­handhaving. De natuurlijke ontwikkelingen in de buitendelta van het Zeegat van Texel zijn voor een deel bepalend voor de kustzone. Meewerken met de natuurlijke ontwikkelingen in de buitendelta biedt mogelijk alternatieven voor het huidige beheer door middel van strandsuppleties. In het Kust\*2000 programma zijn alternatieven onderzocht en vergeleken met de verwachte natuurlijke ontwikkelingen. In dit rapport worden de resultaten van de uitgevoerde studies besproken en vertaald in een advies voor het toekomstige beheer van de kust van zuidwest Texel.

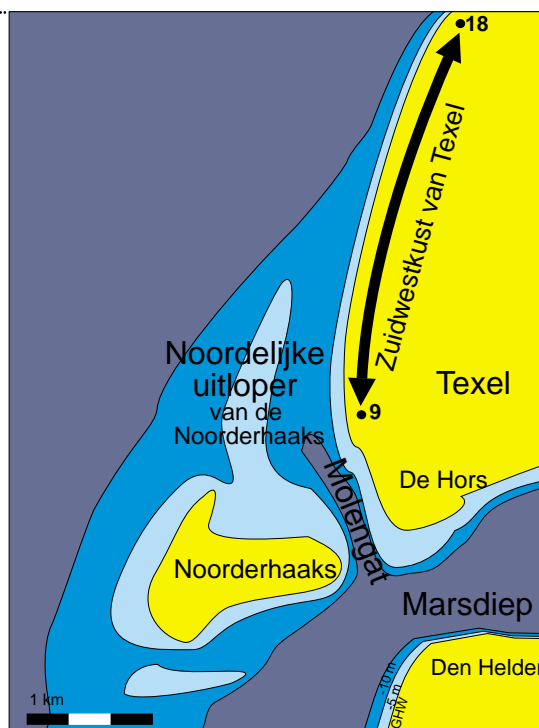


# 1 Inleiding

De gehele kustzone van Texel (figuur 1) ten noorden van strandpaal 9 is aan erosie onderhevig (Brolsma e.a., 1981, Elorche, 1982, Walhout e.a., 2000, van der Veer, 2001). Pogingen om de erosie terug te dringen bestonden uit de aanleg van strandhoofden aan de zuidwestkust en uit de aanleg van Bolwerken en de Eijerlandse dam aan de noordoostpunt van het eiland. Ook is vanaf 1979 regelmatig zand gesuppleerd op het strand. Dit rapport behandelt een viertal beheersalternatieven voor een duurzame bestrijding van de erosieproblematiek van de zuidwestkust van Texel, afgezet tegen het huidige beheer van zandsuppleren. We beschouwen het kustvak van strandpaal 9 in het zuiden tot strandpaal 18 in het noorden, dit is het gebied waar vanaf 1959 tot 1987 strandhoofden zijn aangelegd.

**Figuur 1**

Zuidwestkust van Texel, het noordelijke deel van de buitendelta van het Zeegat van Texel en de in de tekst gebruikte namen.



## 1.1 De erosieproblematiek van zuidwest Texel

De kustachteruitgang van zuidwest Texel is het sterkst bij strandpaal 11 tot 13 en neemt naar het noorden af. Een uitgebreide beschrijving van de kustachteruitgang wordt hieronder gepresenteerd. De erosie van het kustvak wordt vaak toegeschreven aan de invloed van de getijdengeul het Molengat, die vlak onder de kust van zuidwest Texel loopt en die geleidelijk naar het oosten opschuift (Beckerling Vinkers, 1951, Ringma, 1954, Battjes, 1961, Joustra, 1971, de Reus, 1980, Waterloopkundig Laboratorium, 1996). Een deel van de erosie wordt veroorzaakt door brandingstransport langs de kust (Steijn en Jeuken, 2000).

Ten westen van de kust ligt een grote ondiepte, de Noorderhaaks, gescheiden van de kust door het Molengat. Het ligt in de lijn der verwachting dat het Molengat op den duur verzandt en verdwijnt en dat een deel van de Noorderhaaks verheelt met de kust van zuidwest



Texel (Beckerling Vinkers, 1951, Ringma, 1954, Battjes, 1961, Joustra, 1971, de Reus, 1980, de Reus, 1985, Sha, 1990, Waterloopkundig laboratorium, 1996). De verheling van de Noorderhaaks of een deel ervan met de zuidwestkust van Texel levert een groot zandvolume op voor de kust, dat de gevolgen van de erosie gedurende lange tijd kan compenseren.

### **1.2 Het doel van duurzame beheersingrepen**

Het huidige beleid is erop gericht het zandverlies van de kust te compenseren met suppleties. Verder is er de wens geuit door middel van het beïnvloeden van "zandstromen" de kust beter te beschermen tegen golven en getij (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995, pag 17, 2001, pag. 104). Bij het huidige beheer van de zuidwestkust van Texel wordt slechts beperkt "meegewerkt" met de natuurlijke ontwikkelingen. In dit rapport worden vier beheersingrepen besproken die gericht zijn op het meewerken met de natuurlijke ontwikkelingen om de erosie te beperken. Het doel van de alternatieve beheersingrepen voor de kust van zuidwest Texel is tweeledig. Enerzijds moeten de ingrepen de erosie door de druk op de kust van het Molengat beperken en anderzijds moeten de ingrepen de verheling een van de Noorderhaaks met de zuidwestkust versnellen. Er zijn vier ingrepen voorgesteld (figuur 9):

- 1) Het Molengat aan de westzijde verruimen en met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren van strandpaal 9 tot 18.
- 2) Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks en met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren.
- 3) Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks en met het vrijgekomen zand een drempel in het noordelijke eind van het Molengat aanleggen.
- 4) Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks, met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren en het Molengat afsluiten met een dam.

### **1.3 Een advies over mogelijke beheersingrepen en het huidige suppleren**

De gevolgen van de vier beheersingrepen en de natuurlijke ontwikkeling van het gebied zijn voor een periode van drie jaar voorspeld met een morfologisch proces model (Delft-3D-MOR). De voorspellingen zijn geïnterpreteerd om te beoordelen of de beheersingrepen resulteerden in afname van druk op de kust door het Molengat en versnelde verheling van een deel van de Noorderhaaks. Ook de morfologische effecten van de suppletie die bij de ingrepen zijn inbegrepen zijn beoordeeld. Een belangrijke afweging bij het beoordelen van de beheersingrepen is de duurzaamheid van de ingreep. Als de ingreep op langere termijn de ligging van de kustzone stabiliseert, beschouwen we dit als duurzamer dan het huidige suppleren.

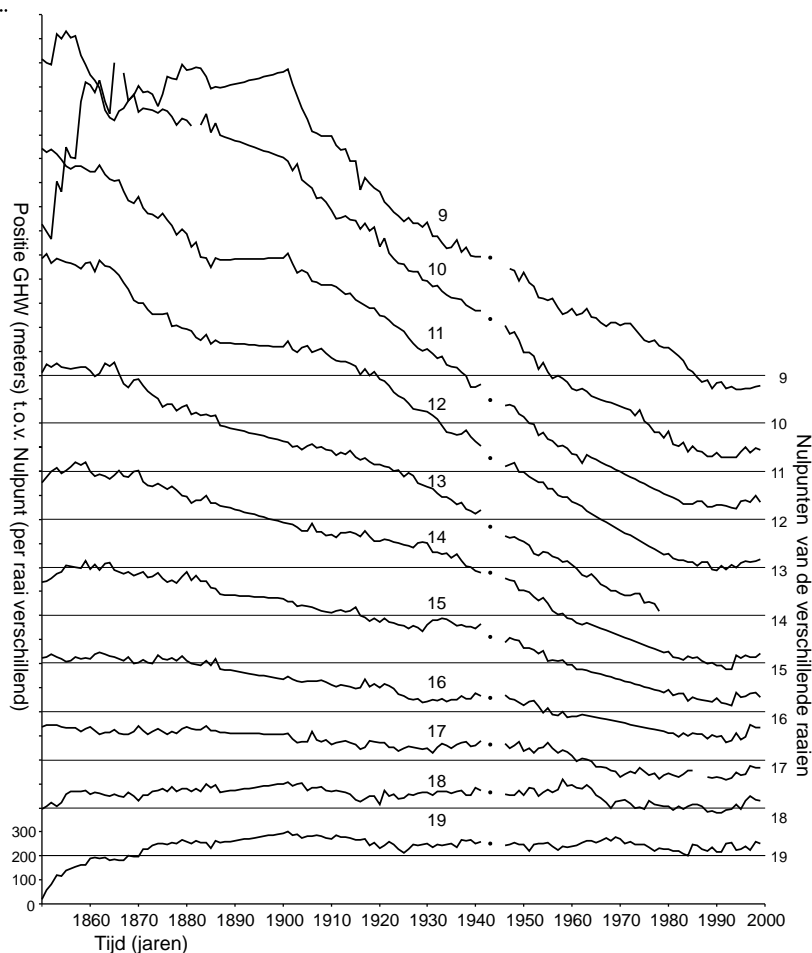
De voorgestelde beheersingrepen voor de zuidwestkust worden gedeeltelijk uitgevoerd in de buitendelta van het Zeegat van Texel. Daarom is ook gekeken naar de gevolgen van de beheersingrepen voor het zanddelend systeem van het Zeegat van Texel, naar de invloed op de natuurwaarden van de Noorderhaaks en de invloed op de scheepvaart door het Molengat. Ook zijn de financiële voor- en nadelen van de beheersingrepen ten opzichte van het huidige beleid beschreven. In dit rapport wordt ook aandacht besteed aan de waarde van de modelvoorspellingen.

## 2 Erosie van zuidwest Texel en de morfologische ontwikkelingen op de buitendelta

De erosie van zuidwest Texel uit zich in een achteruitgang van de kustlijn en een afname van het zandvolume in de kustzone. De ontwikkeling van de zuidwestkust van Texel is direct gekoppeld aan de ontwikkelingen op de buitendelta van het Zeegat van Texel. De historische ontwikkelingen van de buitendelta geven aanwijzingen voor de toekomstige ontwikkelingen, met positieve invloeden voor de kust van zuidwest Texel. Een versnelling van de natuurlijke ontwikkelingen door bovengenoemde beheersingrepen is een mogelijk alternatief voor het huidige suppletiebeleid.

**Figuur 2**

De ontwikkeling van de Gemiddelde Hoogwaterlijn van strandpaal 9 tot en met 19 van 1850 tot 1980, in bliksemgrafieken. De GHW lijn van strandpaal 9 verplaatst tot het begin van de eeuw nog zeewaarts, om daarna snel landwaarts te verplaatsen. De GHW lijnen tot en met strandpaal 17 verplaatsen alle landwaarts, maar de mate daarvan neemt af van strandpaal 10 naar 17. De GHW posities bij strandpalen 18 en 19 vertonen geen duidelijke trend. Bij alle GHW posities in de jaren negentig is een stabilisatie, of zelfs zeewaartse trend zichtbaar.



## 2.1 Kustlijn ontwikkeling

Metingen van de Gemiddelde LaagWaterlijn en de Gemiddelde HoogWaterlijn laten vanaf het begin van de metingen in 1850 een achteruitgang zien (figuur 2, Ringma, 1954, Rakhorst, 1979, Brolsma e.a., 1981, Elorche, 1982, Rakhorst, 1984). De achteruitgang van de Gemiddelde Hoogwaterlijn van 1850 tot 1980 lag in de orde van 15 meter per jaar bij strandpaal 10, 11 en 12. Naar het noorden toe was de kustachteruitgang minder extreem, in orde van 4 m per jaar bij strandpaal 15. Bij strandpaal 18 was er in de periode 1850 tot 1960 geen structurele achteruitgang van de Gemiddelde HoogWaterlijn. Structurele achteruitgang van de kust begon bij strandpaal 18 na 1960, en bedroeg vanaf toen ongeveer 5 meter per jaar (Elorche, 1982).

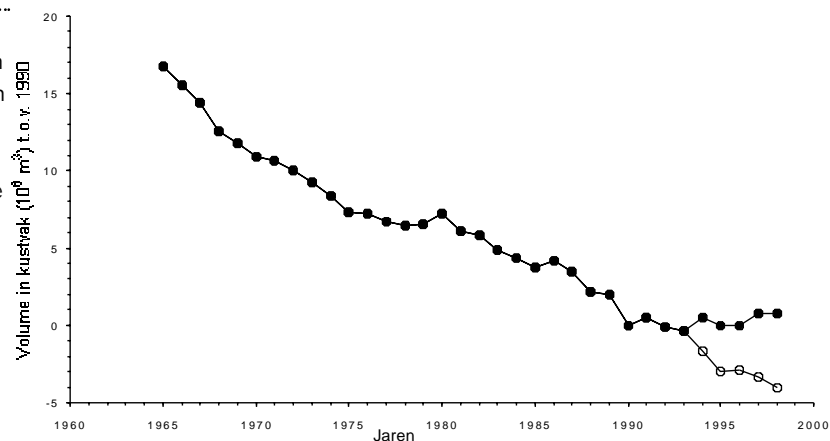
Het zandvolume in het kustvak van strandpaal 9 tot 18 is ook afgenomen (Brolsma e.a., 1981, Elorche, 1982, Walhout e.a., 1990). In de periode 1960 tot 1980 betrof de afname van strandpaal 9 tot 14.4 ruwweg  $1.75 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/km (of te wel met  $88 \cdot 10^3$  m<sup>3</sup>/km per jaar). Van strandpaal 14.4 tot 18.3 nam het zandvolume veel minder sterk af, met ongeveer  $0.8 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/km (of te wel met  $40 \cdot 10^3$  m<sup>3</sup>/km per jaar). Voor het gehele kustvak van strandpaal 9 tot 18.3 betekent dit een afname van  $64 \cdot 10^3$  m<sup>3</sup>/km per jaar in de periode 1960 tot 1980.

In Walhout e.a. (2000) is voor de volumeberekeningen van de kustzone gebruik gemaakt van de jaarlijkse kustmetingen. Het zandvolume van strandpaal 9 tot 18 neemt doorgaand af van 1965 tot 1993 (figuur 3). Daarna blijft het zandvolume in het kustvak op ongeveer hetzelfde niveau, omdat zandverlies aangevuld wordt door middel van zandsuppleties. Wanneer voor het gesuppleerde volume gecorrigeerd wordt, blijkt de afname van het zandvolume van voor 1993 door te zetten. De afname van het zandvolume bedraagt ruwweg  $65 \cdot 10^3$  m<sup>3</sup>/km per jaar over het gehele vak van strandpaal 9 tot 18.

Het beleid van na 1990, dat gericht is op het handhaven van de BasisKustLijn (BKL), maakt gebruik van de zogenaamde Momentane KustLijn (MKL), om kustlijn veranderingen te beschrijven. De MKL van zuidwest Texel is beschikbaar vanaf 1980 (figuur 4). Van 1980 tot 1993 is voor het gehele gebied een achteruitgang van de MKL waar te nemen. De achteruitgang van de MKL is het meest extreem bij strandpaal 9 en bedroeg daar voor 1993 ongeveer 15 m per jaar. Meer naar het noorden is de afname van de MKL tot 1990 minder groot, bij strandpaal 10 is het ongeveer 10 m per jaar en bij strandpaal 13 tot 16 ligt de afname rond de 5 m per jaar. Nog verder naar het noorden neemt de teruggang van de MKL af tot minder dan 2 m per jaar bij strandpaal 18. Na 1993 wordt het gedrag van de MKL gedomineerd door suppleties.

**Figuur 3**

Volumeveranderingen van 1960 tot en met 1998 in de Jaarlijkse Kustmetingen ten opzichte van het referentievolume van 1990 voor het kustvak van strandpaal 9 tot 18. Na 1993 geven de open bolletjes de waargenomen trend weer, terwijl de kruisjes het volume minus de opgebrachte suppleties weergeven (Walhout e.a., 2000).



## 2.2 Beheersingrepen in het verleden.

De sterke achteruitgang van de Gemiddeld HoogWaterlijn is aanleiding geweest tot de aanleg van een aantal strandhoofden, in de periode 1959 tot 1987. Tijdens de aanleg van de strandhoofden is de achteruitgang van de Gemiddelde HoogWaterlijn ter plaatse teruggelopen tot 0 à 4 m/jaar (Rakhorst, 1984). Om de versterkte erosie aan het noordelijke en zuidelijke einde van het strandhoofdenvak te compenseren is het aantal strandhoofden in het gebied geleidelijk uitgebreid. Na aanleg van het meest zuidelijke strandhoofd (nummer -1 bij strandpaal 9, begonnen in 1987, afgerond in 1994) vindt ten zuiden ervan door lijzijde erosie tot op heden een versterkte achteruitgang van de Gemiddelde HoogWaterlijn plaats.

In 1990 is besloten (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1989) de kustlijn door middel van zandsuppleties te handhaven. Op de zuidwestkust van Texel is in 1993 de eerste suppletie uitgevoerd, van strandpaal 9 tot 18. In 1996 is een suppletie uitgevoerd van strandpaal 15 tot 18 en in 1997 is een suppletie uitgevoerd van strandpaal 10 tot 11. In 2000 is een suppletie uitgevoerd van strandpaal 10 tot 18, met onderbrekingen van strandpaal 12 tot 13 en strandpaal 16.5 tot 17. Door de suppleties is de negatieve trend van de erosie (uitgedrukt in MKL verandering) na 1990 veranderd in een positieve trend (figuur 3). De erosie van de zuidwestkust van Texel is structureel te noemen. De kustachteruitgang is verminderd door de aanleg van strandhoofden en vanaf 1990 is zandverlies in de kustzone gecompenseerd door zandsuppleties. Het zandvolume van de kust blijft hierdoor constant en de MKL blijft zeewaarts van de BKL (Walhout e.a., 2000). De herhaalfrequentie van de zandsuppleties voor het handhaven van de BKL is hoog (in de toekomst staat eens in de vier jaar een suppletieaangegeven, van der Veer, 2001) en het suppletievolume is groot (circa  $2.4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  van strandpaal 9 tot 17, steeds voor 4 jaar, van der Veer, 2001). Als alternatieve beheersingrepen leiden tot een langdurige afname van de suppletiebehoefte kan dit beschouwd worden als een meer duurzame vorm van kustonderhoud.

## 2.3 Veranderingen van de Noorderhaaks en het Molengat

De kust van zuidwest Texel wordt sterk beïnvloed door de morfologische ontwikkelingen van de buitendelta van het zeegat van Texel. De buitendelta strekt zich uit tot aan strandpaal 15 op Texel (ongeveer het snijpunt van de -10 m waterlijn van de buitendelta met de kustlijn). De elementen van de buitendelta die het gebied beïnvloeden zijn de grote ondiepte, de Noorderhaaks en zijn Noordelijke uitlopers en de geul tussen de Noorderhaaks en de kustlijn van Texel, het Molengat (figuur 1).

De Noorderhaaks is een zandplaat die alleen bij extreem hoogwater door stormen en springtij onder water staat. Om de zandplaat heen liggen ondieptes die grotendeels permanent onder water liggen (-2 tot -5 m NAP) en die zich uitstrekken tot voor RSP 12, in dit rapport aangeduid met "de Noordelijke uitlopers". Het Molengat is een smalle diepe geul in het zuiden, waar de geul ingeklemd ligt tussen de Noorderhaaks en de kustlijn van Texel (de Hors, figuur 1). Naar het Noorden wordt de geul breder en ondieper, op dit moment ligt ter hoogte van strandpaal 9 tot 10 een drempel van -6 tot -8 m. De ondiepte en de geul beïnvloeden de hoogte en de richting van de golven. De geul beïnvloedt in sterke mate de getijstromingen bij de kust.

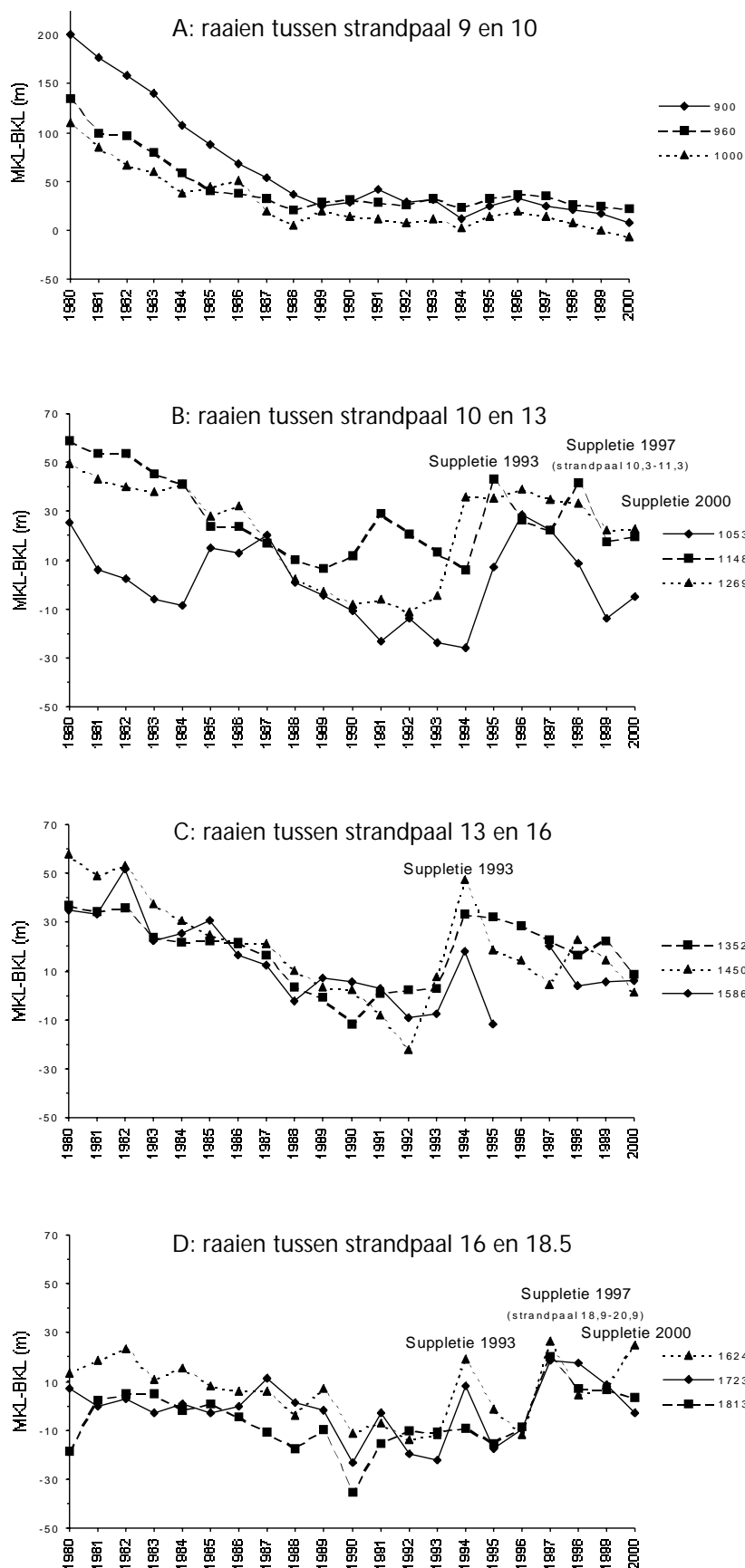
De Noorderhaaks verschuift sinds zijn droogvallen in de jaren '50 zeer langzaam naar het oosten (figuur 5, de Reus, 1985, Sha, 1990, Waterloopkundig Laboratorium, 1996). De zandplaat beweegt niet naar het zuiden of noorden.

Het noordelijke deel van de ondieptes rond de Noorderhaaks, de Noordelijke uitlopers, zijn vanaf de jaren '60 uitgebouwd naar het noorden (figuur 6, de Reus, 1985, Sha, 1990, Waterloopkundig laboratorium, 1996, Steijn en Jeuken, 2000). De Noordelijke uitlopers zijn daardoor veranderd in een smalle lob die reikt tot ten westen van strandpaal 12. Dit is een verlenging van tenminste 3 km ten opzichte van de positie in de jaren '60.

Het Molengat heeft een ontwikkeling doorgemaakt van een zeer brede ondiepe geul naar een smalle diepe geul (figuur 5, Beckering Vinkers, 1951, Ringma, 1954, Battjes, 1961, de Reus, 1980, Sha, 1990). In kaartbeelden en profielen is de verplaatsing van het Molengat in de richting van de Texel zeer duidelijk (figuur 5 en 7). De grootste veranderingen in de ligging en de vorm van het Molengat hebben zich voorgedaan ten westen van strandpaal 9 en zuidelijker. Voor 1935 bereikte het Molengat nergens diepten van 10 m. Vanaf 1936-39 bereikte het Molengat lokaal diepten van meer dan 10 m. Vanaf de jaren '60 was de -10 m waterlijn verbonden met het Marsdiep. Vanaf dat moment lag de zuidelijke positie van het Molengat min of meer vast en verlengde het Molengat steeds verder noordwaarts. Met de uitbouw van de Noordelijke uitlopers werd het Molengat naar het Noorden verlengd. Op dit moment loopt de geul onder de kust door tot aan strandpaal 12, met een ondiepe drempel ter hoogte van strandpaal 9 tot 10.

**Figuur 4**

MKL-BKL ontwikkeling van 1980-2000 voor het kustvak van strandpaal 9 tot 18, inclusief suppleties. Het verschil tussen de MKL (Momentane KustLijn) en de BKL (Basis Kustlijn) is een maat voor de ligging van de kustlijn en het zandvolume in de ondiepe kustzone, een afname van het verschil betekent een landwaartse verplaatsing van de kustlijn en een afname van het zandvolume in de ondiepe kustzone. Raai 900 komt overeen met strandpaal 9, raai 1000 met strandpaal 10 en zo verder. Raai 960 ligt tussen strandpaal 9 en 10. Figuur 4A: MKL-BKL ontwikkeling voor de periode 1980-2000 voor raaien tussen strandpaal 9 en 10. De figuur laat een duidelijke afname van de MKL-BKL zien tot 1989, waarna stabilisatie optreedt. De stabilisatie is overigens (nog geen) gevolg van suppleties, deze beginnen pas in 1993. Na 1992 zorgt de landwaartse verplaatsing van het Molengat en de noordelijke uitlopers voor een complexe verandering van het zandvolume in deze raaien, vandaar dat deze niet weergegeven zijn. Figuur 4B: MKL-BKL ontwikkeling voor de periode 1980-2000 voor raaien tussen strandpaal 10 en 13. Er is een duidelijk afname van het verschil tussen MKL en BKL zichtbaar tot 1994, waarna het beeld bepaald wordt door de invloed van suppleties. Figuur 4C: MKL-BKL ontwikkeling voor de periode 1980-2000 voor raaien tussen strandpaal 13 en 16. Ook in deze raaien is een duidelijk afname van het verschil tussen MKL en BKL zichtbaar tot 1994, waarna het beeld bepaald wordt door de invloed van suppleties. Figuur 4D: MKL-BKL ontwikkeling voor de periode 1980-2000 voor raaien tussen strandpaal 16 en 19. Er is een zeer beperkte afname van het verschil tussen MKL en BKL zichtbaar tot 1994, waarna het verschil toeneemt als gevolg van suppleties.



**Figuur 5**

Ontwikkeling van de zuidwestkust van Texel, de Noorderhaaks en het Molengat vanaf 1950 tot 1997.

Figuur 5a: Zeegat van Texel in 1950, Noorderhaaks en de Razende Bol zijn nog twee gescheiden platen.

Het diepe deel van het Molengat is nog niet verbonden met het Marsdiep.

Van Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks is nog geen sprake.

Het Westgat heeft nog een duidelijke geulvorm.

Figuur 5b: Zeegat van Texel in 1972, het gebied heeft de vorm gekregen die het nu ook nog heeft.

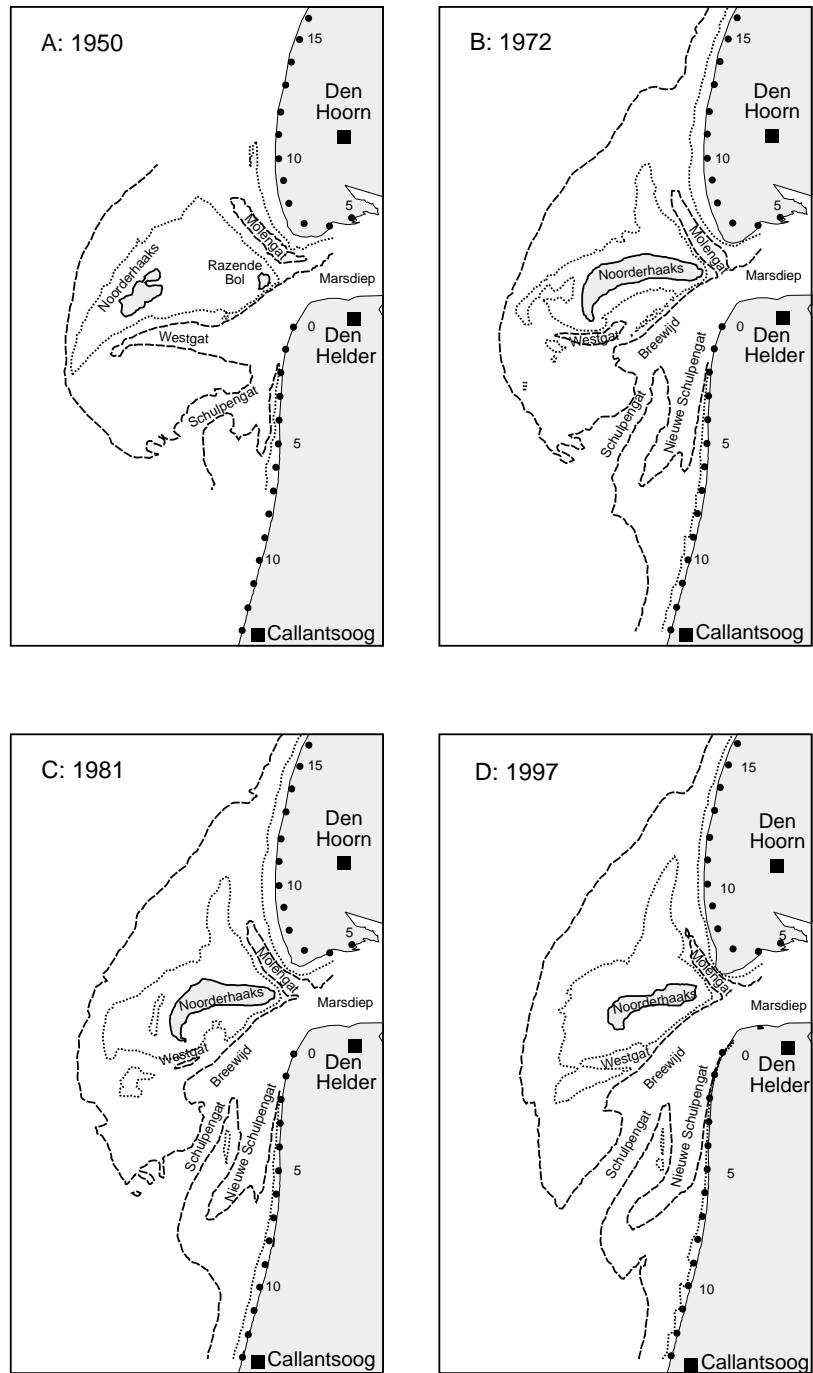
De Noorderhaaks heeft zijn vorm gekregen, de Noordelijk uitlopers strekken zich naar het noorden en het diepere deel van het Molengat is verbonden met het Marsdiep.

Van het Westgat resteert nog slechts een restgeul, terwijl het Nieuwe Schulpengat tot belangrijke geul is ontwikkeld.

Figuur 5c: Zeegat van Texel in 1981, de Noorderhaaks is niet veel van vorm veranderd sinds 1970, de noordelijke uitlopers strekken zich beduidend verder uit naar het noorden.

Het Molengat is iets versmald.

Figuur 5d: Zeegat van Texel in 1997, de Noordelijke uitlopers strekken zich veel verder noordwaarts en het Molengat is verder versmald.



..... -5 m NAP    - - - - -10 m NAP    • • • Strandpalen

## 2.4 Ideeën voor beheersingrepen

De veranderingen van de vorm van Noorderhaaks en Molengat zijn in de vorige eeuw op vergelijkbare wijze opgetreden bij de voorlopers Onrust en Noordergat (Beckering Vinkers, 1951, Battjes, 1961, Joustra, 1971, de Reus, 1980, Sha, 1990). Uiteindelijk is de zandplaat Onrust met de kust verheeld en de geul Noordergat geheel opgevuld met sediment (figuur 8). Dit patroon van verheling van zandplaten van de buitendelta met de zuidpunt van Texel is een herhalend proces dat iedere 125 á 150 jaar optreedt (Beckering Vinkers, 1951, Battjes, 1961, Joustra, 1971, de Reus, 1980, Sha, 1990). De logische voortzetting van deze herhalende ontwikkeling is dat de Noorderhaaks met Texel verheelt en het Molengat verdwijnt. Hierbij moet worden opgemerkt dat de vorm en oriëntatie van de buitendelta van het Zeegat van Texel vanaf de jaren '30 verandert zijn door de aanleg van de Afsluitdijk (van Marion, 1999). De voortzetting van de herhalende ontwikkeling van de Noorderhaaks met Texel zou daardoor in de toekomst anders kunnen verlopen of zelfs in het geheel niet plaatsvinden. In de toekomst zullen waarschijnlijk in ieder geval de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks met de kust van Texel verhelen.

De verheling van de Noorderhaaks of van de Noordelijke uitlopers met Texel heeft een positief effect op het zandbudget van de eilandkust. Er komt een grote hoeveelheid zand aan de zuidkust bij die uiteindelijk aan de gehele eilandkust ten goede komt. Verder wordt een deel van de erosie van zuidwest Texel toegeschreven aan de druk van het Molengat op de kust, de getijdegeul zou door langs de kust te schuren zand afvoeren uit het gebied. Bij een verheling van de Noorderhaaks met het eiland verdwijnt de druk op de kust door het Molengat.

Het doel van innovatieve duurzame beheersingrepen is het versnellen van de verheling van de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks met de kust en het verminderen van de druk op de kust door het Molengat. Er zijn vier ingrepen voorgesteld (figuur 9, Steijn en Jeuken, 2000):

- 1) Het Molengat aan de westzijde verruimen en met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren van strandpaal 9 tot 18.
- 2) Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks en met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren.
- 3) Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks en met het vrijgekomen zand een drempel in het noordelijke eind van het Molengat aanleggen.
- 4) Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks, met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren en het Molengat afsluiten met een dam.

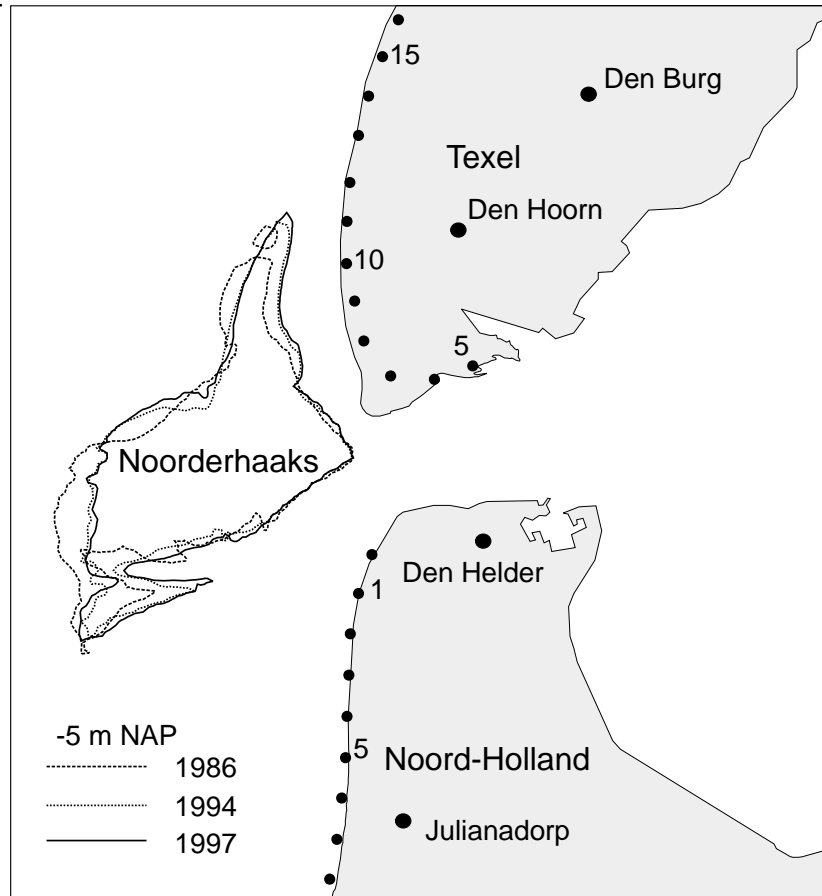
### Samenvattend

De kustzone van zuidwest Texel is erosief: de Gemiddelde Hoogwaterlijn verplaatst landwaarts en het zandvolume neemt af. De aanleg van strandhoofden heeft de kustachteruitgang verminderd en vanaf 1990 wordt het zandvolume in het kustvak op peil gehouden met suppleties. Het is waarschijnlijk dat in de toekomst de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks met de eilandkust verhelen en het Molengat verdwijnt. Door deze natuurlijke ontwikkeling neemt in de toekomst de kustachteruitgang van de zuidwestkust hoogstwaarschijnlijk af. Het doel van duurzame alternatieve beheersingrepen is deze natuurlijke ontwikkelingen te versnellen.



**Figuur 6**

De ligging van de -5 m waterlijn van de Noorderhaaks ondiepte in 1986, 1994 en 1997. Duidelijk zichtbaar is de verplaatsing van de Noordelijke uitlopers naar het oosten en de verlenging van de Noordelijke uitlopers naar het noorden. De westrand van de gehele ondiepte verschuift duidelijk naar het oosten. Het zuidelijke deel van de ondiepte verplaatst in zijn geheel naar het oosten.



### 3 Zandtransport rond zuidwest Texel

De natuurlijke morfologische ontwikkelingen van de zuidwestkust van Texel worden bepaald door de zandtransporten langs de kust en op de buitendelta. De effectiviteit van alternatieve beheersingrepen is direct gekoppeld aan de manier waarop deze het zandtransport beïnvloeden. In dit Hoofdstuk wordt daarom het zandtransport rond de zuidwestkust van Texel beschreven.

#### 3.1 Druk op de kust door het Molengat

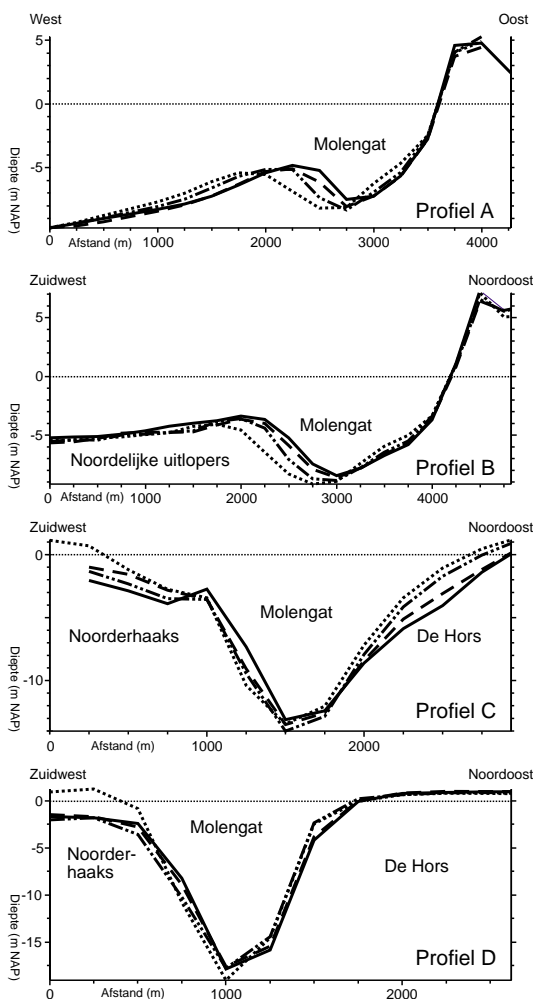
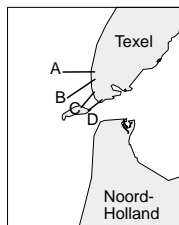
In eerdere onderzoeken naar de oorzaken van de erosieproblemen bij zuidwest Texel is er altijd vanuit gegaan dat de druk van het Molengat op de kust een zeer belangrijke rol speelt (Beckerling Vinkers, 1951, Ringma, 1954, Battjes, 1961, Joustra, 1971, de Reus, 1980, Waterloorkundig Laboratorium, 1996). De druk op de kust door het Molengat is niet het gevolg is van de doorgaande zandtransporten door het getij. De druk op de kust wordt veroorzaakt door de verplaatsing van de gehele geul naar het oosten (figuur 7) en deze verplaatsing wordt veroorzaakt door het zandtransport vanaf de Noordelijke uitlopers naar het oosten. Dit zandtransport over de Noordelijke uitlopers wordt veroorzaakt door golfwerking in combinatie met de vloedstroom.

**Figuur 7**

Profielen vanaf de Noorderhaaks over het Molengat naar de zuidwestkust van Texel voor de jaren 1986, 1991, 1994 en 1997. In het noorden (profiel A en B) vormt het Molengat onderdeel van het vooroeverprofiel van de kust. De landwaartse verplaatsing van de Noordelijke uitlopers is zeer duidelijk. Ook is zichtbaar dat de Noordelijke uitlopers steeds hoger worden. Aan de landwaartse kant is verplaatsing van het Molengat veel minder duidelijk. In het zuiden (profiel C en D) vormt het Molengat geen onderdeel van het vooroeverprofiel en de geul is ook veel dieper. De landwaartse verplaatsing van de Noorderhaaks en het Molengat is hier veel minder groot (let ook op de andere schaal!). Bij profielen C en D verdiept de Noorderhaaks. De landwaartse verplaatsing van profiel C is waarschijnlijk een lokale ontwikkeling, die veroorzaakt wordt door de lijzijde erosie van het meest zuidelijke strandhoofd.

**Bodemligging**

- 1997
- - - 1994
- · · 1991
- · · 1986



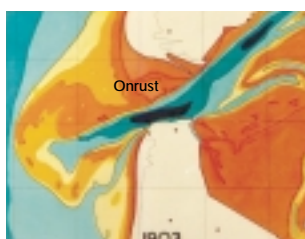
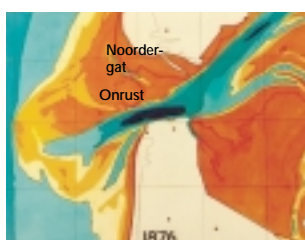
### 3.2 Golfgedreven zandtransport naar het noorden én het zuiden

Langs de kust van zuidwest Texel vindt golfgedreven zandtransport langs de kust plaats (ook wel brandingstransport genoemd). De richting van dit transport wordt bepaald door de richting die de golven hebben ten opzichte van de kustlijn. De richting van de golven in het gebied wordt bepaald door de golfrichting op de Noordzee en door de afbuiging van golven als ze zich voortplanten over de ondieptes zoals de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks. De kustlijn van zuidwest Texel is bol. De combinatie van afbuiging van golven over de buitendelta met de bolle kustlijn van zuidwest Texel levert gemiddeld over het jaar zandtransport naar het noorden ten noorden van strandpaal 13 tot 14 en naar het zuiden ten zuiden van strandpaal 13 tot 14 (Steijn en Jeuken, 2000, hun figuur 4.21). Van strandpaal 13 tot 14 ligt dus een splitsingspunt of divergentiepunt in het brandingstransport (figuur 10). De consequentie van een dergelijk divergentiepunt is dat er rond dit gebied alleen zand verdwijnt met het brandingstransport en er niets wordt aangevoerd. Met andere woorden, er vindt bij het divergentiepunt erosie plaats. De ligging van het divergentiepunt is mede afhankelijk van de afbuiging van de golven over de Noordelijke uitlopers. Met de uitbouw van de Noordelijke uitlopers naar het noorden is ook het divergentiepunt naar het noorden opgeschoven.

Zeewaarts van de zuidwest Texel vindt langs de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks brandingstransport naar het noorden plaats. Ook vindt over de Noordelijke uitlopers zandtransport plaats door de getijdestromingen (figuur 10). Het netto resultaat van het brandings- en getijdetransport over de Noordelijke uitlopers is zandtransport naar het noorden. Dit noordwaartse zandtransport leidt tot doorgaande uitbouw in noordelijke richting, langs de kust van zuidwest Texel. Hoewel dit zandtransport naar de kust van zuidwest Texel is gericht, komt het zand niet ten goed aan de eilandkust. Het Molengat scheidt de Noordelijke uitlopers van de kustlijn en voorkomt transport van zand naar de kust.

**Figuur 8**

Het zeegat van Texel in 1846, 1876 en 1903. In deze periode verplaatst de ondiepte Onrust van de buitendelta naar de zuidwestkust van Texel. De geul die de Onrust van de zuidwestkust scheidde, het Noordergat, verplaatst daarbij steeds meer landwaarts en wordt geleidelijk opgevuld met sediment. De ontwikkeling van Onrust en Noordergat van 1846 tot 1876 is vergelijkbaar met de ontwikkeling van Noorderhaaks en Molengat in de afgelopen decennia. In de toekomst wordt de verheling van de Noorderhaaks met de zuidwestkust en het verdwijnen van het Molengat verwacht, vergelijkbaar met de ontwikkeling van Onrust en Noordergat tussen 1876 en 1904.



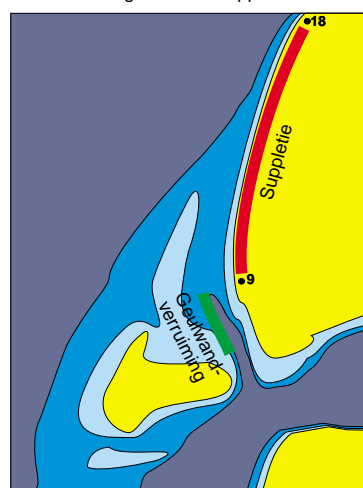
### 3.3 Zandtransport naar het noorden en het zuiden door een stuwpunt in de vloedstroom

In het Molengat loopt de stroming met vloed naar het zuidoosten in de richting van de Waddenzee. Langs de buitendelta en langs de eilandkust is de vloedstroom naar het noorden gericht (figuur 11). Ter hoogte van strandpaal 11 verdwijnt een deel van de vloedstroom het Molengat in en stroomt de rest door langs de eilandkust. Rond strandpaal 11 ligt dus een splitsingspunt in de vloedstroom (Steijn en Jeuken, 2000, hun figuur 4.5). Ten zuiden van dit splitsingspunt, of "stuwpunt" wordt zand door de getijdestromingen naar het zuidoosten getransporteerd en ten noorden wordt zand langs de kust naar het noorden getransporteerd (figuur 10). Rond strandpaal 11 wordt dus alleen zand afgevoerd door de vloedstroom, er vindt geen aanvoer plaats. Er vindt bij strandpaal 11 dus erosie plaats door de vloedstroom. Dit stuwpunt in de vloedstroom ligt iets ten zuiden van het divergentiepunt in het brandingstransport. Overigens gebeurt tijdens eb het omgekeerde, er bevindt zich dan een punt waar de ebstroom naar het noorden uit het Molengat de ebstroom naar het zuiden langs de eilandkust tegenkomt, ter hoogte van strandpaal 12. Bij dit convergentiepunt wordt door de ebstroom zand aangevoerd en dit leidt waarschijnlijk tot sedimentatie. Er vindt in het gebied van strandpaal 11 tot 14 dus erosie plaats door het brandingstransport en is ook een mogelijke erosie door de vloedstroom, hoewel niet duidelijk hoe die zich verhoudt tot de sedimentatie door de ebstroom.

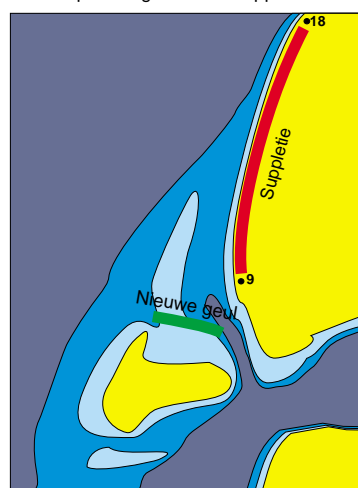
#### Figuur 9

Voorgestelde alternatieve beheersingrepen (uit Steijn en Jeuken, 2000). Figuur 9A: Het Molengat aan de westzijde verruimen en met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren van strandpaal 9 tot 18. Figuur 9B: Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks en met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren van strandpaal 9 tot 18. Figuur 9C: Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks en met het vrijgekomen zand een drempel in het noordelijke eind van het Molengat aanleggen. Figuur 9D: Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks, met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren van strandpaal 9 tot 18 en het Molengat afsluiten met een dam.

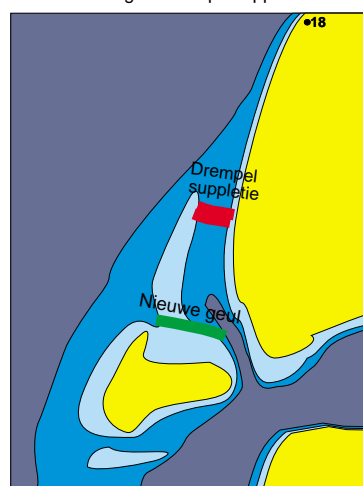
Figuur 9a: Variant L, Geulverruiming en strandsuppletie



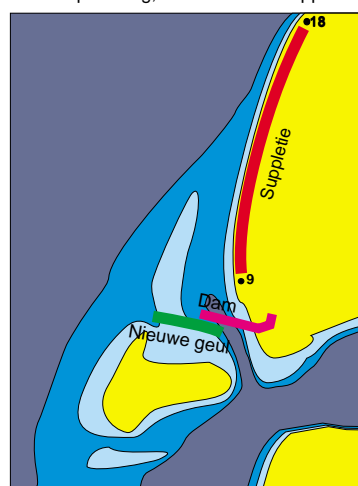
Figuur 9b: Variant M, Geulverplaatsing en strandsuppletie



Figuur 9c: Variant N, Geulverruiming en drempelsuppletie



Figuur 9d: Variant O, Geulverplaatsing, dam en strandsuppletie



### 3.4 De effecten van beheersingrepen op het zandtransport

De beheersingrepen zijn er op gericht om het zand in de Noordelijke uitlopers ten goede te laten komen aan de zuidwestkust van Texel en de druk op de kust door het Molengat te verminderen.

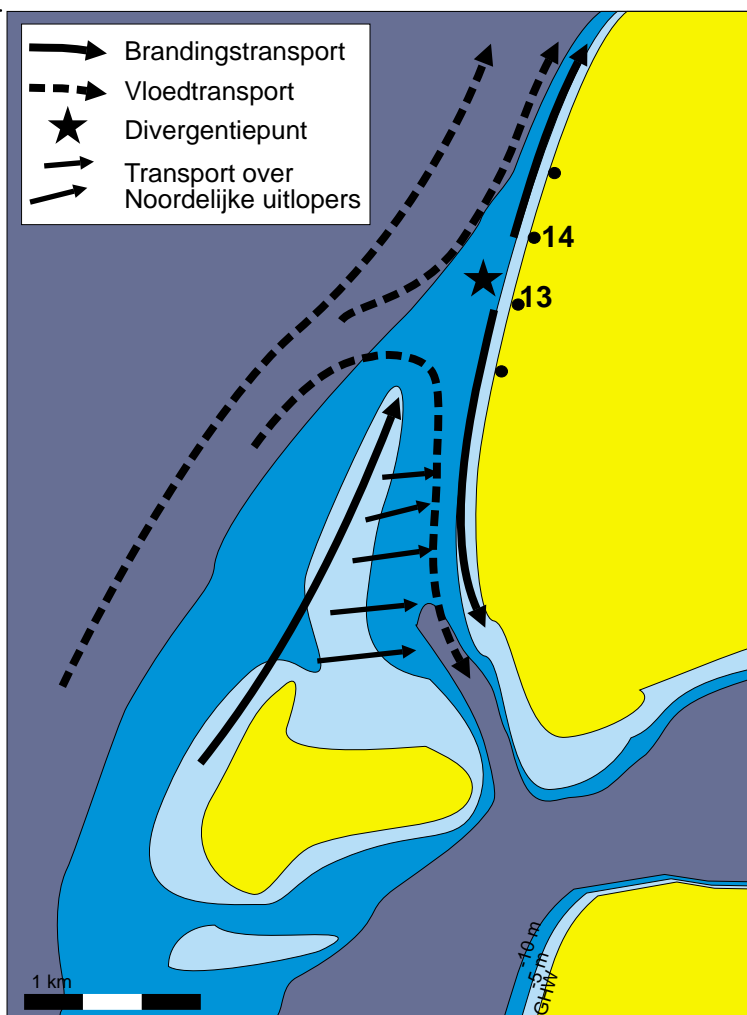
Alle voorgestelde ingrepen zullen de ontwikkelingen van het Molengat beïnvloeden. De druk op de kust door het Molengat zou daardoor kunnen afnemen. Alleen de voorgestelde drempelsuppletie (variant N, figuur 9c)\* in het Molengat zal mogelijk invloed hebben op de aanwezigheid van het divergentiepunt in het brandingstransport. Hierdoor wordt de toevoer van zand van de Noordelijke uitlopers naar de zuidwestkust mogelijk versneld. Geen van de voorgestelde ingrepen neemt het divergentiepunt in het brandingstransport weg. De erosie bij het divergentiepunt zal dus doorgaan.

#### Samenvattend

De erosie aan de zuidwestkust van Texel wordt veroorzaakt door de druk op de kust van het Molengat, door een divergentiepunt in het brandingstransport ter hoogte van strandpaal 13 tot 14 en mogelijk ook door een stuwpunt in de vloedstroom ter hoogte van strandpaal 11. De beheersingrepen zijn erop gericht de druk op de kust door het Molengat te verminderen en het zandtransport vanaf de Noordelijke uitlopers naar de kust te versnellen. Alle beheersingrepen zullen de ontwikkeling van het Molengat beïnvloeden. Alleen de voorgestelde drempelsuppletie beïnvloedt het zandtransport van de Noordelijke uitlopers naar de zuidwestkust. Geen van de voorgestelde ingrepen beïnvloedt het divergentiepunt in het brandingstransport in de vloedstroom.

**Figuur 10:**

Conceptueel sedimenttransport model van de kust van zuidwest Texel, het Molengat en de Noorderhaaks. Onder invloed van het gemiddelde jaarlijkse golfklimaat vindt langs de kust ten noorden van strandpaal 14 brandingstransport naar het noorden plaats en ten zuiden van strandpaal 13 brandingstransport naar het zuiden. Langs de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks vindt brandings transport naar het noorden plaats en er vindt ook golfgedreven transport over de Noordelijke uitlopers naar de kust plaats. De vloedstroom divergeert voor de kust van zuidwest Texel, een deel gaat verder noordelijk langs de kust en een deel gaat door het Molengat (zie ook figuur 11).



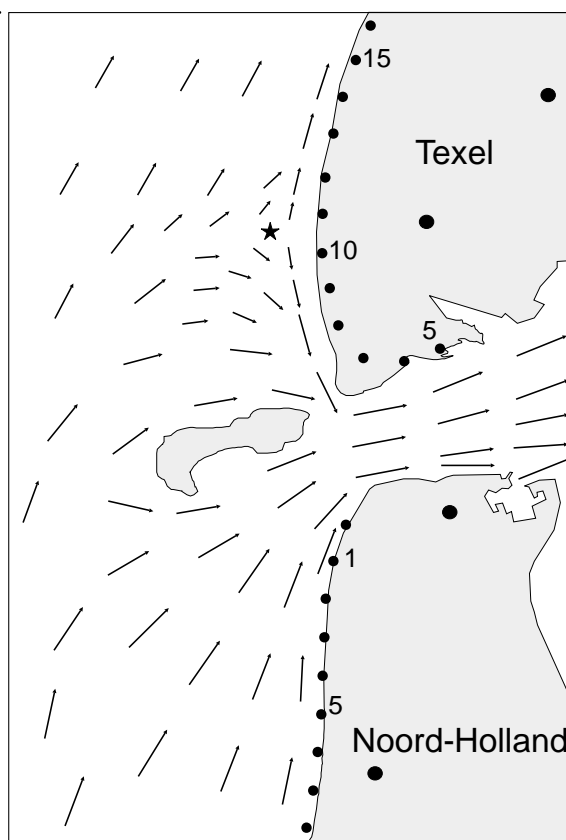
## 4 Voorspelling van de morfologische ontwikkelingen van de beheersingrepen

Het beoogde effect van de beheersingrepen over de periode 1997-2000 is berekend met een computermodel. Om het effect van de ingrepen te kunnen vergelijken met de voortzetting van het huidige beheer is ook de natuurlijke ontwikkeling berekend. Bij de natuurlijke ontwikkeling is echter niet uitgegaan van het uitvoeren van zandsuppleties.

De modelvoorspellingen worden beschreven en er wordt bediscussieerd of de doelen bereikt worden. Verder worden de voor- en nadelen van de ingrepen opgesomd, evenals de vraagtekens omtrent haalbaarheid. Hierop wordt verder ingegaan in Hoofdstuk "De omgevingsfactoren bij beheersingrepen in de buitendelta".

**Figuur 11**

Maximum vloedstroom in het zeegat van Texel, met stuwpunt of divergentiepunt rond strandpaal 11 (naar Steijn en Jeuken, 2000).



### 4.1 Beschrijving van het ZW- Texel model

Voor een uitgebreide beschrijving van het Delft-3D-MOR model en de modelschematisatie die is gebruikt voor de berekeningen aan de beheersvarianten verwijzen we naar Steijn en Jeuken (2000) en voorgaande rapporten (Steijn 1997a, Steijn 1979b, Hartsuiker e.a., 1998, Roelvink e.a. 1998, Steijn e.a., 1998). Voor de modelberekeningen is gebruikt gemaakt van het ZW- Texel model versie 2.0 (Steijn en Jeuken, 2000).

Het model ligt aan de zeewaartse kant ruim om de buitendelta heen en bestrijkt in de Waddenzee een gebied tot aan de wantijen van het

Eijerlandsegat en het Vlie. De bodem van het model volgt zoveel mogelijk de bodem van 1997.

Voor de berekeningen is een representatief (zogenaamd morfologisch) getij geselecteerd. Het representatieve getij is zo gekozen dat meerjarige variaties, seizoensvariaties en springtij-doodtij variaties uitgemiddeld zijn. Met het representatieve getij wordt de gehele onderzochte periode van 3 jaar doorgerekend. Verondersteld wordt dat de zandtransporten door het natuurlijke getij met de daarin optredende variaties in de onderzochte periode goed weergegeven worden door het representatieve getij.

Voor het golfklimaat is gebruik gemaakt van een jaargemiddelde dat is berekend aan de hand van een periode van 10 jaar. Dit jaargemiddelde is geschematiseerd in vier condities met golven en één zonder golven. Er is met een hoge en lage golfconditie uit het zuidwesten ( $235^\circ$  en  $255^\circ$ ) en met een hoge en lage golfconditie uit het noordwesten ( $315^\circ$ ) gerekend. De periode zonder golven besloeg ongeveer 23% van de tijd en de periode met hoge golven besloeg ongeveer 11% van de tijd. Er is gerekend met sediment met een  $D^{50}$  van  $250\ \mu\text{m}$  en een  $D^{90}$  van  $450\ \mu\text{m}$ , uniform over het gehele modelgebied (notabene: dit is ongeveer het gemiddeld strandzand in het gebied (Stolk, 1989), maar veel fijner dan het meeste geulbodemsediment (Sha, 1990), terwijl het zand op de waddenplaten gemiddeld nog beduidend fijner is (Postma, 1954).

In het model worden de waterbewegingen door het getij en de golven berekend. De zandtransporten als gevolg van de waterbewegingen worden berekend met de Bijker formule (Bijker, 1971). Het zandtransport in de Bijker formule is onder ander afhankelijk van de diepte (Roelvink, 1999). De berekende zandtransporten resulteren in veranderingen in de bodemligging. De veranderingen van de bodemligging resulteren in een nieuwe modelbodem, die voor de daarop volgende berekening van de waterbewegingen en het sedimenttransport gebruikt worden. In de berekeningen van het zandtransport is geen rekening gehouden met zandtransport door golfassymetrie, met spiraalstromingen en met hellingseffecten.

#### **4.2 Voorspelling van de autonome (natuurlijk) ontwikkeling van 1997 tot 2000 (variant K)**

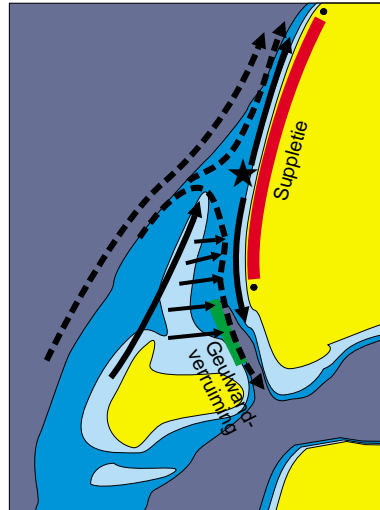
De natuurlijke bodemveranderingen zijn berekend over een periode van 3 jaar, beginnend met de bodem van 1997. De erosie van Zuidwest Texel verandert in de drie jaar niet wezenlijk. De druk op de kust door het Molengat tussen strandpaal 9 en 11 duurt voort en het divergentiepunt in het brandingstransport en het stuwpunt in de vloedstroom resulteren in doorgaande erosie tussen strandpaal 10 en 17

De belangrijkste morfologische ontwikkelingen in deze periode is de doorgaande uitbouw van de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks naar het noorden. Door de uitbouw van de Noordelijke uitlopers neemt de lengte van het Molengat toe. De verwachte afname van het stroomprofiel in het noordelijke deel van het Molengat en het ontstaan van een drempel aan het noordelijke einde van het Molengat worden niet berekend binnen de periode binnen drie jaar.

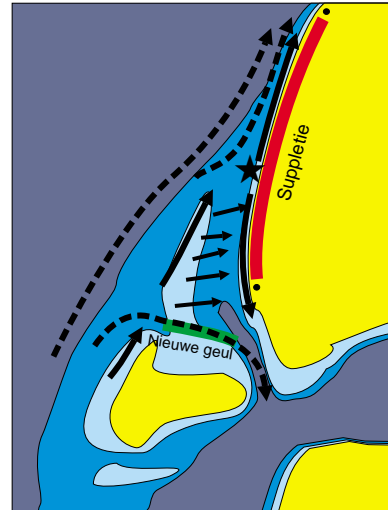
**Figuur 12**

De voorgestelde alternatieve beheersingrepen (uit Steijn en Jeuken, 2000) en hun gevolgen voor het sedimenttransport. Figuur 12A: Deze ingreep verandert niets aan de patronen in het sedimenttransport en heeft ook de minste invloed op het sedimenttransport. Figuur 12B: Het baggeren van de alternatieve geul beïnvloedt de vloedstroom door het Molengat. Figuur 12C: Het baggeren van de alternatieve geul beïnvloedt de vloedstroom door het Molengat en de aanleg van de drempel beïnvloedt het sedimenttransport van de Noordelijke uitlopers naar de kust. Figuur 12D: Ook bij ingreep beïnvloedt de alternatieve geul de vloedstroom door het Molengat, terwijl de aanleg van de dam het sedimenttransport langs de kust van Texel naar de Waddenzee beperkt.

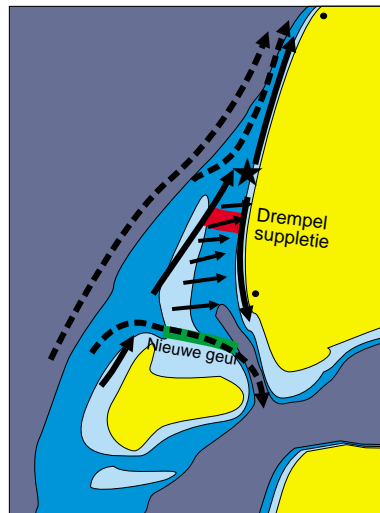
Figuur 12a: Variant L, Geulverruiming en strandsuppletie



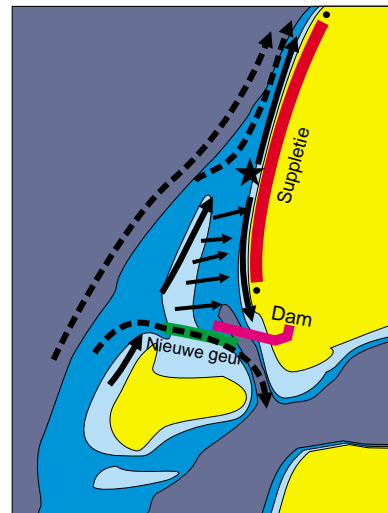
Figuur 12b: Variant M, Geulverplaatsing en strandsuppletie



Figuur 12c: Variant N, Geulverruiming en drempelsuppletie



Figuur 12d: Variant O, Geulverplaatsing, dam en strandsuppletie



→ Brandingstransport  
 → Vloedtransport  
 ★ Divergentiepunt/stuwpunt

→ Transport over Noordelijke uitlopers

Op grond van de modellering en het conceptuele model van het zandtransport (figuur 10) stellen Steijn en Jeuken (2000) dat de kusterosie de komende 3 tot 5 jaar niet wezenlijk zal veranderen. In deze periode zullen er slechts kleine veranderingen in de morfologie optreden. Er wordt niet verwacht dat er meer golven gedempt worden over de Noordelijke uitlopers, of dat er meer zand aangevoerd zal worden van de onderwateroever. Pas over tien jaar en verder kan de toevoer van zand vanaf de Noordelijke uitlopers een rol gaan spelen in het terugdringen van de erosie. Op een zelfde termijn wordt een afname van de rol van het Molengat gezien, waardoor de erosie verder afneemt. Een vergelijking tussen de modelvoorspelling en de geobserveerde morfologie in 2000 is mogelijk, maar minder valide omdat de zandsuppleties van 1997 niet in de voorspellingen verdisconteerd zijn.



**4.3 Geulverruiming en strandsuppletie (variant L, figuur 9a)**

In deze variant wordt geprobeerd de druk op de kust door het Molengat te verminderen door aan de westzijde van de geul te baggeren. Het gebaggerde materiaal wordt van strandpaal 9 tot 18 gesuppleerd. De gevolgen van de ingreep na drie jaar zijn beperkt, omdat het golf- en getijdetransport niet wezenlijk door de ingreep wordt beïnvloed. De intensiteit van de erosie van RSP 9 tot 18 neemt toe met 10 % en doet de suppletie deels te niet. Het zwaartepunt van de erosie door het Molengat verschuift tot ten zuiden van strandpaal 9. De lokale verruiming door het uitbaggeren van de westzijde van het Molengat wordt snel verdeeld over de gehele geul. Het remmende effect op de erosie is daardoor beperkt. De ingreep resulteert niet in een versnelde zanduitwisseling tussen de Noordelijke uitlopers en de kust van Texel.

<b>Voordeel:</b>	De winput ligt dicht bij het suppletiepunt en dus zijn de kosten van het suppleren laag.
<b>Nadeel:</b>	De ingreep leidt tot zandverlies van de buitendelta.
<b>Vraagteken:</b>	Is het materiaal van de geulrand geschikt voor suppleties ?

**4.4 Geulverplaatsing en strandsuppletie (variant M, figuur 9b)**

In deze variant wordt geprobeerd de druk op de kust door het Molengat te beperken door over de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks een al aanwezig geultje te verdiepen en te verlengen. Het gewonnen materiaal wordt van RSP 9 tot 18 gesuppleerd.

Ook voor deze variant geldt dat de gevolgen van de ingreep na drie jaar beperkt zijn, omdat het golf- en getijdetransport niet wezenlijk door de ingreep beïnvloed wordt. Het patroon in de erosie langs de kust verschuift, maar de gevolgen blijven binnen de 10%. Het gebaggerde geultje blijft aanwezig in de morfologie, maar verzandt wel. De erosie door de druk van het Molengat op de kust neemt niet af. De uitwisseling van zand tussen de Noordelijke uitlopers en de kustlijn neemt niet toe.

Steijn en Jeuken (2000) merken op dat een bredere en diepere geul wellicht beter de functie van getijdegeul van het Molengat zou overnemen. Ook kunnen andere middelen overwogen worden om het gedrag van het Molengat te beïnvloeden. Deze middelen worden in de volgende twee varianten nader bekeken.

<b>Voordeel:</b>	De winput ligt dicht bij het suppletiepunt en dus zijn de kosten van het suppleren laag.
<b>Nadeel:</b>	De ingreep leidt tot zandverlies van de buitendelta.
<b>Nadeel:</b>	De Noorderhaaks en de Noordelijke uitlopers hebben belangrijke natuurwaarden, die door de ingreep negatief beïnvloed worden.
<b>Vraagteken:</b>	Is het materiaal van de geulrand geschikt voor suppleties ?

**4.5 Geulverplaatsing en drempelsuppletie (variant N, figuur 9c)**

In deze variant wordt een geultje over de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks verdiept en verlengt en het Molengat wordt in het noorden afgesloten met een gesuppleerde drempel, met een hoogte van -4 m NAP. In deze variant wordt geen strandsuppletie uitgevoerd. De drempel in het noordelijke deel van het Molengat moet dienen als een brug voor het zandtransport van de Noordelijke uitlopers naar het strand. Ook voor deze variant geldt dat de invloeden van de ingreep beperkt zijn. Het Molengat behoudt zijn functie als getijdegeul en ruimt de drempel op. De nieuwe geul verzandt en wordt niet de nieuwe getijdegeul in plaats van het Molengat. De druk op de kust van het

Molengat neemt iets af. De ingreep resulteert in een afname van de erosie met 16% van strandpaal 10 tot 14. Op de noordelijke uitlopers vindt een herverdeling van sediment plaats, maar de aanvoer van zand vanaf de Noordelijke uitlopers naar de kustlijn neemt niet toe. Varianten op deze ingreep (diepere geul en hogere drempel) zouden volgens Steijn en Jeuken (2000) wel het gewenste effect kunnen hebben.

- Voordeel:** De winput ligt dicht bij het suppletiepunt en dus zijn de kosten van het suppleren laag. Verder beperkt de uitvoering als drempelsuppletie de kosten.
- Nadeel:** De ingreep leidt tot zandverlies van de buitendelta.
- Nadeel:** De Noorderhaaks en de Noordelijke uitlopers hebben belangrijke natuurwaarden, die door de ingreep negatief beïnvloed worden.

#### 4.6 Geulverplaatsing, dam en strandsuppletie (variant O, figuur 9d)

Deze ingreep is een uitbreiding van variant M: naast het baggeren van een nieuwe geul en het suppleren van het strand wordt het Molengat aan de zuidzijde afgesloten met een harde dam. De dam is bedoeld om het huidige Molengat af te sluiten en zo enerzijds de ontwikkeling van het nieuwe geultje bevorderen en anderzijds het zandtransport van de Noordelijke uitlopers naar het strand te bevorderen.

De modelberekeningen laten zien dat de dam grote gevolgen heeft in het gebied rondom de dam. Direct ten noorden van de dam treedt aanzanding op. Aan de kop van de dam zal een ontgrondingskuil ontstaan en aan de zuidzijde van de dam zal uitschuring plaatsvinden. De nieuwe geul verdiept en is inderdaad meer levensvatbaar dan in variant M. Het Molengat verzandt. De erosie tussen strandpaal 10 en 19 neemt toe.

De positieve gevolgen van deze variant voor de zandbalans van het gebied komen volgens Steijn en Jeuken (2000) pas op een termijn van 10 jaar goed uit de verf en dit levert vooral aanzanding op ten zuiden van RSP 10. De dam zorgt voor een afname van de getijslag bij Den Helder van 5 cm. De gevolgen van een verandering van de getijslag zijn niet onderzocht, maar strekken in ieder geval tot ruim buiten het gebied. Met name de kust bij Den Helder en het waddengebied zouden hiervan hinder kunnen ondervinden. Steijn en Jeuken (2000) concluderen dat deze variant op korte termijn geen positieve gevolgen heeft voor de zandbalans van de kustzone. Door de ontwikkelingen rond de dam moet de uitvoering van de dam zeer zwaar zijn. De verandering van de getijslag kan negatieve gevolgen voor de kustzone elders hebben.

- Nadeel:** De aanleg van een dam is relatief duur.
- Nadeel:** De waterstandsverandering bij Den Helder kan onvoorziene problemen buiten het gebied opleveren.
- Nadeel:** De ingreep leidt tot zandverlies van de buitendelta.
- Nadeel:** De Noorderhaaks en de Noordelijke uitlopers hebben belangrijke natuurwaarden, die door de ingreep negatief beïnvloed worden.
- Vraagteken:** Is het materiaal van de geulrand geschikt voor suppleties ?

**Samenvattend:**

De beheersingrepen hebben als doelen: 1) Het beperken van de druk op de kust door het Molengat. 2). Het versnellen van het zandtransport van de Noordelijke uitlopers naar de kust. De ingrepen hebben een zeer beperkte invloed op de ontwikkelingen van het Molengat. Geen van de beheersingrepen leidt tot een vergroting van het zandtransport van de Noordelijke uitlopers naar de kust. Op grond van de voorspellingen van de morfologische ontwikkelingen na drie jaar is van variant N (Geulverplaatsing en drempelsuppletie) en variant O (Geulverplaatsing, dam en strandsuppletie) op voorhand te zeggen dat deze geen tot weinig positieve effecten op de erosie zullen hebben. Beide varianten (N en O) kunnen dan ook niet beschouwd worden als duurzame beheersingrepen, die op langere termijn de noodzaak tot suppleren beperken.

De grootschalige suppletie in varianten L (Geulverruiming en strandsuppletie) en M (Geulverplaatsing en strandsuppletie) compenseren een deel van de gevolgen van de erosie in de kustzone. Dit is geen doel van de ingrepen maar een bijkomend korte termijn voordeel. Ook deze varianten bieden geen structurele oplossing voor de erosieproblematiek.

## 5 De waarde van voorspellingen met een model

---

Het belang van de modelberekeningen voor de voorspelling van de morfologische ontwikkelingen is afhankelijk van hun voorspellende waarde. Op dit moment is er geen eenduidige toetsing voorhanden van de kwaliteit van morfologische voorspellingen. De voorspellende waarde van de modelberekeningen is daarom nog niet vast te stellen. Door Steijn en Jeuken (2000) wordt geen waardeoordeel gegeven over de kwaliteit van de voorspellingen van de morfologische ontwikkelingen. In het rapport Gevoeligheidsberekeningen Eijerland en ZW Texel; Fase 1 Eijerland (Roelvink, van Holland en Steijn, 1998) zijn de morfologische ontwikkelingen die veroorzaakt zijn door de aanleg van de dam bij Eijerland (noordoost Texel) voorspeld en vergeleken met de geobserveerde veranderingen. Uit deze "hindcast" studie blijkt dat de chronologie van het golfklimaat zeer belangrijk is voor de daar optredende morfologische ontwikkelingen. In het geval van de Eijerlandse dam bleek het eerste, zeer rustige jaar van grote invloed op de verdere ontwikkelingen.

In het rapport Gevoeligheidsberekeningen Eijerland en ZW- Texel; Fase 2 ZW- Texel (Steijn, Banning en Roelvink, 1998) is een modelvoorspelling gedaan van de morfologische ontwikkelingen in de periode 1991-1994 en deze is met de geobserveerde veranderingen vergeleken. Deze "hindcast" laat zien dat de meeste morfologische ontwikkelingen in het gebied goed worden gereproduceerd. Erosie- en sedimentatiepatronen komen in grote lijnen overeen. Een kenmerkende set van kwaliteitsparameters is echter niet vastgesteld. Het model laat over deze periode geen import van zand door het Zeegat van Texel naar de Waddenzee zien, wat in tegenspraak is met observaties aan de zandbalans van de Westelijke Waddenzee (van Marion, 1999). Het belang van deze discrepantie voor de kwaliteit van de morfologische ontwikkelingen is echter onduidelijk. De gevoeligheidsberekeningen tonen verder aan dat het onwaarschijnlijk is dat alle aan een zware storm gekoppelde verschijnselen in het model worden meegenomen en hetzelfde geldt voor de gevolgen van windopzet.

Op grond van bovenstaande kunnen we verwachten dat de modelvoorspellingen van de morfologische veranderingen in het Zeegat van Texel een beeld opleveren dat overeenkomt met de werkelijkheid, mits 1) de optredende golfcondities niet veel afwijken van de in het model gebruikte golfcondities, 2) er geen zware stormen zijn opgetreden en 3) er geen periodes zijn opgetreden waarbij de windopzet van groot belang was voor het stromingspatroon.

### **Samenvattend:**

De modelberekeningen aan de morfologie geven houvast voor de te verwachten ontwikkelingen. Om tot een afgewogen waardeoordeel over de modelvoorspellingen te komen moeten eenduidige toetsingscriteria opgesteld worden. Verder is op voorhand aan te geven dat een aantal condities niet goed in de huidige modelvoorspellingen zijn opgenomen, maar de consequenties hiervan voor de waarde van de modelvoorspellingen zijn nog onbekend.



## 6 De omgevingsfactoren bij beheersingrepen in de buitendelta

---

Er is een aantal belangrijke omgevingsfactoren bij het plegen van een grootschalige ingreep. Vanuit het kustbeheer is het belangrijk dat een ingreep een duurzaam karakter heeft. Ook de gevolgen voor de natuurwaarden, scheepvaart en recreatie moeten meegenomen worden in de besluitvorming. Verder moeten de beheersvarianten een financieel voordeel hebben ten opzichte van het huidige beleid. Daarnaast moeten de maatregelen haalbaar zijn vanuit een technisch oogpunt, waarbij de bruikbaarheid van het gebaggerde materiaal voor suppleties een belangrijke rol speelt.

### 6.1 Beheersingrepen mogen niet leiden tot zandverlies van de buitendelta

In de beheersingrepen L, M en O wordt uitgegaan van zandwinning in de buitendelta (hetzij in het Molengat, hetzij in een alternatieve geul op de Noorderhaaks) en suppletie van strandpaal 9 tot 18. De suppletie strekt zich dus uit ten noorden en ten zuiden van het divergentiepunt in het brandingstransport en het stuwpunt in het vloedtransport van strandpaal 11 tot 14. Dit betekent dat het gesuppleerde materiaal ten zuiden van strandpaal 11 tot 14 naar het zuiden wordt getransporteerd en het materiaal ten noorden van strandpaal 11 tot 14 naar het noorden wordt getransporteerd (figuur 13). Met andere woorden, het materiaal ten zuiden van strandpaal 11 tot 14 keert terug naar de buitendelta waar het gewonnen is en het materiaal ten noorden van dit gebied verdwijnt langs de kust van Texel in de richting van het Eijerlandse gat. Dit betekent dus dat het netto effect van de zandwinning op de buitendelta in combinatie met de suppletie van strandpaal 9 tot 18 een verlies van zand voor de buitendelta is. Ruwweg de helft van het gewonnen materiaal wordt daardoor permanent onttrokken aan de buitendelta.

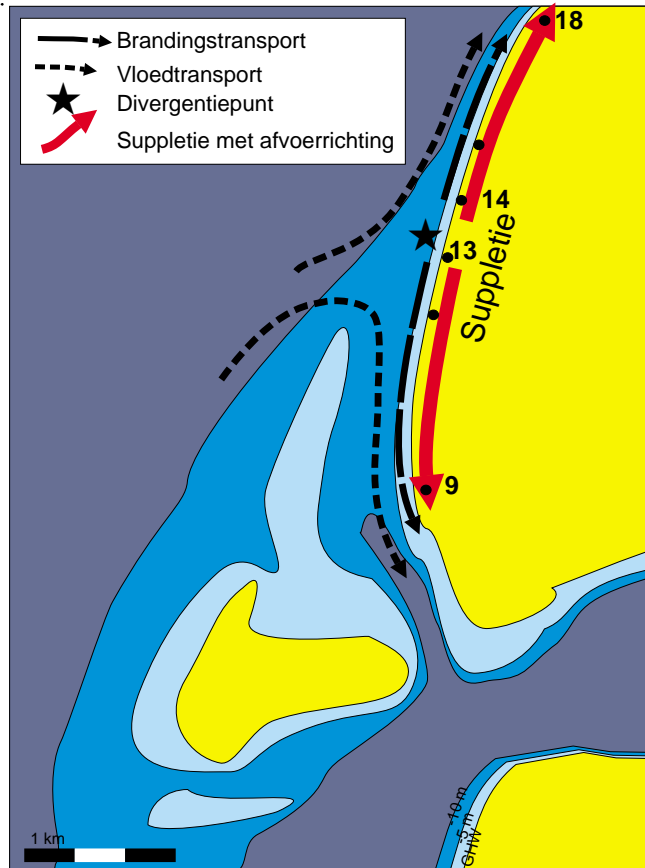
Als we er van uitgaan dat de buitendelta van het Zeegat van Texel onderdeel is van een zanddelend systeem (Louters en Gerritsen, 1994) dat ook de westelijke Waddenzee en het zuidelijke gedeelte van de buitendelta omvat (Mulder, 2000), betekent het onttrekken van zand uit de buitendelta dus een verliespost van zand voor het gehele zanddelend-systeem. Met de huidige kennis van het zanddelend-systeem mogen we ervan uitgaan dat het verlies in de buitendelta door de natuurlijke processen wordt gecompenseerd door het onttrekken van zand aan andere delen van het systeem (Louters en Gerritsen, 1994). Dit betekent dat de zandwinning op de buitendelta een afname van het zandvolume en mogelijk kustachteruitgang elders in het kuststelsel tot gevolg heeft. De uiteindelijke aanvulling van het zandverlies zal vanaf de Noordzee bodem plaatsvinden, of door aanvoer vanaf de kop van Noord-Holland. Met name dit laatste is niet wenselijk omdat dit kustgedeelte al onder druk staat door de druk op de kust van de getijde geul Nieuwe Schulpengat en de afname van het zandvolume in de kustzone (Van der Veer, 2001).

De afweging om geen zand te onttrekken aan de buitendeltas van Zeegaten in de Waddenzee wordt ook gemaakt in de Nota van Toelichting bij de Ontwerp Planologische Kern Beslissing (in de Derde

Nota Waddenzee, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en Milieu, 2001). Hierin wordt gesteld dat de zandwinning met ingang van 2000 beperkt blijft tot vaargeulonderhoud en dat verder geen zandwinvergunningen worden afgegeven.

**Figuur 13**

Suppleties van strandpaal 9 tot 13 en de richting van het sedimenttransport door het divergentiepunt in het brandingstransport en het stuwpunt in de vloedstroom. Ten zuiden van strandpaal 13 wordt het materiaal naar het zuidoosten, in de richting van de vloedkom getransporteerd. Ten noorden van strandpaal 14 wordt het materiaal naar het noorden getransporteerd, weg van de buitendelta van het zeegat van Texel. Wanneer het materiaal gewonnen wordt op de buitendelta en gesuppleerd wordt ten noorden van strandpaal 14 wordt dus aan het zanddelend systeem van het zeegat van Texel onttrokken.



## 6.2 Natuurwaarden en wettelijk kader stellen voorwaarden aan ingrepen in de buitendelta

De Noorderhaaks en het omringende gebied is een van de meest dynamische en natuurlijke delen van de Nederlandse kust. De noordwestpunt van de Noorderhaaks is een rustgebied voor zeehonden, waarbij het aantal zeehonden dat hier ligt kan oplopen tot ten minste honderd. Op de Noorderhaaks hebben dwergsterns en waarschijnlijk ook visdiefjes gebroed. De Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks zijn een fourageergebied voor zee-eenden. Door de ontoegankelijkheid van het gebied is de recreatiedruk gering. Door de gemeente Texel is begin 2001 een deel van de plaat permanent afgesloten voor de recreatie.

Op dit moment valt de Noorderhaaks niet onder de Natuurbeschermingswet en het gebied valt ook buiten het Kerngebied Ecologische Hoofdstructuur. Er zijn wel plannen om het gebied hetzij onder de Natuurbeschermingswet te laten vallen, of het onderdeel te maken van het Nationaal Park Texel. Het buitendelta gebied valt niet onder de vigerende PKB Waddenzee (Planologische Kern Beslissing). Echter in de nieuwe ontwerp PKB (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en Milieu, 2001) staat expliciet vermeld dat activiteiten en beleidsvoornemens van overheden "buiten het pkb-gebied die een aantasting kunnen opleveren voor de wezenlijke kenmerken of waarden van de Waddenzee, dienen aan de hoofddoelstellingen van deze pkb te worden getoetst. Het kabinet zal die handelingen daarom aan het in deze pkb opgenomen

afwegingskader onderwerpen". Het gebied heeft wel de status van Vogelrichtlijngebied (3 mijlszone buiten de eilanden en buiten de buitendelta) en Habitatrichtlijngebied (tot de -5 m NAP, vaargeulen zijn uitgesloten).

Het in de ontwerp PKB (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en Milieu, 2001) opgenomen afwegingskader komt overeen met het afwegingskader in de vogel-en habitatrichtlijn. Deze overwegingen gaan dus ten allen tijde op bij het plannen van activiteiten, ongeacht de status van de ontwerp PKB. De afwegingscriteria zijn gebaseerd op zeven punten: 1). Best beschikbare informatie; 2) Cumulatieve effecten; 3). Aantasting van wezenlijke kenmerken of waarden; 4). Voorzorgsbeginsel; 5). Reële alternatieven; 6). Dwingende redenen van groot openbaar belang; 7). Mitigeren en compenseren.

Dit rapport is niet de plaats om deze afweging te maken. Wel is het belangrijk om te wijzen op het belangrijkste argument tegen beheersvarianten waarbij ingegrepen wordt in het Molengat of de Noorderhaaks: Reële alternatieven. Het huidige beheer waarbij zand van buiten het -20 m gebied gesuppleerd is een alternatief voor de voorgestelde ingegrepen. Of het huidige beheer als reëel alternatief aangemerkt kan worden is een afweging tussen redelijkheid en billijkheid van de meerkosten van het huidige beheer en de effecten op het milieu van de alternatieve ingrepen

Een grootschalige ingreep in de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks, zoals het baggeren van een alternatieve geul, heeft invloeden op de natuurwaarden van het gebied. Voor een dergelijke ingreep is een PKB-toetsing nodig. Het verruimen van het Molengat door baggeren aan de westzijde is minder ingrijpend voor de natuurwaarden van het gebied, maar is aan eenzelfde PKB-toetsing onderhevig.

### **6.3 Het belang van het Molengat voor de scheepvaart**

Op dit moment is het Molengat een betonde vaarweg. Er geldt geen onderhoudsplicht of voorgeschreven nautische diepte. Het Molengat wordt met name gebruikt door de vissersvloot uit Den Helder. Hierbij moet aangetekend worden dat het Molengat alleen bij goed weer gebruikt wordt. Bij slechtere weerscondities wordt omgevaan langs de Noorderhaaks en door het Schulpengat, omdat de drempels in het Molengat ondiep zijn. Deze route is ongeveer drie keer zo lang als de route door het Molengat.

Hoewel het huidige beheer van het Molengat niet gericht is op de scheepvaartfunctie, is te verwachten dat een versneld verdwijnen van het Molengat op weerstand zal stuiten.

### **6.4 De recreatiefunctie van de Noorderhaaks en de zuidwestkust**

Bij alle onderzochte beheersvarianten hebben de optredende veranderingen in de morfologie geen wezenlijke invloeden op de recreatie. Alleen bij de constructie van een dam om het Molengat af te sluiten (variant O) wordt de morfologie van de zuidwestpunt sterk beïnvloed. De aantrekkelijkheid als wandelgebied zou hierdoor kunnen veranderen. Overigens is het huidige recreatieve gebruik van het strand ten zuiden van strandpaal 11, op de Hors en op de Noorderhaaks zeer beperkt.



## 6.5 De financiële voor- en nadelen ten opzichte van het huidige beleid

Verschillen in de kosten tussen de verschillende varianten komen voort uit een aantal posten

- suppletiekosten (winning-transport-uitvoering)
- extra ingrepen (aanleg van dam)
- voortraject (open planprocedure, MER, onderzoek)
- onderhoud (inspectie, extra onderhoud, herhaalfrequentie)

In tabel 1 is een schatting gegeven van de mate waarin de kosten hoger of lager zullen liggen ten opzichte van het huidige beleid (variant K).

**Tabel 1**

Kosten van de voorgestelde beheersvarianten (Variant L tot O) ten opzichte van het huidige beheer (Variant K). Ook is de toe- of afname van het zandvolume van het buitendelta van het Zeegat van Texel aangegeven.

Kostenpost	Variant K Huidige beleid: winning -20 m, suppleren	Variant L Geulverruiming en strandsuppletie (figuur 9a)	Variant M Geulverplaatsing en strandsuppletie (figuur 9b)	Variant N Geulverplaatsing en strandsuppletie (figuur 9c)	Variant O Geulverplaatsing dam en strandsuppletie (figuur 9d)
<b>Suppletiekosten</b>					
winning	0	-	-	-	-
transport	0	-	-	-	-
uitvoering	0	0	0	- <sup>3</sup>	0
<b>Extra ingrepen</b>					
aanleg van dam	0	0	0	0	+
<b>Voortraject</b>					
open planprocedure	0	+ <sup>1</sup>	+	+	+
MER	0	+ <sup>1</sup>	+	+	+
onderzoek	0	+	+	+	+
<b>Onderhoud</b>					
inspectie	0	0 <sup>2</sup>	+	+	+
extra onderhoud	0	0	0	0	+
herhaalfrequentie	0	0	0	0 <sup>4</sup>	0
<b>"Zandbalans"<sup>5</sup></b>	+	-	-	-	-

0: kosten vergelijkbaar met huidige beheer; -: lagere kosten dan het huidige beheer; +: hogere kosten dan het huidige beheer

<sup>1</sup> Een ingreep aan de westkant van het Molengat heeft een zeer beperkte invloed op de Noorderhaaks en de Noordelijke uitlopers. Dit beperkt waarschijnlijk de noodzaak van een uitgebreid voortraject.

<sup>2</sup> Lodingen van het Molengat worden uitgevoerd ten behoeve van de betonning van de vaargeul. De ontwikkeling van de geulverruiming wordt dus regelmatig opgenomen, zonder meerkosten.

<sup>3</sup> Een drempelsuppletie is een onderwatersuppletie, waardoor de kosten van het uitvoeren beduidend lager zijn.

<sup>4</sup> Omdat bij deze variant geen strandsuppletie bevat en de erosie niet gestopt wordt, moet er waarschijnlijk alsnog gesuppleerd worden.

<sup>5</sup> Dit is geen financiële afweging, maar de toe- of afname van de zandhoeveelheid in de buitendelta van het Zeegat van Texel en langs de kust van zuidwest Texel

Op grond van het financiële overzicht van de verschillende beheersvarianten kunnen we een aantal conclusies trekken, waarbij we de morfologische afwegingen buiten beschouwing laten. Alleen de herhaalfrequentie is gebaseerd op morfologische voorspellingen: deze laten zien dat de oorzaak van de structurele erosie door geen van de varianten beïnvloed wordt en dus dat het zandverlies in de BKL-zone met eenzelfde frequentie moet worden aangevuld. Dit betekent ook dat

de afschrijvingsduur van de alternatieve beheersingrepen vergelijkbaar is met de afschrijvingsduur van het huidige beheer. Er wordt uitgegaan van een afschrijvingsduur van 4 jaar voor alle varianten.

**Variant K** (autonome ontwikkeling) betekent doorgaan met het huidige beleid waarbij zandverlies in de BKL-zone gecompenseerd wordt door suppleties uit te voeren met zand dat in de Noordzee buiten het -20 m NAP gebied gewonnen wordt. Aan deze varianten zijn relatief hoge kosten aan het suppleren verbonden, omdat het materiaal op diep water gewonnen wordt en over een lange afstand getransporteerd moet worden. In de toekomst is het mogelijk dat de suppleties (deels) onderwater uitgevoerd worden. De uitvoering van suppleties onderwater is goedkoper dan de uitvoering op het strand. De kosten van het beheer door middel van suppleties zouden hierdoor in toekomst lager kunnen uitvallen. Aan het doorzetten van het huidige beleid zijn geen extra kosten verbonden in het voortraject of in het onderhoud. Een voordeel van het voortzetten van het huidige beheer is dat de zandhoeveelheid in de kustzone er door toeneemt.

**Variant L** (Geulverruiming en strandsuppletie) kent lagere kosten voor het transport, omdat de transportweg zeer kort is. Ook zijn de kosten voor de winning lager, omdat het materiaal op ondieper water gewonnen kan worden. De uiteindelijke kosten hangen af van het scheepsmateriaal dat kan worden ingezet in het Molengat. Wanneer de kosten van het voortraject beperkt blijven, omdat deze variant slechts beperkt ingrijpt in het Noorderhaaks gebied, dan zou deze optie financieel aantrekkelijker kunnen zijn dan het huidige beleid.

**Variant M** (Geulverplaatsing en strandsuppletie) kent dezelfde voordelen in winning en transport als variant L. De precieze kosten hangen af van het scheepsmateriaal dat ingezet kan worden bij de winning. De kosten van de monitoring betreffen de ontwikkeling van de alternatieve geul op de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks. Dit gebied wordt niet jaarlijks gelood. De extra kosten van de monitoring zijn goed vast te stellen. De kosten in het voortraject zijn een onzekere factor. Deze variant is alleen financieel aantrekkelijk als de lagere kosten voor winning en transport opwegen tegen de hoge kosten in het voortraject en de extra kosten van de monitoring.

**Variant N** (Geulverplaatsing en drempelsuppletie) kent dezelfde onzekere hogere kosten als variant M in het voortraject. Tegen de hogere kosten wegen in dit geval niet alleen de lagere winning- en transportkosten, maar ook de lagere kosten voor de uitvoering van de suppletie. De kosten van een onderwatersuppletie zijn tot een factor 5 lager dan een strandsuppletie. Bij deze variant zit er echter een addertje onder het gras: er is geen strandsuppletie gepland, maar die is gezien de doorgaande erosie wel nodig. Hierdoor zouden alle financiële voordelen in één klap wegvallen, omdat de kosten voor het huidige beleid opgeteld moeten worden bij de kosten voor de beheersingreep.

**Variant O** (Geulverplaatsing, dam en strandsuppletie) is in feite een uitbreiding van variant M met een dam. De kosten bestaan dan ook uit de kosten van variant M uitgebreid met de aanleg en onderhoudskosten van een dam. Ook moet rekening gehouden worden met een uitgebreider voortraject bij deze variant, omdat de ingreep een meer permanent karakter heeft. De kosten van het voortraject zijn een onzekere factor. Omdat de herhaalfrequentie van suppleties met de aanwezigheid van een dam (variant O) niet lager is dan zonder een dam (variant M) en aanleg en onderhoud duurder zijn, is variant O financieel zeer onaantrekkelijk.

Op grond van bovenstaande afwegingen moet geconcludeerd worden dat varianten L (Geulverruiming en strandsuppletie) en M

(Geulverplaatsing en strandsuppletie) M waarschijnlijk goedkoper uit zullen vallen dan het huidige beleid (variant K), mits de kosten in het voortraject laag blijven. De financiële voordelen van variant N (Geulverplaatsing en drempelsuppletie) vallen geheel weg als, volgens de voorspellingen, alsnog suppleties nodig zijn. Variant O (Geulverplaatsing, dam en strandsuppletie) is zeer duur, terwijl de herhaalfrequentie van de suppleties er niet beïnvloed wordt. Varianten N en O zijn op financiële gronden dus afgeschreven en worden verder niet beschouwd in de meer gedetailleerde financiële uitwerking hieronder.

### 6.6 Kostenraming

Hieronder worden drie kostenramingen gepresenteerd. Op de eerste plaats staat een raming van het huidige beheer, waarbij op het strand gesuppleerd wordt met materiaal dat buiten de -20 m gewonnen wordt. Op de tweede plaats staat een raming van de kosten van beheersvarianten L en M, waarbij al het materiaal voor de strandsuppletie op de buitendelta gewonnen wordt. Daarna wordt een raming gepresenteerd van een aanpassing van varianten L en M, waarbij geen materiaal dat op de buitendelta gewonnen is gesuppleerd wordt ten noorden van strandpaal 14. Ten noorden van strandpaal 14 wordt in deze aangepaste variant de strandsuppletie uitgevoerd met zand dat buiten de -20 m gewonnen wordt.

In de planning van het kustonderhoud van Texel (van der Veer, 2001) staan suppleties gepland voor het kustvak van strandpaal 9 tot 17 in 2004 en 2008, beide met een volume van  $2.4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . De suppleties voor het kustvak van strandpaal 17 tot strandpaal 23 laten we buiten beschouwing. In de onderstaande financiële raming van verschillende alternatieven gaan we steeds uit van een suppletievolume van  $2.4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  met een geplande levensduur van 4 jaar.

Bij het uitvoeren van de financiële raming gebruiken we een aantal richtprijzen:

- Kosten strandsuppletie met winning buiten de -20 m NAP: € 4.76<sup>1</sup> (fl 10,50) per m<sup>3</sup>.
- Kosten strandsuppletie met winning op de buitendelta<sup>2</sup>: € 3.40 (fl 7,50) per m<sup>3</sup>.
- Kosten vooroeversuppletie met winning buiten de -20 m NAP: € 1.59 (fl 3,50) per m<sup>3</sup>.

1€ = fl 2,20371

<sup>2</sup> Hierbij is voor winning op de buitendelta uitgegaan van een prijs tussen die van een vooroeversuppletie en strandsuppletie in. De feitelijke kosten zijn sterk afhankelijk van het materiaal dat kan worden ingezet. Voor het baggeren van een geul door de Noordelijke uitlopers kan waarschijnlijk geen sleehopper ingezet worden, het gebied is daar te ondiep voor. De transportkosten naar het suppletiegebied zijn goedkoper, maar ook hier is de precieze prijs afhankelijk van het materiaal dat voor transport kan worden ingezet.

Bij het schatten van de kosten van de varianten L & M moet steeds in acht worden genomen dat de uitgaven in het voortraject niet garanderen dat de ingreep ook daadwerkelijk plaats mag vinden. Dit is namelijk afhankelijk van de toetsing van de maatregelen in de buitendelta aan de hoofddoelstellingen van de Vogelrichtlijnen en de PKB Waddenzee. Met andere woorden, het risico bestaat dat de uitgaven in het voortraject niet terugverdiend worden door lagere uitvoeringskosten.

De kosten in het voortraject zijn moeilijk vast te stellen. De personele inzet is verdeeld over een groot aantal belanghebbenden (Rijkswaterstaat, de Provincie Noord-Holland, de gemeente Texel, natuurbeschermingsinstanties en schippers). De uiteindelijke hoeveelheid benodigd onderzoek is onder andere afhankelijk van uitkomsten van de eerste onderzoeken. We gaan uit van uitgaven voor onderzoek en monitoring van ten minste k€ 1361 (kfl 3.000) aan uitbestedingen en metingen (Voor het huidige advies is al tenminste voor k€ 545 (kfl 1.200) uitbesteed en 1 mensjaar werk verricht, waarbij alleen de morfologie aan de orde is geweest. Naast verder morfologisch

onderzoek moet ook onderzoek verricht worden aan de economie en de ecologie). Naast de k€ 1361 (kfl 3.000) voor onderzoek en monitoring worden arbeidsuren gemaakt in de verschillende werkgroepen en overlegorganen. We stellen voor het gemak stellen dat de kosten hiervan ook nog eens tenminste k€ 454 (kfl 1.000) bedragen. De totale kosten voor het voortraject en de monitoring komen dan uit op k€ 1815 (kfl 4.000).

**Variant K:** Voortzetting huidige beheer, strandsuppletie met winning buiten de -20 m NAP.

Strandsuppletie van $2.4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ á € 4.76 (fl 10,50) per $1\text{m}^3$ =	k€ 11.424	(kfl 25.175)
Geen extra kosten in voortraject of monitoring		
<b>Totale kosten</b>	<b>k€ 11.424</b>	<b>(kfl 25.175)</b>

**Variant L & M:** Geulverruiming of geulverplaatsing en strandsuppletie met buitendelta materiaal

Strandsuppletie van $2.4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ á k€ 3.40 (fl 7,50) per $1\text{m}^3$ =	k€ 8.160	(kfl 17.982)
Vortraject en monitoring	k€ 1.815	(kfl 4.000)
<b>Totale kosten</b>	<b>k€ 9.975</b>	<b>(kfl 21.982)</b>

Verschil ten opzichte van voortzetting huidige beheer: besparing van k€ 1.449 (kfl 3.193)

**Nota bene:** De zandwinning op de buitendelta en suppletie ten noorden van strandpaal 12 betekent dat zand onttrokken wordt aan de buitendelta van het Zeegat van Texel. Het is waarschijnlijk dat dit zandverlies in de toekomst gecompenseerd moet worden met suppleties van buiten de -20 m NAP waterlijn (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2001, Mulder 2001). De kosten van deze compensatie van het zandverlies zijn niet meegenomen in de beschouwing van de kosten. Deze kosten doen een deel van de besparing teniet.

**Aangepaste variant L & M:** Geulverruiming of geulverplaatsing en strandsuppletie van strandpaal 9 tot 14 met buitendelta materiaal en strandpaal 14 tot 17 met winning buiten de -20 m NAP

Strandsuppletie van $1.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ á € 3.40 (fl 7,50) per $1\text{m}^3$ =	k€ 5.100	(kfl 11.239)
Strandsuppletie van $0.9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ á € 4.76 (fl 10,50) per $1\text{m}^3$ =	k€ 4.284	(kfl 9.441)
Vortraject en monitoring	k€ 1.815	(kfl 4.000)
<b>Totaal:</b>	<b>k€ 11.199</b>	<b>(kfl 24.679)</b>

Verschil ten opzichte van voortzetting huidige beheer: besparing van k€ 0.225 (kfl 0.496)

Wanneer er voor gekozen wordt om geen zandverlies van de buitendelta toe te staan en dus de suppleties ten noorden van strandpaal 14 niet met materiaal van de buitendelta uit te voeren, levert dit een zeer beperkt financieel voordeel op ten opzichte van het voortzetten van het huidige beheer, ter grootte van k€ 0.225 (kfl 0.496). Ten opzichte van de voortzetting van het huidige beheer is het waarschijnlijker goedkoper om de suppleties van strandpaal 9 tot 17 uit te voeren met materiaal dat volgens variant L of M op de buitendelta gewonnen wordt. Een eerste raming laat zien dat het financiële voordeel van k€ 1.449 (kfl 3.193) bedraagt over een periode van 4 jaar. De kosten van het compenseren van zandverlies van de buitendelta zijn bij deze afweging buiten beschouwing gelaten. Deze compensatie zou de besparingen deels te niet doen.

Tabel 2

Kostenraming van het huidige beheer (Variant K), beheer met winning op de buitendelta (Variant L en M) en beheer met winning op de buitendelta voor de suppleties van strandpaal 9 tot 14 (aangepaste Variant L en M).

	Variant K (Huidige beheer)	Variant L & M	Aangepaste Variant L & M
Uitvoering	k€ 11.424	k€ 8.160	k€ 9.384
Onderzoek & Monitoring		k€ 1.815	k€ 1.815
<b>Totaal</b>	<b>k€ 11.424</b>	<b>k€ 9.975</b>	<b>k€ 11.199</b>

verschil t.o.v. huidige beheer

k€ -1.449

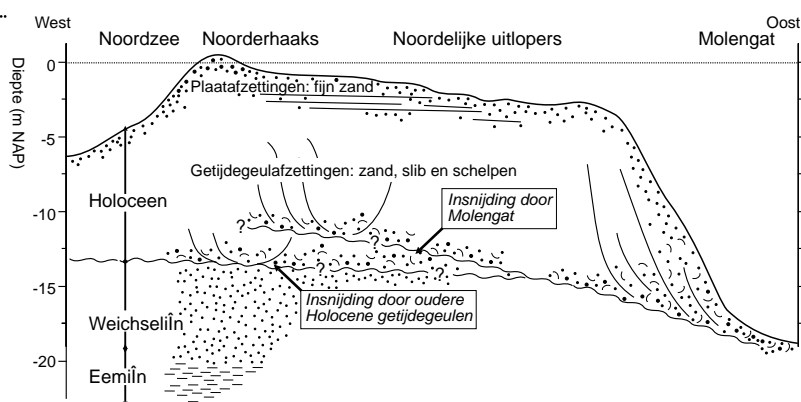
k€ -0.225

### 6.7 Zand uit de buitendelta is van voldoende kwaliteit voor suppleties

Bij de effectiviteit van de voorgestelde ingrepen speelt de kwaliteit van het gebaggerde materiaal een grote rol: voor het uitvoeren van een suppletie is het van belang dat het gebaggerde materiaal voldoende zand bevat. Hoewel er nog geen onderzoek is uitgevoerd naar het te baggeren materiaal, is er op voorhand wel een schatting te maken van het type afzettingen.

**Figuur 14**

Schematisch geologisch dwarsprofiel door de Noorderhaaks, Noordelijke uitlopers en het Molengat (naar Sha, 1990). Het bovenste deel van het profiel bestaat uit jong, Holocoon materiaal, dat is afgezet in getijdegeulen en op platen.



Omdat het Molengat vanaf een westwaartse positie naar het oosten is gemigreerd (en eerdere geulen dit ook al hebben gedaan) kunnen we aannemen dat er tot op de diepte waar de geul actief is geweest recent Holocoon materiaal is afgezet. De diepte tot waarop dit materiaal is afgezet is afhankelijk van de insnijdingsdiepte van het Molengat. Er kan redelijkerwijs vanuit worden gegaan dat dit in ieder geval tot op een diepte van - 10 m NAP is gebeurd. Als er niet beneden de -10 m gebaggerd wordt hoeft er dus geen rekening gehouden te worden met het voorkomen van ouder materiaal (minder geschikt voor suppleties zouden zijn: Eemklei, klei in de vorm van oude Holocene getijdeafzettingen en veen). Van het materiaal tussen het huidige oppervlak en de -10 m NAP bestaat het diepere deel uit geulafzettingen en het bovenste deel uit afzettingen van de Noorderhaaks (inter-)getijdeplaat (figuur 14, naar Sha, 1990). De korrelgrootte van het zand in de geulafzettingen ligt over het algemeen in de orde van 250 mm en grover. In geulafzettingen kan slib en grote hoeveelheden schelpen zitten. De korrelgrootte van het materiaal dat is afgezet op de Noorderhaaks heeft een korrelgrootte kleiner dan 175 mm en in dit materiaal zitten over het algemeen geen schelpen en slib. De dikte van het materiaal van de Noorderhaaks zal nooit meer dan enkele meters bedragen.

Gesteld kan worden dat het te baggeren materiaal bestaat uit een combinatie van goed gesorteerd fijn zand, en slecht gesorteerd grof zand met schelpen en slib. De korrelgrootte van het fijne materiaal is kleiner dan het materiaal dat nu op het strand ligt. Opgemerkt moet worden dat in het verleden mogelijk munitie in het gebied gedumpt is en dit zou het baggeren kunnen hinderen.

**Samenvattend:**

Materiaal dat wordt gewonnen op de buitendelta en gesuppleerd ten noorden van strandpaal 11 tot 14, wordt onttrokken wordt aan het zanddelend systeem van het Zeegat van Texel. Dit heeft mogelijk kustlijnachteruitgang in andere delen van het zanddelend systeem tot gevolg en wordt daarom ontraden. Bij het huidige beheer en bij alle onderzochte varianten worden de uitgaven afgeschreven over een periode van 4 jaar. De varianten N en O zijn beide duurder dan het huidige beleid. Varianten L en M zijn goedkoper dan het huidige beleid en leveren over een periode van 4 jaar een besparing op van k€ 1.449 (kfl 3.193), ten opzichte van het huidige beheer. Hierbij zijn de kosten voor de compensatie van het zandverlies van de buitendelta niet meegerekend. Wanneer de suppleties ten noorden van strandpaal 14 uitgevoerd worden met materiaal dat wordt gewonnen buiten de -20 m waterlijn levert dit over een periode van 4 jaar een besparing op van k€ 0.225 (kfl 0.496).

De Noorderhaaks en het gebied eromheen hebben belangrijke ecologische functies. Het gebied valt onder de Habitat- en Vogelrichtlijn. Hierdoor gelden voor het gebied dezelfde afwegingscriteria bij voorstellen voor ingrepen als voor de Waddenzee. Het Molengat heeft een duidelijke functie voor de scheepvaart, maar er is een bevaarbare alternatieve route. Toch zal een versneld verdwijnen van het Molengat op weerstand stuiten bij de scheepvaart. De voorgestelde beheersvarianten hebben geen van alle grote gevolgen voor de recreatie. Het materiaal dat verkregen wordt met baggeren op de Noorderhaaks en bij baggeren langs de westrand van het Molengat is hoogstwaarschijnlijk geschikt voor het uitvoeren van suppleties.



## 7 Onvoorziene effecten

---

Om tot een goede afweging te komen over het wel of niet uitvoeren van een ingreep is niet alleen een morfologische voorspelling nodig. Het is ook van belang om te weten wat de beperkingen van onze kennis zijn. In de eerste plaats moeten we weten waardoor de veranderingen in de kust erosie veroorzaakt worden. Voor een duurzaam kustbeheer is het verder van belang om de consequenties van (niet voorspelde) ontwikkelingen van de beheersingrepen op het zuidelijke deel van de buitendelta onder ogen te zien.

### 7.1 De strandhoofden bij zuidwest Texel beperken de erosie.

In 1955 is op zuidwest Texel begonnen met de bouw van strandhoofden van RSP 9 tot 18, waarvan de laatste in 1987 is aangelegd. De strandhoofden zijn aangelegd met de kop op de laagwaterlijn en verlengd naar achteren, tijdens de doorgaande erosie. Dit betekent dat de strandhoofden pas na enige tijd actief werden als middel om erosie tegen te gaan (Ringma, 1954, Rakhorst, 1984). De aanleg van de strandhoofden heeft een duidelijk positief effect gehad op het terugdringen van de erosie in het gebied (Brolsma e.a., 1981, Elorche, 1982, Rakhorst, 1984). De strandhoofden beperken de erosie door het brandingstransport en hebben mogelijk ook een positieve invloed op het beperken van transport door eb- en vloedstroming. De strandhoofden hebben slechts een beperkt effect op het naar de kust verplaatsen van het Molengat. Dit wordt namelijk veroorzaakt door het zandtransport vanaf de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks naar de het oosten en hier oefenen de strandhoofden geen invloed op uit.

### 7.2 Het huidige beleid van suppleren is effectief

Zowel in 1997 als in 2000 is op de zuidwest van Texel een zandsuppletie uitgevoerd. De evaluatie van het suppletiebeleid (Roelse e.a., in voorbereiding) laat zien dat momenteel de MKL zeewaarts van de BKL blijft in het kustvak van strandpaal 9 tot 18 (figuur 4) en er kan dus geconcludeerd worden dat het suppletiebeleid effectief is. De afname van het zandvolume in het kustvak is omgebogen van een doorgaande afname in een stabiele situatie (figuur 3). De prijs van het opgebrachte zand en de levensduur van de suppletie bepalen de kosten voor deze vorm van beheer.

Het is onduidelijk wat de effecten van suppleties zijn op het Molengat. Een deel van het gesuppleerde zand zal ten goede komen aan het gebied ten zuiden van de suppleties en daarmee ook het gedrag van het Molengat beïnvloeden. Bij voldoende aanvoer van zand wordt de zanddruk op het Molengat mogelijk zo groot dat het verzandt. Een voldoende grote suppletie, waarbij zand van buiten de buitendelta (winning beneden de -20 m NAP) in het systeem wordt gebracht, zou wel eens kunnen leiden tot een versnelde verheling van de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks met de kust van Texel.

### 7.3 Wat is de oorzaak van de afname van de erosie in de jaren '90 ?

Een groot deel van de aandacht voor de erosieproblematiek van zuidwest Texel is gebaseerd op de observaties van de erosie in de jaren '70 en '80 (Rakhorst 1989). Sindsdien is er echter een trendbreuk opgetreden in de snelheid van de erosie. Sinds het begin van de jaren



'90 gaat de kust een factor 2 á 3 minder sneller achteruit (Steijn, 1997b). Hierbij moet worden aangetekend dat, na correctie voor het suppletievolume, de afname van het zandvolume in het kustvak na 1993 doorgaat met de negatieve trend van voor 1990 (figuur 3, Walhout e.a., 2000).

De oorzaak van de trendbreuk vanaf begin jaren '90, vóór de aanvang van de suppleties, is onbekend. Door Mart Zijm van de dienstkring Texel (persoonlijke mededeling) werd gesuggereerd dat er een verband zou kunnen zijn met het beëindigen van de grootschalige zandwinning in de westelijke Waddenzee eind jaren '80 en met het gereedkomen van de strandhoofden in 1987. Daarnaast kan verondersteld worden dat de erosie in het gebied beïnvloed wordt door de aanvoer van zand van de Noordelijke uitlopers in zandgolven. Dit verheelproces zou op een tijd- en ruimteschaal gebeuren die veel kleiner is dan die van het verheelen van de gehele zandplaten (Onrust, Noorderhaaks) met eiland.

Aanwijzingen voor dit soort processen zijn onder andere te vinden in de erosie-sedimentatie grafieken van de zuidwestkust van Texel voor de periode 1960-1970 en 1970-1980 (o.a. Elorche, 1982).

Onderzoek naar de oorzaken van de trendbreuk zijn belangrijk, omdat deze op langere termijn bepalend zijn voor de uitvoering van kustlijnhandhaving. Aanpassing aan lokale variabiliteit past binnen het beleid van de 3e kustnota ("Lokaal maatwerk bij vaststellen basiskustlijn", pag 28 en "Van raai naar vak", pag 59, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2001), waarin gesteld wordt dat rekening moet worden gehouden met cyclisch gedrag van de kust waar dat kan.

#### **7.4 Hebben geulverruiming en geulverplaatsing averechtse effecten op de kustontwikkeling ?**

In de natuurlijke ontwikkeling van de buitendelta van het Zeegat van Texel verheelen iedere 100 á 150 jaar zandplaten aan de kust (Beckerling Vinkers, 1951, Battjes, 1961, Joustra 1971, de Reus, 1980, Sha, 1990).

De verheling van de platen vergoot het volume zand in de kustzone plotsklaps, waardoor gedurende enige tijd de kustachteruitgang afneemt en zelfs kan omslaan in uitbouw.

De verwachting is dat ergens in de komende 50 jaar de uitlopers van de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks zullen aanlanden. Mogelijk verheelt in deze periode ook de Noorderhaaks zelf met de kust van Texel. Overigens is het doortrekken van de historische ontwikkelingen naar de toekomst niet geheel valide, omdat de aanleg van Afsluitdijk grote permanente veranderingen van de grootte, vorm en oriëntatie van de buitendelta van het Zeegat van Texel heeft veroorzaakt (van Marion, 1999). Toekomstige verhelings van zandplaten met de kust van Texel zouden hierdoor anders kunnen verlopen of geheel uitblijven.

Volgens de modelvoorspellingen zijn de gevolgen van het baggeren van een alternatieve geul over de Noorderhaaks en van het baggeren in het Molengat na 3 jaar grotendeels verdwenen. Maar omdat er geen kwantitatieve (of kwalitatieve) schatting is van de betrouwbaarheid van de modelvoorspellingen kunnen we niet klakkeloos uitgaan van deze uitkomst. Het is niet ondenkbaar dat de geulverruiming van beheersvariant L leidt tot een permanente vergroting van de water aan- en afvoer door het Molengat en dat het aanleggen van een alternatieve geul in varianten M, N en O leidt tot een permanente geul over de Noorderhaaks, die niet verzandt.

De beide geschetste ontwikkelingen hebben mogelijk minder gewenste gevolgen voor de lange termijn ontwikkeling van de kust en de buitendelta. Een permanente vergroting van het debiet van het Molengat zal de verheling van de Noorderhaaks remmen. Dit betekent dus dat de plotselinge toename van het zandvolume van de kust langer op zich laat wachten. Een permanente ontwikkeling van de alternatieve

geul zal leiden tot een vermindering van het debiet van het Molengat, waardoor de Noordelijke uitlopers verhelen met de kust. Dit heeft een positief effect op het sedimentvolume van de kust. Echter, de permanente aanwezigheid van de alternatieve geul verhindert dat het zuidelijke deel van de Noorderhaaks met de kust verheelt. De verwachte natuurlijke verheling van de Noorderhaaks wordt door de ingreep in twee delen gesplitst: de Noordelijke uitlopers verhelen versneld met de kust en het zuidelijke deel van de Noorderhaaks verheeld vertraagd. De ingreep heeft dan op langere termijn negatieve gevolgen voor het sedimentvolume van de kust.

#### **Samenvattend**

Het huidige beleid van suppleren en dynamisch handhaven houdt de MKL zeewaarts van de BKL en stabiliseert het zandvolume in het kustvak. De gevolgen van de suppleties voor de ontwikkeling van het Molengat zijn onbekend. Mogelijk versnellen de suppleties de verheling van de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks met zuidwest Texel. Om een goede afweging te maken bij de uitvoering van het lange termijn kustbeheer van zuidwest Texel is het belangrijk om de variaties in de erosiesnelheden die zich voordoen over periodes van tien tot twintig jaar te herkennen en te begrijpen.

Als het Molengat onvoorzien meer water aan en af gaat voeren door een ingreep in de geul, kan dit de verheling van de Noorderhaaks met de kust afremmen. Door een dergelijke onvoorziene ontwikkeling wordt de natuurlijke aanzanding uitgesteld. Als een gebaggerde alternatieve geul de rol van het Molengat overneemt versnelt de verheling van de Noordelijke uitlopers, maar beperkt het de mogelijke volledige verheling van de Noorderhaaks. Hierdoor worden op langere termijn de positieve gevolgen van de mogelijke verheling van de gehele Noorderhaaks uitgesteld.



## 8 Een suppletie in het Molengat als reëel alternatief ?

---

In het kader van het duurzaam kustbeleid wordt met ingang van 2001 ook het zandverlies op dieper water (tot de -20 m waterlijn) gecompenseerd (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2001). Met het compenseren van het zandverlies op dieper water wordt de veerkracht van de kust op langere termijn gehandhaafd. Het zandverlies wordt aangevuld binnen de deelsystemen van de kust waar, na aanvulling van het zandverlies in de ondiepe kustzone, een negatief saldo overblijft op de langjarige zandbalans (Mulder 2001).

Mulder (2001) presenteert het zandverlies van de gehele kustzone en de deelsystemen van de Nederlandse kust. Voor het Marsdiep deelsysteem, dat zowel de kust aan de kop van Noord-Holland, als de zuidwest kust van Texel omvat, wordt een zandvraag van  $3.20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  per jaar verwacht (bij een gelijkblijvende snelheid van zeespiegelstijging van 20 cm/eeuw). Wanneer de snelheid van zeespiegelstijging in de toekomst stijgt, wordt het zandverlies in het Marsdiep deelsysteem groter. In het Marsdiep deelsysteem wordt in de toekomst waarschijnlijk  $1.09 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  zand per jaar gesuppleerd in de ondiepe kustzone. Ter compensatie van het zandverlies is dan nog tenminste  $2.11 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  zand per jaar nodig in het Marsdiep deelsysteem. Aanbevolen wordt om de compensatie van het zandverlies op dieper water zó uit te voeren dat natuurlijke processen het zand herverdelen in de kustzone, waarbij het niet zand niet te diep (dieper dan -8 m NAP) wordt aangebracht (Mulder, 2001). Overwogen kan worden om een deel van deze compensatie uit te voeren door middel van een suppletie in het noordelijke deel van het Molengat. Het doel van een dergelijke suppletie is het versnellen van de verhelung van de Noordelijke uilopers van de Noorderhaaks met de zuidwestkust van Texel. Een deel van het gesuppleerde materiaal zal ten goede komen ten goede aan het erosieve kustvak en het zandverlies van het Marsdiep deelsysteem wordt gecompenseerd. Deze beheersvariant kent geen ingegrepen in de Noordelijke uitlopers. Omdat de suppletie onder water uitgevoerd kan worden, kunnen de kosten beperkt blijven. Compensatie van het zandverlies van het Marsdiep deelsysteem past binnen het huidige kustbeleid. Deze manier van kustbeheer verdient aanbeveling boven de eerder voorgestelde beheersvarianten.



## 9 Conclusies

---

De kust van zuidwest Texel is al decennia aan erosie onderhevig. De aanleg van strandhoofden vanaf de jaren '50 heeft de achteruitgang van de kust verminderd. Vanaf 1990 wordt het zandvolume in het kustvak op peil gehouden met strandsuppleties. Door de strandsuppleties wordt het verlies aan geërodeerd zand gecompenseerd en blijft het zandvolume in de kustzone tegenwoordig constant. Ingrepen in de kustzone, waardoor over een langere termijn de zandsuppleties beperkt zouden kunnen worden, zijn mogelijk een alternatief voor het huidige beheer met suppleties. Hiervoor zijn eind jaren negentig vier innovatieve ingrepen voorgesteld:

- 1) Het Molengat aan de westzijde verruimen en met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren van strandpaal 9 tot 18.
- 2) Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks en met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren.
- 3) Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks en met het vrijgekomen zand een drempel in het noordelijke eind van het Molengat aanleggen.
- 4) Een alternatieve geul baggeren door de Noorderhaaks, met het vrijgekomen zand een suppletie uitvoeren en het Molengat afsluiten met een dam.

De morfologische effecten van deze innovatieve ingrepen zijn onder andere bestudeerd met een morfologisch procesmodel (Delft 3-D MOR). De modelstudies laten zien dat geen van de voorgestelde innovatieve ingrepen leidt tot een versnelde aanlanding van de Noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks met de zuidwestkust van Texel. Ook de afname van de erosie door het verminderen van de druk op de kust van het Molengat is bij alle ingrepen beperkt. Geen van de beheersingrepen leidt tot een structurele vermindering van de erosie van de kust van zuidwest Texel. Ook bij het uitvoeren van deze alternatieve beheersingrepen blijft het in de toekomst nodig regelmatig zandsuppleties uit te voeren om zandverlies in de kustzone te compenseren. Op morfologische gronden moet worden geadviseerd geen van deze alternatieve beheersingrepen uit te voeren. Ook op grond van de ecologische functies van de Noorderhaaks en de scheepvaart functies van het Molengat moet worden geadviseerd geen van de alternatieve beheersingrepen uit te voeren.

Zand dat op de buitendelta gewonnen wordt en ten noorden van strandpaal 14 gesuppleerd wordt zal naar het noordoosten langs de eilandkust getransporteerd worden. Dit zand wordt dus onttrokken aan de buitendelta en dit leidt elders in het zanddelend kuststelsel van de buitendelta tot kustachteruitgang. Op grond hiervan wordt geadviseerd dat suppleties met op de buitendelta gewonnen zand niet noordelijker dan strandpaal 14 worden uitgevoerd.

Omdat de voorgestelde ingrepen niet leiden tot een structurele vermindering van de erosie zijn de financiële voordelen beperkt. Voorgestelde ingrepen 3 en 4 zijn duurder dan de huidige vorm van beheer met strandsuppleties. De voorgestelde ingrepen 1 en 2 leiden in vergelijking met het voortzetten van het huidige beheer tot lagere kosten van € 1.5 miljoen (kfl 3.200) over een periode van 4 jaar.

Wanneer materiaal dat gewonnen is op de buitendelta niet noordelijker gesuppleerd wordt dan strandpaal 14, vallen de besparingen in de uitvoering vrijwel geheel weg tegen de meerkosten in het voortraject. In het kader van het duurzaam kustbeleid wordt vanaf 2001 ook het zandverlies op dieper water gecompenseerd. Overwogen kan worden om deze compensatie uit te voeren als een suppletie in het noordelijke deel van het Molengat.

## Verantwoording

---

Dit rapport is geschreven in het kader van Kust\*2000 programma, in opdracht van RWS Directie Noord Holland. Lia Walburg heeft een aantal figuren en data aangeleverd. Commentaar en correcties op eerdere versies van het rapport kwamen van Daan Dunsbergen, Dick Rakhorst en Leo Uit den Bogaard. Mart Zijm en Giel Witte hebben nuttige aanvullingen geleverd op dit rapport. Jan Mulder heeft het advies van commentaar voorzien. De kwaliteitscontrole van dit rapport is uitgevoerd door Co van de Kreeke. Iedereen die een bijdrage aan het rapport heeft geleverd wordt hiervoor hartelijk bedankt.





## Referenties

---

- Battjes, J.A., 1961, Studie Zeegat van Texel: hoofdontwerp hydraulica, Rijkswaterstaat, Studiedienst Hoorn, Nota 62.4 , Studieverlag Technische Hogeschool te Delft, Algemene Waterbouwkunde, 64 pag.
- Beckering Vinkers, J.A., 1951, Zeegat van Texel, Rijkswaterstaat, Studiedienst Hoorn, Nota 51.1, 135 pag. 41 bijlagen.
- Bijker, E.W., 1971, Longshore transport computations, Journal of Waterways, Harbours en Coastal Engineering Division, ASCE, 97, WW4, pag. 687-701.
- Brolsma, P., M. Elorche en E.R.F. van der Goes, 1981, De kustontwikkeling van Texel voor de nulvariant, Rijkswaterstaat, adviesdienst Hoorn, Nota WWKZ-81.H017, 18 pag. 27 bijlagen.
- Elorche, M, 1982, De kustontwikkeling van Texel, Rijkswaterstaat, adviesdienst Hoorn, Nota WWZ-82.H011, 25 pag., 36 bijlagen.
- Hartsuiker, G., G. van Holland en R.C. Steijn, 1998, Aanvullende gevoeligheidsonderzoek ZW- Texel, rapport samenwerkingsverband Alkyon/WL|Delft Hydraulics A266/Z2430, 21 pag., 11 tab., 83 fig.
- Joustra, D. S., 1971, Geulbeweging in de buitendelta's van de Waddenzee, Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Afdeling Kustonderzoek, Den Haag , studierapport WWK 71-14, 27 pag., 21 bijlagen.
- Louters, T, en F. Gerritsen, 1994, Met mysterie van de wadden; Hoe een getijde systeem inspeelt op de zeespiegelstijging, Rijkswaterstaat RIKZ, rapport RIKZ-94.040, 69 pag.
- Marion, B.B. van, 1999, Zandbalans van het Zeegat van Texel met het Inverse Sediment Transport Model (1931 tot 1997), Rijkswaterstaat RIKZ, werkdocument RIKZ/OS/-99.116x, 71 pag. en appendix.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1989, Kustverdediging na 1990, discussienota, 83 pag.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995, Kustbalans, 2e Kustnota, 49 pag.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2001, Traditie, Trends en Toekomst, 3e Kustnota, 120 pag.
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en Milieu, 2001, Derde Nota Waddenzee, Ontwerp planologische kernbeslissing en Nota van toelichting, 120 pag.
- Mulder, J.P.M., 2000, Zandverliezen in het Nederlandse kuststelsel, Rijkswaterstaat RIKZ, rapport RIKZ/2000.36, 54 pag.
- Postma, H., 1954, Hydrography of the Dutch Wadden Sea, Arch. Neerl. Zool. 10, pag. 405-511.
- Rakhorst, H.D., 1979, Kustverdediging Texel, informatie t.b.v. projectplan KUSTEX, aantekeningen met betrekking tot de werking van strandhoofden, Rijkswaterstaat, adviesdienst Hoorn, Interne Notitie WWKZ-79.H244, 42 pag., 22 bijlagen.
- Rakhorst, H.D., 1983, Plan afsluiting Molengat: een globale beschouwing, Rijkswaterstaat, adviesdienst Hoorn, Nota WWKZ-83.H230, 15 pag., 6 bijlagen.

- Rakhorst, H.D., 1984, Werking strandhoofden Noord-Holland, Texel, Vlieland, Rijkswaterstaat, adviesdienst Hoorn, Nota WWKZ-84.H007, 15 pag., 16 bijlagen.
- Rakhorst, H.D., 1989, De kust van Noord-Holland en Texel - Ontwikkeling en voorspelling, beschrijving van methoden en resultaten, deelrapport 2.3 van Kustverdediging na 1990, Technisch Rapport 5, Kustvoorspelling, Rijkswaterstaat, Directie Noord-Holland, Nota 88.ANP.014, 67 pag.
- Reus, J.H. de, 1985, Ontwikkeling Noorderhaaks, Rijkswaterstaat, adviesdienst Hoorn, Notitie WWKZ-85.H209, 16 pag., 12 bijlagen.
- Reus, J.H. de, 1980, Ontwikkeling Zeegat van Texel, Rijkswaterstaat, adviesdienst Hoorn, Notitie WWKZ-80.H248, 21 pag., 17 bijlagen.
- Ringma, S.H., 1954, Verdediging Zuid-westkust Texel en waterwingebied Provinciaal Waterleidingbedrijf Noord-Holland, Rijkswaterstaat Hoorn, 13 pag., 12 fig.
- Roelse, P., R. Kalf, L. walburg, T. Walhout en L. Withagen, in voorbereiding, Evaluatie zandsuppleties na 1990, een morfologische beschouwing (werktitel: EvaZand), Rijkswaterstaat RIKZ, conceptrapport, 78 pag.
- Roelvink, J.R., G. van Holland en R.C. Steijn, 1998, Gevoeligheidsberekeningen Eijerland en ZW-Texel Fase I: Eijerland, rapport samenwerkingsverband Alkyon/WL|Delft Hydraulics A266/Z2430, 49 pag., 27 tab., 113 fig.
- Roelvink, J.R., 1999, Morfodynamic simulations of the tidal inlet "Zeegat van Ameland"; Report 1: Validation of Delft2D-MOR, rapport samenwerkingsverband Alkyon/WL|Delft Hydraulics A505/Z2731, 48 pag., 8 tab., 24 fig.
- Sha, L.P., 1990, Sedimentological studies of the ebb-tidal deltas along the West Frisian Islands, the Netherlands, Geologica Ultrajectina 64, Proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht, 160 pag.
- Steijn, R.C., 1997a, Getijrandvoorwaarden voor ZW-Texel studie, rapport Alkyon A078.15, 8 pag., 2 tab., 31 fig.
- Steijn, R.C., 1997b, Morfodynamische berekeningen ZW-Texel Fase I: Modelopzet en calibratie, rapport samenwerkingsverband Alkyon/WL|Delft Hydraulics A78/Z2175, 60 pag., 30 tab., 125 fig.
- Steijn, R.C., G.K.F.M. Banning en J.R. Roelvink, 1998, Gevoeligheidsberekeningen Eijerland en ZW-Texel Fase 2: ZW-Texel, rapport samenwerkingsverband Alkyon/WL|Delft Hydraulics A266/Z2430, 38 pag., 21 tab., 85 fig.
- Steijn, R.C. en C. Jeuken, 2000, Vier mogelijke beheersingrepen in het Zeegat van Texel - morfodynamische modelberekeningen, rapport samenwerkingsverband Alkyon/WL|Delft Hydraulics A514/Z2742, 68 pag., 15 tab., 146 fig.
- Stolk, A., 1989, Kustverdediging na 1990, Technisch Rapport 1, Zandsysteem Kust, een morfologische karakterisering, Rijkswaterstaat, 97 pag., 2 bijlagen.
- Veer, A. van der, 2001, Toetsing kustlijn 2001 van Noord-Holland, met beschouwing van het kustgedrag tot 2001 en planning kustonderhoud 2001-2010 en onderzoeksvragen, Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland, NH-ANV-2001-Nota 01, 39 pag., 4 bijlagen.

- Walhout, T., R. Kalf, L. Walburg, G. Snijders, P. van Vessem en P. Roelse, 2000, Evaluatie zandsuppleties na 1990, Rijkswaterstaat RIKZ, werkdocument RIKZ/AB/2000.824x, 80 pag., 6 bijlagen en appendix.
- Waterloopkundig laboratorium, 1996, Kust\*2000 definitiestudie: Zuidwest Texel (no 5), Waterloopkundig laboratorium | WL, H2482.20, 34 pag., 10 fig., 6 bijlagen.