

# Een verkenningswandeling langs zee

de morfologische effecten van een vliegveld in zee

november 1999

# Een verkenningwandeling langs zee

de morfologische effecten van een vliegveld in zee

november 1999

Opgesteld door het Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor  
Kust en Zee

---

# INHOUDSOPGAVE

1 Inleiding .....	5
1.1 Inleiding .....	5
1.2 Doelstelling thema Kust en Zee .....	5
1.3 Doelstelling integrale EMA-rapportage .....	6
1.4 Afbakening rapport morfologische effecten en verantwoording .....	6
1.5 Aanpak .....	6
2 Uitgangspunten .....	8
2.1 Beleid ten aanzien van kust en zee .....	8
2.2 Locaties en varianten .....	8
2.3 Beoordelingsmatrix .....	9
3 Effecten op functies en locaties .....	12
3.1 Algemeen .....	12
3.2 Hydraulisch en morfologisch invloedsgedebied .....	12
3.3 Kustveiligheid .....	13
3.3.1 Hydraulische randvoorwaarden (belasting) .....	13
3.3.1.1 astronomisch getij .....	13
3.3.1.2 stroomsnelheid en stroomrichting .....	14
3.3.1.3 reststroming .....	15
3.3.1.4 windgolven en deiningsklimaat .....	15
3.3.1.5 ontwerppeil en opstuwing .....	16
3.3.1.6 golfopzet .....	17
3.3.2 Morfologie (sterkte) .....	17
3.3.2.1 locale effecten op diep water .....	19
3.3.2.2 effecten op grotere afstand op diep water .....	19
3.3.2.3 effecten op huidige kustlijn .....	21
3.3.2.4 zandtransporten .....	22
3.3.2.5 zandbalans .....	23
3.3.3 Conclusies kustveiligheid .....	24
3.4 Kustlijnhandhaving en Veerkracht .....	25
3.4.1 kustlijnhandhaving .....	25
3.4.2 zand tekort diep water .....	26
3.4.3 veerkracht .....	26
3.5 Recreatie .....	27
3.5.1 stromingspatroon .....	27
3.5.2 brandingsenergie .....	27
3.5.3 strandbreedte .....	27
3.5.4 sedimentsamenstelling .....	28
3.6 Scheepvaart .....	28
3.6.1 stroomsnelheid .....	28
3.6.2 golfhoogte .....	28
3.6.3 seiches .....	29
3.6.4 aanzanding vaargeul .....	29
3.7 Kabels en leidingen .....	29
3.8 Effecten ten aanzien van ecologie .....	30
3.8.1 waterbeweging .....	30
3.8.2 kustzone .....	30
3.8.3 strand en duinen .....	31
3.8.4 Waddenzee .....	32
3.9 Onzekerheidsmarges .....	33
4 Conclusies .....	35
4.1 Algemeen .....	35
4.2 Kustveiligheid .....	35
4.2.1 Belasting; effect van ontwerp-peilen .....	35
4.2.2 Sterkte; effect van morfologische veranderingen .....	35
4.3 Kustlijnhandhaving .....	36
4.3.1 Effecten op kustlijnhandhaving .....	36
4.4 Veerkracht .....	36
4.4.1 Effecten op veerkracht .....	37
4.5 Conclusies Kustveiligheid, Kustlijnhandhaving en Veerkracht .....	37
4.6 Recreatie .....	39
4.6.1 Conclusies recreatie .....	40
4.7 Onderhoud van de vaargeulen .....	40
4.7.1 Conclusies onderhoud van de vaargeulen .....	41
4.8 Ecologie van strand en duinen .....	41

---

4.8.1 Conclusies ecologie van strand en duinen.....	42
4.9 Waddenzee .....	42
4.10 Conclusies ten behoeve van mogelijke trechtering van varianten .....	42
4.11 Compenseren maatregelen.....	43
4.12 Potenties.....	44
4.13 Aanbevelingen .....	44
5 Referenties .....	48

#### LIJST MET TABELLEN

Tabel 2.1 Overzicht parameters binnen zoekruimte .....	8
Tabel 2.2 Beoordelingsmatrix varianten per gebruiksfunctie en (sub)parameter.....	53
Tabel 3.1 Procentuele verandering golfparameters noordwest, ondiep water (Jacobse, 1999) .....	54
Tabel 3.2 Procentuele verandering golfparameters zuidwest, ondiep water (Jacobse, 1999) .....	54
Tabel 3.3 Schatting golfgedreven langstransporten Noordwijk, inclusief poriën (Bliek, 1999).....	54
Tabel 3.4 Jaarlijks gemiddelde volumeveranderingen, inclusief suppleties, voor verschillende zones in periode 1964-1992 (Van Rijn, 1995).....	54
Tabel 4.1 Conclusies m.b.t. veiligheid tegen overstromen .....	37
Tabel 4.2 Conclusies m.b.t. kustlijnhandhaving .....	37
Tabel 4.3 Conclusies m.b.t. veerkracht .....	38
Tabel 4.4 Conclusies m.b.t. recreatie .....	40
Tabel 4.5 Conclusies m.b.t. onderhoud havens en vaargeulen.....	41
Tabel 4.6 Conclusies m.b.t. ecologie van strand en duinen .....	42

---

## LIJST MET FIGUREN

Figuur 2.1 Ligging en opbouw variant .....	55
Figuur 3.1 Hydraulisch invloedsgebied .....	56
Figuur 3.2 Relatieve verandering stroomsnelheden in de bodemlaag tijdens vloed .....	57
Figuur 3.3 Verschil golfhoogte huidige situatie en damvariant; ONL0-ONL2 (Jacobse, 1999) .....	58
Figuur 3.4 Verschil golfhoogte huidige situatie en eilandvariant; ONL0-ONL4 (Jacobse, 1999) .....	59
Figuur 3.5 Relatieve verhoging van de waterstand tijdens een extreme NW- storm (ONL2-ONL1) .....	60
Figuur 3.6 Geomorfologische kaart van Noord- en Zuid-Holland.....	61
Figuur 3.7 Schematische weergave van de verwachte morfologische ontwikkelingen .....	62
Figuur 3.8 Vorming salient en tombolo.....	63
Figuur 3.9 Relatief effect aanleg eiland met tunnelverbinding, ONL3-ONL0 (Steetzel en de Vroeg, 1999) .....	64
Figuur 3.10 Relatief effect aanleg eiland met damverbinding, ONL2-ONL0 (Steetzel en de Vroeg, 1999) .....	64
Figuur 3.11 Relatief effect dam i.p.v. tunnelverbinding (Steetzel en de Vroeg, 1999).....	64
Figuur 3.12 Netto transporten op diep water en in de brandingszone (van Rijn, 1995).....	65
Figuur 3.13 Ligging kabels en leidingen Hollandse kust.....	66

---

---

# 1 Inleiding

---

## 1.1 Inleiding

Het kabinet heeft begin 1999 aangegeven dat de groei van het luchtverkeer mogelijk op een eiland in de Noordzee kan plaatsvinden. Het is zeker dat een eiland inclusief een verbinding met het vaste land gevolgen heeft voor de waterbeweging, het sedimenttransport (zand en slib) en de morfologische processen (sedimentatie en erosie) in het kuststelsel. Veranderingen in de waterbeweging zijn sturend voor de grootte en richting van het sedimenttransport. Zo zal door het veranderen van het zandtransport ook het sedimentatie-erosie patroon langs de kust wijzigen. Naast milieu-effecten heeft dit ook gevolgen voor gebruiksfuncties.

In het rapport "Landen op Zee 2" (Smit et al, 1998) is geconcludeerd dat een kunstmatig eiland in de Noordzee niet op voorhand onacceptabele morfologische en ecologische effecten zal veroorzaken en dat de effecten op het kustonderhoud beheersbaar zijn. Wel zijn er nog onzekerheden over de omvang en de uitstraling van de effecten. In het rapport is aangenomen dat het eiland door middel van een tunnel met het vaste land zal worden verbonden. De optie van een bovengrondse oeververbinding is destijds nog niet beschouwd. Dit terwijl met name een vaste bovengrondse verbinding een aanzienlijke invloed op het kustgedrag zal hebben. Gezien de dimensies van het eiland, inclusief de oeververbinding, wordt verwacht dat de invloed over een grote afstand merkbaar is en dat het enkele eeuwen duurt voordat op een natuurlijke wijze een nieuw dynamisch evenwicht (bijvoorbeeld in de ligging van de kustlijn) is bereikt.

Voor eind 1999 is het zogenaamde Eerste Moment van Afweging (EMA) gepland. Met betrekking tot het thema Kust en Zee zijn de volgende afwegingen voorzien:

- het nemen van een beslissing over het type verbinding tussen eiland en de Hollandse kust;
  - het inperken van het aantal varianten van en potentiële locaties voor het eiland.
- De afweging zal mede worden gebaseerd op de resultaten van de integrale EMA-rapportage die door het RIKZ wordt geschreven. Aansluitend op het EMA wordt gestreefd naar een Planologische KernBeslissing (PKB) Schiphol, een locatieMER (milieu-effectrapport) en een inrichtingsMER voor een vliegveld in zee.

Het onderzoek naar de effecten van een eiland op de kust en het zeesysteem (waterbeweging, morfologie en ecologie) wordt, in opdracht van de programmadirectie ONL (Ontwikkeling Nationale Luchthaven), uitgevoerd door het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ).

## 1.2 Doelstelling thema Kust en Zee

Het RIKZ richt zich op het onderzoek naar de effecten van een eiland op het kust- en zeesysteem. Hierbij worden twee hoofdvragen onderscheiden:

- wat zijn de veranderingen in de waterbeweging (getijstroming en golven), morfologie en stofstromen (zand, slib, larven en nutriënten) als gevolg van de eilandvarianten. Wat zijn de effecten van deze veranderingen voor de kustveiligheid, de kustlijnhandhaving, de veerkracht en gebruiksfuncties (recreatie, scheepvaart, onderhoud vaargeulen en havens en infrastructuur)? Ook de doorvertaling naar de ecologische gevolgen voor de kustzone, de Noordzee, de Waddenzee en de Voordelta en de beleving van de kustzone en de Noordzee is hierbij van belang.
- hoe kunnen de situering en vormgeving van het eiland bijdragen aan het minimaliseren van de effecten en aan het verbeteren van de toestand van kust en zee? Op deze wijze worden, vanuit "natte" effecten en potenties, maatregelen of oplossingen voor de vormgeving van een eiland aangedragen (bijvoorbeeld via de landwater overgang en via de waterkering). Essentieel voor deze onderzoekslijn is dat de effecten, gevolgen en potenties van een zeelocatie voor de vier waarden van kust en zee (veiligheid, natuur, ruimte en economie) in samenhang worden beschouwd.

Voor het EMA is voornamelijk de eerste vraag van belang.

---

### 1.3 Doelstelling integrale EMA -rapportage

Het RIKZ zal een rapport opstellen ten behoeve van het eerste moment van afweging (EMA). In dit rapport zal worden ingegaan op de effecten die de verschillende varianten van een eiland in zee hebben op het kust- en zeesysteem. Het gaat hierbij om varianten die op een afstand van 10-20 km van de kust zijn gelegen en om varianten die met de kust zijn verbonden door middel van een dam of dam met een kleine opening (een verdere uitwerking van de varianten is gegeven in paragraaf 2.2). Naar verwachting kunnen door deze varianten onwenselijke effecten optreden. Zowel inzicht in de omvang van de effecten als in de onzekerheden in de effectvoorspelling zijn van belang voor de keuze die het kabinet maakt in het betreffende beleidsrapport (EMA) over de (mogelijke) beperking van het aantal realistische varianten en of parameters (zie hoofdstuk 2).

Het RIKZ richt haar advies op de volgende hoofdvragen:

- Wat zijn de consequenties van de veranderingen in getijstroom en golven op de *kustveiligheid*?
- Wat zijn de consequenties van de veranderingen van de slibbalans enerzijds voor het *lichtklimaat en primaire produktie en de draagkracht van de Wadden- en Noordzee* en anderzijds voor de *aanslibbing van vaargeulen, havens en stranden*?
- Wat zijn de consequenties van de grootschalige morfologische veranderingen op de bodemfauna in de Noordzee, de strandbreedte, *kustlijnhandhaving* en *veerkracht*?
- Wat zijn de effecten op de *visfauna* als gevolg van effecten op paaiplaatsen, kinderkamers en het transport van vislarven?
- Wat zijn de consequenties op *trekvoegels en kust- en zeevogels* (mede in relatie tot vliegveiligheid)?
- Wat zijn de consequenties van de veranderingen in landschap en rust op de *beleving van kust en zee*?

Het advies geeft inzicht in de omvang van de effecten die door verschillende varianten van een vliegveld in zee kunnen optreden en de mate van de onzekerheden daarin.

Naast de algemene doelstelling levert het advies inzicht in eventuele kostenverhogende maatregelen, mogelijk ontbrekende kennis voor het meerjarig onderzoeksprogramma en informatie t.b.v. de richtlijnen voor het MER.

### 1.4 Afbakening rapport morfologische effecten en verantwoording

In dit rapport zijn de morfologische effecten beschreven die een viertal varianten van een vliegveld op zee hebben op verschillende gebruiksfuncties. De ecologische aspecten (o.a. het slib- en larvetransport) worden afzonderlijk gerapporteerd. Dit geldt ook voor het aspect beleving. Het rapport "Verkenning morfologische effecten" wordt onder andere gebruikt bij het opstellen van het EMA-rapport waarin alle aspecten van het thema kust en zee en een integrale afweging van de effecten zijn opgenomen.

De interactie tussen een eiland en een grootschalige zandwinning van circa 2 miljard m<sup>3</sup> wordt niet in deze verkennende fase onderzocht.

In een apart rapport zijn de effecten van een eiland ter hoogte van Egmond gerapporteerd (Mulder, 1999).

De aanleg van een eiland met de voorgestelde omvang is voor Nederland uniek. Om inzicht te geven in de effecten van het eiland op de morfologie van de kust is gebruik gemaakt van de kennis van deskundigen en enkele indicatieve modelberekeningen. Dit impliceert dat de onzekerheid in de voorspellingen groot is. Alleen met verder onderzoek en modelsimulaties kan deze onzekerheid worden verkleind.

### 1.5 Aanpak

Op basis van het besluitvormingstraject en de doelstelling is gekozen voor de volgende aanpak.

Het rapport "Verkenning morfologische effecten" is hoofdzakelijk gebaseerd op de mening van deskundigen (zie bijlage 1). Aan deze deskundigen is gevraagd om met de



---

huidige kennis een kwalitatieve en waar mogelijk een kwantitatieve inschatting te maken van de effecten van een eiland volgens een viertal varianten, op de waterbeweging en de morfologie van het Nederlandse kuststelsel. Deze inschatting is gemaakt aan de hand van de beoordelingsmatrix uit paragraaf 2.3.

Bij het invullen van matrix zijn door de deskundigen de volgende vragen als leidraad gehanteerd:

- wordt de betreffende parameter beïnvloed;
- zo ja, in welke mate / zo nee, waarom niet;
- wat is het belang van het effect;
- wat zijn de verschillen tussen de varianten.

De antwoorden zijn zoveel mogelijk met argumenten onderbouwd. Aan de deskundigen is niet gevraagd om aanvullende onderzoek te verrichten. Dit was laatste was overigens, gezien de korte tijd waarbinnen het rapport moest worden opgesteld, ook niet mogelijk.

Ter afsluiting is de deskundigen gevraagd de volgende concluderende vragen te beantwoorden:

- wat zijn de mogelijkheden om de negatieve effecten te beheersen of te compenseren?
- welke potenties kunnen worden benut?
- wat zijn de onzekerheidsmarges (waarde van de voorspelling)?
- welke relevante vragen zijn nog niet gesteld?

Het RIKZ heeft ter ondersteuning van de deskundigen een aantal getij- en golfberekeningen uitgevoerd. De resultaten van deze berekeningen zijn vooraf aan de deskundigen ter beschikking gesteld.

Alle informatie is door het RIKZ gebundeld in een conceptversie van dit rapport. Dit concept is vervolgens met de in bijlage 1 genoemde deskundigen besproken in een workshop. Een centrale vraag op de workshop was of de deskundigen met hun specifieke kennis het eens zijn met de getrokken conclusies. Hierbij is niet gestreefd naar een gemeenschappelijke mening. Geconstateerde meningsverschillen zijn in dit werkdocument opgenomen en in een aanbeveling voor nader onderzoek verwoord. Naast de inbreng van deskundigen zijn op de workshop ook de eerste resultaten van verkennende kustlijn berekeningen met het PonTos-model gepresenteerd. Met deze berekeningen is het mogelijk om de effecten van een eiland op de ligging van de kustlijn, c.q. het onderhoud van de kustlijn, te kwantificeren.

Het resultaat van de bovenstaande werkwijze is het voorliggende rapport: "Een verkenningswandeling langs zee; de morfologische effecten van een vliegveld in zee".

Andere rapporten waarvan de belangrijkste resultaten en conclusies zijn opgenomen in het onderliggende rapport, zijn:

- werkdocument met de titel: "Golfberekeningen eiland in zee" (Jacobse, 1999);
- een modelsimulatie waarin het effect van een eiland op de verhoging van de basispeilen tijdens een extreme storm is berekend;
- rapport met analyse en interpretatie van kustlijn berekeningen (PonTos) om effecten op de ligging van de kustlijn en kustlijnonderhoud te kwantificeren (Steetzel en de Vroeg, 1999).

---

## 2 Uitgangspunten

---

### 2.1 Beleid ten aanzien van kust en zee

Hoofddoelstelling van het kustbeleid is het handhaven van de veiligheid van het achterliggende land tegen overstromingen, gecombineerd met behoud, en waar mogelijk vergroting van de ruimte voor natuurlijke processen. Daarmee behoudt de kust haar kenmerkend uiterlijk en wordt ruimte geboden aan versterking van natuur- en landschapswaarden.

Het kustbeleid is verwoord in de Kustnota's van 1990 en 1995. Het beleid is sinds 1990 gericht op dynamisch handhaven van de kustlijn. Hierbij worden natuurlijke processen zo min mogelijk belemmerd en wordt er alleen ingegrepen wanneer land blijvend verloren dreigt te gaan. Kustuitbreidingsplannen zijn in het beleid inpasbaar, maar niet overal en onvoorwaardelijk. Eventueel schadelijke effecten moeten beheersbaar zijn.

#### *Kustlijnhandhaving*

Bij het huidige beleid van dynamisch handhaven van de kustlijn wordt ingegrepen op die plaatsen waar structurele erosie plaats vindt. Het zandtekort wordt dan aangevuld door middel van suppleties. Voor de bepaling van waar gesuppleerd gaat worden is primair de basiskustlijn (BKL) van belang, welke wordt bepaald door de zandinhoud van strand (en duinen) en de ondiepe vooroever. Veranderingen van de diepere oever kunnen op langere termijn van belang zijn voor de handhaving van de kust. Vanaf 2000 zullen daarom ook zandverliezen op dieper water gecompenseerd worden door middel van suppleties.

#### *Veiligheid tegen overstromen*

In de Wet op de Waterkering zijn de veiligheidsnormen tegen overstroming gegeven. Voor elke dijkkring is een veiligheidsnorm vastgelegd. De vereiste veiligheid voor de bescherming tegen hoog water wordt uitgedrukt in een overschrijdingskans van het ontwerp-peil. Eens in de vijf jaar worden de waterkeringen door de beheerders getoetst aan de geldende veiligheidsnormen.

### 2.2 Locaties en varianten

Door de opdrachtgever is gevraagd om van verschillende varianten van een vliegveld op zee te bestuderen. Deze varianten zijn gebaseerd op de parameters: positie ten opzichte van de kustlijn, afmeting en vorm van het eiland en het type verbindingen tussen het eiland en de huidige kustlijn. Deze parameters bepalen met name de omvang van de morfologische effecten die kunnen optreden direct na de bouw van het eiland. Een overzicht van de parameters is gegeven in tabel 2.1.

---

Tabel 2.1 Overzicht parameters binnen zoekruimte

parameter	extreem	gemiddeld	extreem
positie kustlangs	Scheveningen	Noordwijk	IJmuiden
positie kustdwars	10 km	20 km	30 km
afmeting	3500 ha	8500 ha	12000 ha
vorm	boemerang	delta	ruit
oeververbinding	tunnel	gedeeltelijk open	gesloten dam

Op basis van de vijf parameters is een groot aantal varianten mogelijk. Om binnen de beschikbare tijd indicatieve modelberekeningen te kunnen uitvoeren en uitspraken over de effecten te kunnen doen, is een beperkt aantal varianten gekozen. Deze zijn zo gekozen dat er uitspraken gedaan kunnen worden over het beperken van het aantal variabelen en om aan te geven of er varianten zijn waarvan de effecten niet aanvaardbaar worden geacht. Op basis van de uitspraken kan bijvoorbeeld het zoekgebied voor een eiland worden verkleind. Dit is belangrijk voor een volgende fase van het onderzoek.

In dit rapport zijn de volgende varianten beschouwd (figuur 2.1):

- huidige situatie zonder eiland of oeververbinding (ONL 0);

- ruitvormig eiland van 8500 ha met het middelpunt van het eiland op 20 km van de kust met gedeeltelijk open oeververbinding haaks op de huidige kustlijn (ONL 1);
- ruitvormig eiland van 8500 ha met het middelpunt van het eiland op 20 km van de kust met een volledig gesloten dam (ONL 2);
- ruitvormig eiland van 8500 ha met het middelpunt van het eiland op 20 km van de kust met een in de zeebodem verzonken tunnel tussen het eiland en de huidige kust (ONL 3);
- ruitvormig eiland van 8500 ha waarvan de oostgrens is gelegen op 10 km van de kust met een in de zeebodem verzonken tunnel (ONL 4).

Bij het onderzoek is uitgegaan van een ruitvormig eiland met een grootte van zo'n 85 km<sup>2</sup>. Dit betekent een kustlangs gemeten lengte van circa 12 km en een breedte van circa 8 km. In alle gevallen ligt het eiland op hoogte van Noordwijk (Rijksstrandpaal 81). Op 20 km uit de kust is de waterdiepte 20 m; op 10 km circa 15 m. Voor een eiland met een oppervlak van 85 km<sup>2</sup> is op deze diepten 1,3 tot 1,7 miljard m<sup>3</sup> zand nodig is. Deze schatting is exclusief de zeewering en een ophoging tot boven NAP.

In het waterbewegingsmodel en het golvenmodel is het eiland niet exact volgens de bovenstaande maatvoering opgenomen. De schematisatie is namelijk een compromis tussen enerzijds de grote van het rekenrooster en de ligging van de roosterpunten en anderzijds de vorm en het oppervlak van het eiland. Zo heeft het eiland in het waterbewegingsmodel een oppervlak van circa 56 km<sup>2</sup>. Dit kleinere oppervlak leidt tot een onderschatting van de effecten zoals beschreven in dit rapport. Gezien de relatief grote mate van onzekerheid in de getallen die in dit rapport zijn genoemd, zijn deze hiervoor niet gecorrigeerd.

Er zijn vele type oeververbindingen denkbaar. Een optie is bijvoorbeeld om het eiland met een dam aan de huidige kustlijn te verbinden. Dit kan een harde of een zachte dam zijn. Bij deze laatste optie wordt de dam volledig in zand uitgevoerd waardoor de meest natuurlijke inpassing in het kuststelsel wordt bereikt. Een korte toelichting op beide opties is gegeven door Stive (1999). Een dam kan ook gecombineerd worden met een getijdencentrale. Andere denkbare oeververbindingen, zoals een combinatie van dam met een tunnel dan wel brug, worden in dit werkdokument niet expliciet besproken.

De mogelijkheid van een *getijdencentrale* geïntegreerd in de oeververbinding wordt niet afzonderlijk onderzocht. Wel geeft de variant met een gedeeltelijk open verbinding tussen het eiland en het vaste land (ONL1) een eerste indruk van de te verwachten effecten. Deze werkwijze (benadering) is vooral ingegeven door de korte opleveringstijd van het rapport. De totale lengte gemeten dwars op de huidige kustlijn van het eiland met een dam bedraagt 24 km. Voor de opening in de dam (ONL1) is uitgegaan van een lengte van 1600 m. Het debiet door de opening is geschat op circa 36.000 m<sup>3</sup>/s. Deze waarde is gebaseerd op een gemiddelde waterdiepte van 15 m, een geschatte maximale stroomsnelheid van 1,5 m/s en een doorstroomoppervlak van 24.000 m<sup>2</sup>. Het debiet door de opening is circa 5% van het totale debiet dat zonder dam tussen het eiland en de kust zal passeren. De grootte van de opening is 100 m groter dan de opening die is gebruikt in de studie naar een "Actieve Getij Centrale" (Hartsuiker en Steijn, 1997).

De volgende overwegingen zijn gebruikt om de positie van de opening in de dam te bepalen:

- het waterstandsverschil is dichtbij de kust het grootst;
- het zandtransport in de actieve zone moet zo min mogelijk worden beïnvloed;
- er mogen geen grote erosiekuilen landwaarts van de NAP -15 m lijn ontstaan.

Er is voor gekozen om de opening zeewaarts van de NAP -15 m lijn te situeren.

Voor een eerste inschatting van de grootschalige effecten van een getijdencentrale lijkt de schematisatie tot één enkele opening correct. In werkelijkheid echter zullen de turbines met kleinere openingen op een regelmatige afstand los van elkaar te staan. Hierdoor zal de verandering van de waterbeweging kleiner zijn en over een groter gebied verspreid plaatsvinden. Een vergelijkbaar effect treedt op door de pijlers van een eventuele brugverbinding.

## 2.3 Beoordelingsmatrix

De beoordelingsmatrix (tabel 2.2) geeft een overzicht van de (gebruiks)functies die door een eiland worden beïnvloed en de morfologische parameters waarmee de ecologische effecten worden verkend. De tabel is ingevuld op basis van de effectbeschrijvingen uit het volgende hoofdstuk. De tabel geeft geen waarde-oordelen. Het is dan ook niet wenselijk om rechtstreeks uit deze tabel go/no-go

---

beslissingen te nemen. Een dergelijke beslissing moet veel eerder worden gebaseerd op de conclusies uit hoofdstuk 4.

In de matrix zijn niet de functies van het nieuwe eiland opgenomen. Een voorbeeld hiervan is de sterkte van de zeewering rondom het eiland. Wel zijn de relevante ontwikkelingen op de onderwateroever, c.q. het ontstaan van erosiekuilen, beschreven. De invloed van deze kuilen op de uitvoering van en de sterkte van de zeewering rondom het eiland maakt onderdeel uit van andere studies dan wel wordt in een latere fase van het project bestudeerd.

Bij het invullen van de beoordelingsmatrix is aangenomen dat het vigerende kustbeleid ook na de aanleg zal worden gecontinueerd. Dat betekent dat bij eroderende kustvakken direct compenserende maatregelen (bij voorkeur kunstmatige suppleties op strand en/of vooroever) zullen plaatsvinden.

---

---

## 3 Effecten op functies en locaties

---

### 3.1 Algemeen

In dit hoofdstuk zijn de veranderingen beschreven die het gevolg zijn van de 4 geselecteerde varianten van een vliegveld in zee. De nadruk zal hierbij liggen op de omvang van de effecten (paragraaf 3.2 tot en met 3.9) en de mate van onzekerheid daarin (paragraaf 3.10).

Het hoofdstuk is grotendeels gebaseerd op de teksten die door de deskundigen zijn geschreven. Een groot deel van deze meningen komen met elkaar overeen. Echter daar waar relevante meningsverschillen zijn geconstateerd zijn deze in dit werkdocument beschreven en in een aanbeveling voor een nader onderzoek verwoord.

Bij het beschrijven van de morfologische effecten van een eiland, zeker in combinatie met een (dichte) dam, is het van belang om daarbij tevens aan te geven welke tijd- en ruimteschalen bedoeld worden. Onder de (morfologische) *tijdschaal* wordt hier verstaan de tijdsduur die een morfologisch systeem nodig heeft om zich aan te passen aan nieuwe hydraulische randvoorwaarden (Steijn, 1999). Onder *ruimteschaal* wordt verstaan de ruimtelijke omvang van dergelijke aanpassingen, ofwel de mate van geografische uitgestrektheid. In de praktijk blijken de tijdschaal en de ruimteschaal aan elkaar gekoppeld te zijn. Een grote ruimtelijke schaal, dus met aanpassingen in een groot gebied, vergt doorgaans ook navenant veel tijd. Een eiland in zee gecombineerd met een dam, is een ingreep die als zeer grootschalig kan worden bestempeld. Het effect ervan op de zeebodem en op de kust zal dus ook grootschalig zijn en het zal (zeer) lang duren voordat een nieuw dynamisch evenwicht is ontstaan. Afgezien van de koppeling tussen ruimte- en tijdschalen, wordt de tijdschaal in absolute zin ook bepaald door de grootte van de variaties (in tijd en ruimte) van de zandtransporten. Vlak onder de kust, waar de golven breken en een brandingsstroom aandrijven, is de morfologische tijdschaal kleiner (veranderingen treden sneller op) dan op diep water, waar voornamelijk de getijstroming de zandtransporten aandrijft.

Aan het begin van elke paragraaf wordt eerst het belang van de betreffende (sub)parameter als mede een korte theoretische toelichting gegeven. Hierna wordt het effect voor de damvarianten (ONL1 en ONL2) en de eilandvarianten (ONL3 en ONL4) besproken. Genoemd worden ook de eventuele onderlinge verschillen tussen de damvarianten (wel of geen opening) en de eilandvarianten (verschil in afstand tot de kust). De indicatieve omvang van de effecten is opgenomen in de beoordelingsmatrix (tabel 2.2). De volgorde van de paragrafen komt dan ook overeen met de volgorde van de gebruiksfuncties en de (sub)parameters uit de beoordelingsmatrix. In de matrix is de mate van impact ten opzichte van de huidige situatie aangegeven en de richting (toe- of afname) van de impact.

### 3.2 Hydraulisch en morfologisch invloedsgebied

De grootte van het gebied waarbinnen effecten merkbaar zijn, is afhankelijk van het proces dat wordt beschouwd. Zo zal de stroming in een groot gebied veranderen. Maar omdat niet elke verandering in de stroomsnelheid een merkbaar effect op de kustlijn heeft, is het morfologische invloedsgebied kleiner.

#### Hydraulisch invloedsgebied

Veranderingen in de waterbeweging als gevolg van de eilandvarianten bepalen voor een groot deel de optredende effecten. Een eerste indicatie voor het gebied dat door de varianten wordt beïnvloed, wordt dan ook verkregen uit de getijberekeningen. Aangenomen is dat er sprake is van een significante effect als de *stroomsnelheid* met meer dan 2% toe- dan wel afneemt. Bij de damvarianten (ONL1 en ONL2) verandert de stroming over een afstand van circa 70 km gemeten vanaf de kustlijn in een richting dwars op de kust (figuur 3.1). In langsrichting wordt de waterbeweging over een lengte van circa 200 km beïnvloed (globaal van Goeree tot en met Vlieland). Deze laatste waarde komt overeen met 10 keer de lengte van de dam. Voor de tunnelvarianten (ONL3 en ONL4) zijn de afstanden kleiner, namelijk 30-45 km dwars op de kust en maximaal 70 km evenwijdig aan de kustlijn.

---

Het invloedsgebied van de *golven* is veel kleiner dan het gebied waarbinnen de stroming verandert. Direct landwaarts van het eiland worden de golven het meest beïnvloed, c.q. de reductie van de golfhoogte het grootst. Op hoogte van de huidige kustlijn is de aanwezigheid van het eiland merkbaar over een afstand van 25 km (ONL4), 30 km (ONL3) en met dam 35-40 km (ONL1 en ONL2). Blijkbaar wordt met toenemende afstand tussen het eiland en de kust het invloedsgebied groter. De invloed van een eiland op de golven is bij de damvarianten het grootst. De dam heeft een grotere invloed op de omvang van het invloedsgebied dan de afstand uit de kust. De exacte ligging van het invloedsgebied wordt bepaald door de richting van waar uit de (storm)golven komen.

#### **morfologisch invloedsgebied**

De schatting van het *morfologische* invloedsgebied is hoofdzakelijk gebaseerd op verkennende berekeningen met het PonTos-model (Steetzel en de Vroeg, 1999). In dit model is het kustprofiel geschematiseerd tot meerdere horizontale lagen. Van deze lagen is de bovenste laag representatief voor de kustlijn en de onderste laag beschrijft de ontwikkeling tussen NAP -7 tot -20 m.

Bij de tunnelvariant ONL3 wordt verwacht dat de kustlijn over een lengte van circa 50 km, van Scheveningen tot IJmuiden, verandert. Voor de damvariant (ONL2) is dit gebied groter, namelijk 50 tot 70 km (Scheveningen tot Bergen aan Zee). Door de blokkerende werking van de dam is de invloed ook merkbaar ten noorden van de IJgeul. In vergelijking met de kustlijn is het invloedsgebied op grotere waterdiepten groter. Zo wordt bij ONL2 bijvoorbeeld de gehele Hollandse kust beïnvloed.

### **3.3 Kustveiligheid**

De veiligheid van het achterliggende land tegen overstroming wordt bepaald door de belasting (hydraulische randvoorwaarden; paragraaf 3.3.1) die op een zeewering wordt uitgeoefend en de mate waarin de zeewering deze belasting kan opvangen (sterkte, c.q. morfologische opbouw; paragraaf 3.3.2).

#### **3.3.1 Hydraulische randvoorwaarden (belasting)**

De belasting van de waterkering wordt bepaald door de waterstanden, getijstroming en golven. Bij het ontwerp van een waterkering is het ontwerp-peil maatgevend. Deze parameters zijn in de onderstaande paragrafen verder toegelicht.

##### **3.3.1.1 astronomisch getij**

Een eiland vormt een barrière voor de getijstroming langs de kust. Het water wordt er als het ware tegen de barrière opgestuwd. Dit veroorzaakt veranderingen van de waterstanden in de directe omgeving van de ingreep en bij de huidige kustlijn. De mate waarin de waterstanden wijzigen is afhankelijk van de afmetingen, de vorm, de oriëntatie en de afstand van het eiland uit de kust.

Langs de Nederlandse kust verloopt de getijslag, het verschil tussen gemiddeld hoogwater (GHW) en gemiddeld laagwater (GLW), fors. GHW bedraagt bij Vlissingen NAP + 2,05 m, bij IJmuiden NAP +0,97 m en bij Delfzijl NAP +1,35 m. GLW bedraagt bij Vlissingen NAP -1,81 m, bij IJmuiden NAP -0,73 m en bij Delfzijl NAP -1,64 m. De getijslag verloopt van 3,86 m bij Vlissingen, 1,70 m bij IJmuiden tot weer 2,99 m bij Delfzijl. Bij Den Helder is de getijslag het kleinst, namelijk 1,39 m. Deze gegevens zijn afkomstig uit de Getijtafels voor Nederland (1999).

Op hoogte van Noordwijk is een *hoogwater* berekend van +1,08 m, een *laagwater* van -0,51 en een *getijslag* van 1,59 m. Deze waarden gelden voor gemiddeld getij in de huidige situatie (ONL0).

ONL1 en ONL2: De dam zal de vorm van de zich van zuid naar noord voortbewegende getijgolf beïnvloeden. Tijdens de vloedfase zullen bijvoorbeeld de hoogwaters aan de zuidzijde van de dam toenemen en aan de noordzijde afnemen. Uit de berekeningen blijkt voor een locatie op ongeveer 1 km uit de kust aan de zuidzijde van de gedeeltelijk open dam dat het hoogwater met circa 10 cm toeneemt en dat het laagwater enkele centimeters lager wordt. Door opstuwing van het water tegen de dam neemt de *getijslag* circa 20 cm toe (ONL1). Dit kan dicht onder de kust iets meer zijn. Bij een totaal gesloten dam (ONL2) is de *getijslag* 30 cm groter ten opzichte van de oorspronkelijke situatie. Het verschil tussen beide damvarianten wordt veroorzaakt door de opening in de dam. Het water dat door deze opening stroomt, verlaagt de

---

opstuwing aan de stroomopwaartse kant van de dam. Opvallend is dat ten zuiden van de dam de getijslag toeneemt, terwijl aan de noordzijde van de dam de getijslag juist afneemt.

ONL3 en ONL4: Bij de tunnelvarianten zijn de veranderingen in het *astronomisch getij* in de Noordzee nihil. Tevens is het niet te verwachten dat de vorm van de getijgolf, de getijasymmetrie, wezenlijk zal veranderen.

### 3.3.1.2 stroomsnelheid en stroomrichting

Door een eiland wordt de getijstrooming gedwongen door een kleiner doorstroomprofiel te stromen dan in de situatie zonder eiland. Door deze *stroomcontractie* nemen de stroomsnelheden lokaal zowel tijdens eb als vloed toe. De mate waarin de stroomsnelheden toenemen is afhankelijk van de vorm, de omvang en de locatie van het eiland. De grootste toename is te verwachten bij een groot eiland dat dicht bij de kust ligt en een ongunstige stroomlijn heeft. Stroomcontractie treedt altijd in de directe omgeving van de ingreep op en heeft geen merkbare effecten op de kustlijn indien het eiland op voldoende afstand van de huidige kustlijn komt te liggen.

Volgens de stroomberekeningen (Groen, 1999) bedragen de maximale vloed- en ebsnelheden langs de Hollandse kust 0,2 tot 0,4 m/s. Dicht onder de kust zijn de snelheden het kleinst. Deze getallen lijken aan de lage kant, maar gelden dan ook voor de laag vlakbij de bodem en voor een gemiddeld getij. De dieptegemiddelde snelheden zijn groter. Zo heeft de noordgaande vloedstroom een maximale *snelheid* van circa 0,8 m/s tijdens springvloed en de ebstroom bedraagt maximaal 0,7 m/s. Het netto resultaat is een reststroom in noordoostelijke richting; ook het netto zandtransport heeft een noordwaartse richting.

ONL1 en ONL2: De dam met eiland blokkeren voor een deel het noordgaande vloeddebiet en het zuidgaand ebdebiet. De invloed strekt zich uit tot en met de zeegaten tussen de waddeneilanden. Zeewaarts van het eiland neemt de *stroomsnelheid* met maximaal 0,50 m/s toe. Ten zuiden en ten noorden van het eiland en in de strook tussen het eiland en de kustlijn nemen de snelheden daarentegen met 0,10-0,35 m/s af (figuur 3.2). Dit zou in theorie kunnen leiden tot een verondieping van de vooroever van de Hollandse kust (verflauwing van het profiel). De *richting* van getijstroom verandert ook: door de dam en het eiland wordt deze in zeewaartse richting afgebogen. De kustdwarse component van de getijstrooming neemt hierdoor aanzienlijk toe.

De opening in de dam (ONL1) is slechts 6% van de totale kustdwarse blokkering. Toch neemt de stroomsnelheid in het verlengde van de opening lokaal met maximaal 0,50 m/s toe. De richting van deze strooming is hoofdzakelijk kustparallel.

Ook op groter afstand van een eiland wordt het stromingspatroon beïnvloed. Direct ten noorden van een eiland divergeert de getijstroom en neemt de turbulentie als gevolg van het "loslaten" van de getijstroom toe; er ontstaat *grootschalige horizontale wervels*. Het zelfde proces doet zich ten zuiden van de ingreep voor, maar is ten gevolge van de geringer stroomsnelheden tijdens eb, een orde kleiner. Deze wervelstraten kunnen leiden tot ontgrondingen op dieper water. De strooming is vergelijkbaar met die rondom de havenhoofden bij Hoek van Holland en IJmuiden (van Rijn, 1995). In het algemeen geldt dat de mate waarin de grootschalige wervels tot ontwikkeling kunnen komen een functie is van de verhouding tussen de ruimteschaal van het eiland inclusief de dam en de tijdschaal van het getij.

ONL3 en ONL4: Bij deze varianten kan het water simpelweg om het eiland heen stromen. Door de kleinere doorstroomopening nemen de maximale vloed- en ebstroomsnelheden (nabij de bodem) aan de west- en oostzijde van het eiland toe met maximaal 0,2 m/s en aan de noord- en zuidzijde af met maximaal 0,3 m/s. Lokaal kunnen deze veranderingen groter zijn. Het gebied waarbinnen de veranderingen optreden is in kustlangse richting voor beide varianten identiek. Een gering verschil is zichtbaar in de richting dwars op de kust. Bij het eiland dat het verst van de kust af ligt (ONL3) is het gebied waarbinnen de strooming wordt beïnvloed groter. De maximale toename van de stroomsnelheden is daarentegen onafhankelijk van de afstand uit de kust. Ten aanzien van de *stroomrichting* geldt dat deze hoofdzakelijk kustparallel blijft; alleen in de nabijheid van het eiland zijn belangrijke kustdwarse (oost-west) componenten te verwachten.

Ook op groter afstand van een eiland wordt het stromingspatroon beïnvloed. Tijdens vloed divergeert de getijstroom direct ten noorden van een eiland en neemt de turbulentie als gevolg van het "loslaten" van de getijstroom toe; er ontstaat *grootschalige horizontale wervels*. Het zelfde proces doet zich ten zuiden van de ingreep voor, maar is ten gevolge van de geringer stroomsnelheden tijdens eb, een orde kleiner. Deze wervelstraten kunnen leiden tot ontgrondingen op dieper water. De



---

stroming is vergelijkbaar met die rondom de havenhoofden bij Hoek van Holland en IJmuiden (van Rijn, 1995).

### 3.3.1.3 reststroming

In deze paragraaf wordt alleen de reststroming dwars op de kust besproken. De noordwaarts gerichte kust-parallelle reststroom als gevolg van de getijasymmetrie en de overheersende ZW- windrichtingen is indirect in de vorige paragraaf behandeld.

Door de uitstroming van zoet water in het zoute Noordzeewater ontstaan dichtheidsgradiënten langs de Hollandse kust. Deze gradiënten drijven een kustwaarts gerichte bodemstroming (reststroom) aan. Door de reststroom wordt sediment in de richting van de kust getransporteerd. Uit de berekeningen van Van Rijn (1995) blijkt dat het dwarstransport over de 20 m dieptelijn in noordelijke richting geleidelijk toeneemt van 0 m<sup>3</sup>/m/j (Scheveningen), 5 m<sup>3</sup>/m/j (Noordwijk) tot 10 m<sup>3</sup>/m/j (Egmond). Gemiddeld voor de gehele Hollandse kust betekent dit dat ongeveer 0,5 miljoen m<sup>3</sup> per jaar in de richting van het strand wordt getransporteerd. Dit is circa 20% van de hoeveelheid die jaarlijks op de Hollandse kust wordt gesuppleerd.

ONL1 en ONL2: Voor deze varianten is het mogelijk dat de aan de bodem landwaarts gerichte reststroming praktisch verdwijnt. Hierdoor zal het huidige dwarstransport in de richting van de kust vrijwel stoppen. Wanneer dit leidt tot een lokale achteruitgang van de kustlijn dan moet rekening worden gehouden met een verhoging van de onderhoudsinspanning. Ook zal het wegvallen van de reststroming zeer waarschijnlijk consequenties hebben op de morfologie tussen het eiland en de kust maar ook noordelijk van deze locatie.

Of de bovenstaande ontwikkeling ook inderdaad zal plaatsvinden en de reststroom verdwijnt is nog onzeker. Verder onderzoek is nog noodzakelijke.

ONL3 en ONL4: Ook bij deze varianten vermindert waarschijnlijk de aan de bodem landwaarts gerichte reststroming. Hoe dichter het eiland bij de kust ligt, des te groter zal het effect zijn. Een gevolg is dat het sedimenttransport naar de kust toe afneemt. De mate waarin het effect optreedt, is bij deze varianten een orde kleiner in vergelijking tot ONL1 en ONL2.

### 3.3.1.4 windgolven en deiningssklimaat

Door een eiland, al dan niet door een dam met de kust verbonden, verandert het lokale golfklimaat. Daar waar de golven nu nog vrijwel ongestoord voortbewegen, zullen ze straks de aanwezigheid van het eiland en de eventueel aanwezige dam merken. Wanneer golven in ondiep water terecht komen, buigen de golfkammen naar de dieptelijnen toe: *golfractie*. Het golfvront gaat meer evenwijdig aan de kustlijn lopen. In de luwte van het eiland worden de golfhoogte, golfperiode en orbitaalsnelheid verlaagd. In het schaduwgebied zal ondanks de volledige afscherming toch golfenergie aanwezig zijn. Dit komt door de lokale golfgroei als gevolg van wind en door *golfractie*. Het effect van *golfdiffractie* speelt vermoedelijk op de hier beschouwde ruimtelijke schaal een ten opzichte van de *golfractie* ondergeschikte rol. Nadere aandacht moet worden besteed aan het verschijnsel *golfractie*. De golfaanval op de kust ten noorden van de dam kan toenemen tijdens NW-stormen, omdat er zowel rechtstreeks golfenergie binnenkomt als tegen de dam gereflecteerde golfenergie. Tijdens ZW-stormen treedt dit aan de zuidzijde op.

Van de genoemde processen is de golfafschermende werking waarschijnlijk dominant. Direct achter het eiland is de reductie maximaal, namelijk 100%; naar de kustlijn toe neemt de reductie geleidelijk af. Ook naar de randen van het golfafschermingsgebied toe neemt de reductie af tot 0%.

Aan de geëxposeerde zijde van het eiland is de golfopzet groter dan aan de luwte-zijde van het eiland. Als gevolg van dat verschil in waterstand zal er een stroming worden aangedreven gericht van de westzijde naar de oostzijde van het eiland.

ONL0: De meeste golven komen uit zuidwestelijke richting; de hoogste golven komen uit het noordwesten.

ONL1 en ONL2: Het eiland en de dam schermen de kust af voor binnenkomende golven. Dit effect treedt op over een lengte van 35-40 km. De exacte ligging van het luwtegebied wordt bepaald door de richting waaruit de golven komen (figuur 3.3. en 3.4). De *golfreductie* is aan de oostzijde van het eiland maximaal 100% en neemt in de richting van de kust af. Zo is de *golfreductie* op ondiep water maximaal 60% (van  $H_{s,0} = 1,2$  m tot mogelijk  $H_{s,0} = 0,5$  m; tabel 3.1 en tabel 3.2). De waarden in de tabellen zijn sterk afhankelijk van de locatie van het uitvoerpunt en geven alleen een indicatie van de te verwachte *golfreductie*. De uitvoerpunten liggen op een waterdiepte van circa 4 m. Ook de richting van de jaargemiddelde golfenergieflux zal aanzienlijk langs

---

de kust gaan veranderen. Bijdraaiingen tot 20 graden of meer zijn mogelijk. De richting van de golfenergieflux bepaald vooral of en waar de morfologische veranderingen zullen optreden; de hoeveelheid energie bepaald vooral de morfologische tijdschaal. Als de varianten onderling met elkaar worden vergeleken dan blijkt dat de damvarianten de grootste invloed hebben op het golfklimaat. De opening in de dam laat nog enige golfenergie door. Hierbij dient te worden opgemerkt dat in het golvenmodel de opening als één groot gat is gemodelleerd. In werkelijkheid zal de opening bestaan uit bijvoorbeeld brugpijlers of caissons met turbines in geval van combinatie met een getijcentrale. In die gevallen zal de dam vrijwel dicht zijn voor golven, zodat hier verder geen onderscheid is gemaakt tussen varianten ONL1 en ONL2.

ONL3 en ONL4: De golfparameters veranderen over een kustlengte van 30 km (ONL3) tot 25 km (ONL4). De exacte ligging van het luwtegebied wordt bepaald door de richting waaruit de golven komen (figuur 3.3. en 3.4). De golfhoogten voor de kust worden slechts in geringe mate door het eiland beïnvloed. De *golfreductie* aan de zijzijde van het eiland in ondiep water bedraagt 10-15% (ONL3) tot 15-20% (ONL4; tabel 3.1 en 3.2). Absoluut gezien neemt de golfhoogte af van  $H_{s,0} = 1,3$  m tot mogelijk  $H_{s,0} = 1,0$  m. Dat dit zo weinig is, komt vooral door de lokale golfgroei van met name de kleinere golven en richtingsspreiding achter het eiland. Omdat ONL3 verder uit de kust ligt dan ONL4, is de lokale golfgroei bij deze eerste variant groter, c.q. de reductie kleiner. Een andere conclusie is dat er weliswaar enige reductie zal zijn van de jaargemiddelde golfhoogte langs delen van de Hollandse kust, maar dat dit vermoedelijk minder zal zijn dan 10 procent (ONL4) of 5 procent (ONL3). De richting van de inkomende golfenergieflux zal ook langs de kust veranderen ten opzichte van de huidige situatie. Vermoedelijk zal dit beperkt blijven tot 5, hooguit 10 graden.

De grootste verandering in het golfklimaat treedt op bij de eilandvarianten met dam. Ook geldt dat hoe dichter het eiland bij de kust ligt, hoe groter het effect is. De kustlengte die wordt beïnvloed is dan wel kleiner.

### 3.3.1.5 ontwerppeil en opstuwing

Bij storm treedt door opstuwing van het water een extra waterstandsverhoging op. Door de vorm van het Noordzeebekken is de stormopstuwing het grootst bij NW-stormen. De opstuwing is met name van belang voor het ontwerp van het eiland en de veiligheid van het achterliggende land tegen overstromingen. Zo wordt het ontwerppeil gebruikt bij de dimensionering van een waterkering. Het *ontwerppeil* is de hoogte van de waterstand tijdens de maatgevende stormvloed. Met name door het eiland middels een dam met het vaste land te verbinden kan er tijdens NW-stormen extra opstuwing optreden aan de noordzijde van de dam en tijdens ZW-stormen aan de zuidzijde van de dam. Tevens geldt dat tijdens NW-stormen de extra opstuwing aan de zuidzijde van de dam minder hoog zal zijn en tijdens ZW-stormen aan de noordzijde lager.

ONL0: Het *ontwerppeil* bedraagt voor IJmuiden NAP +5,15 m.  
ONL1 en ONL2: Als de dam hoog genoeg is, bijvoorbeeld met een kruin boven NAP + 6 m, zal tijdens een storm extra opstuwing optreden. Door het RIKZ zijn met een waterbewegingsmodel indicatieve berekeningen uitgevoerd van een maatgevende extreme NW-storm met een gemiddelde windsnelheid van 31 m/s. Uit de resultaten blijkt dat in de huidige situatie een waterstand van NAP 4,2 m wordt bereikt op hoogte van Noordwijk. Deze waterstand wordt deels door het astronomische getij bepaald (hoogwater circa 1,1 m) en grotendeels door de opstuwing van water in het Noordzeebekken (3,1 m). De aanwezigheid van een eiland met een gesloten dam (ONL2) veroorzaakt een extra opstuwing van het water ten noorden van de dam en een verlaging van de waterstand ten zuiden van de dam. De verhoging is maximaal 0,2 m en de verlaging maximaal 0,15 m (figuur 3.5). Dit betekent dat een maximale waterstand van NAP 4,4 m ten noorden van de dam wordt bereikt. De verhoging neemt in noordelijke richting geleidelijk af over een afstand van circa 55 km en de verlaging is over een afstand van ongeveer 75 km merkbaar. Doordat gerekend is met een NW-storm, is het opstuwingseffect aan de kust tegengesteld aan de effecten op de waterstand door het astronomische getij. Voor de bepaling van het ontwerp-peil wordt altijd meerdere stormen doorgerekend. De meest ongunstige situatie levert de waarde van het ontwerp-peil. Voor dit rapport is deze werkwijze niet gevolgd. Het gaat alleen om een eerste inschatting van het effect. Vooralsnog is aangenomen dat de toename van het ontwerp-peil dezelfde orde van grootte heeft. Het maximale effect is derhalve 0,2 m en treedt op over een kustlengte van ongeveer 25 km. In de overige 30 km is het effect minder dan 0,1 m waardoor het ontwerp-peil niet aangepast hoeft te worden. Dit laatste geldt ook aan de zuidzijde van de dam omdat hier alleen een verlaging van de waterstand optreedt.

---

Het gat in de dam (ONL1) zal vermoedelijk maar een marginaal effect hebben op de opstuwing.

Als na 50-100 jaar aan weerszijden van de dam zo als voorspeld een ondiep water gebied is ontstaan dan kan in deze gebieden de opstuwing door een hogere bodemwrijving verder toenemen. In dezelfde gebieden neemt echter de golfhoogte af. Het netto effect van beide processen is vermoedelijk positief voor de kustveiligheid.

ONL3 en ONL4: Verwacht wordt dat het eiland geen significant effect zal hebben op de *ontwerp-peilen* van de Hollandse kust. Mogelijk is er sprake van een geringe verlaging in de luwtezone van het eiland voor de maatgevende stormconditie. Het is echter ook denkbaar dat door "lenswerking" in de luwtezone landwaarts van het eiland juist een lokale verhoging van de golfopzet kan optreden. Verder onderzoek moet duidelijk maken of deze processen optreden en wat het gecombineerde effect is. Als er een effect optreedt dan zal dit door de kleinere afstand tot de kust voor de variant ONL4 groter zijn dan voor ONL3.

Als na 50-100 jaar aan weerszijden van de dam zo als voorspeld een ondiep water gebied is ontstaan dan kan in deze gebieden de opstuwing door een hogere bodemwrijving verder toenemen. In dezelfde gebieden neemt echter de golfhoogte af. Het netto effect van beide processen is vermoedelijk positief voor de kustveiligheid.

#### 3.3.1.6 golfopzet

Naast de stormvloedstand wordt de lokale waterstand bij de waterkering van het eiland tijdens storm ook beïnvloed door extra *golfopzet* (opstuwing van de waterstand in de brandingszone door golven). Verkennende berekeningen (Jacobse, 1998) duiden op een golfopzet tussen 25 tot 50 cm. De golfopzet is vooral belangrijk voor het ontwerp van de zeewering van het eiland en heeft geen gevolgen voor de ontwikkeling van het kuststelsel.

ONL1 en ONL2: In de luwtegebieden is de opzet lager. Er ontstaat een geringe gradiënt in de waterstand langs de Hollandse kust. Dit initieert mede een stroming in de richting van de damaanzetten. ONL3 en ONL4: Door "lenswerking" kan in de zone landwaarts van het eiland lokaal een verhoging optreden van de golfopzet. Voor variant ONL4 geldt het bovenstaande meer dan voor variant ONL3, in verband met de kleinere afstand tot de kust.

#### 3.3.2 Morfologie (sterkte)

De mate waarin een zeewering de hydraulische belasting kan opvangen wordt vooral bepaald door de morfologische opbouw van de kust. Deze opbouw verandert door de bouw van een vliegveld in zee.

De grootschalige morfologie van het kuststelsel is opgebouwd uit de volgende elementen (figuur 3.6):

- het relatief steile deel van de onderzeese oever (> 1:100) met zeereep, strand en brandingsruggen;
- het flauw hellende deel van de onderzeese oever (1:100 tot 1:1000);
- de onderzeese oever gaat op circa 3 km uit de kust over in de zeebodem (<1:1000). Op de zeebodem liggen banken met een hoogte van 1-10 m en op ongeveer 10 km uit de kust liggen zandgolven met een hoogte van 2 tot 4 m;
- voor Voorne en Goeree vormt de voormalige buitendelta van het Haringvliet de overgang tussen het strand en de Noordzeebodem.

Het merendeel van de kust wordt begrensd door relatief brede duinen. Vooral tussen Scheveningen en Bergen is veel zand in het kuststelsel aanwezig. Op dieper water liggen grote zandbanken en de -20 m lijn ligt relatief ver uit de kust. De kust tussen Scheveningen en Ter Heijde is duidelijk kwetsbaarder. De duinen zijn smal (deels een kunstmatige zanddijk), brandingsbanken en zandbanken ontbreken vrijwel volledig en de vooroever is relatief steil.

Bij de voorspelling van de morfologische ontwikkelingen is onderscheid gemaakt in:

- lokale effecten rond het eiland (bijvoorbeeld erosiekuilen en sedimentatie gebieden);
- effecten op grotere afstand van het eiland (door het ontstaan van grootschalige horizontale wervels (zie paragraaf 3.3.1.2) verandert het sedimentatie-

---

erosiepatroon en worden morfologische structuren als zandgolven en shoreface-connected ridges beïnvloed);

- effecten op de huidige kust, c.q. de kustlijn (bijvoorbeeld een toename van de strandbreedte door de vorming van een zogenaamde salient).

De effecten rond het eiland en op grotere afstand van het eiland vinden allemaal plaats op een waterdiepte onder NAP -8 m. In deze zone overheerst de getijstroming en is de transportcapaciteit kleiner in vergelijking met de brandingszone. Voor de effecten op de kustlijn wordt alleen de actieve zone beschouwd.

De verwachte morfologische ontwikkelingen zijn schematisch weergegeven in figuur 3.7.

---

### 3.3.2.1 lokale effecten op diep water

Primair door de stromingsveranderingen, met name contracties en divergenties van de getijstrooming, en secundair door golfveranderingen en golfreflecties treden er rond het eiland en nabij de dam sterke veranderingen op in de hoogteligging van de zeebodem. In de komende paragrafen is een inschatting gegeven van de omvang van de effecten. Er is voor het EMA geen gebruik gemaakt van simulaties met morfologische modellen die een nauwkeuriger kwantitatief beeld kunnen opleveren van deze lokale veranderingen.

#### *erosiekuilen rondom eiland*

Zoals al is aangegeven bij stroomsnelheid en richting (paragraaf 3.3.1.2) nemen de stroomsnelheden nabij het eiland toe. Hierdoor neemt ook de transportcapaciteit lokaal toe. Zand wordt opgenomen van de bodem en er ontstaan erosiekuilen.

ONL1 en ONL2: Aan de west-, noord- en zuidzijde van het eiland zullen dicht langs het eiland erosiekuilen kunnen ontstaan met maximale dieptes van 20-50 m beneden de zeebodem. Aanvankelijk zullen erosiesnelheden kunnen voorkomen van 5-10 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. De snelheid waarmee de kuilen zich kunnen ontwikkelen is mede afhankelijk van de erodeerbaarheid van de zeebodem. Het is mogelijk dat de maximale diepte zeer snel, binnen 1-3 jaar, wordt bereikt. In een later stadium nemen de erosiesnelheden af tot maximale ordes van naar schatting 1 miljoen m<sup>3</sup> per jaar en zullen de kuilen zich meer in het horizontale vlak uitbreiden. De maximale diepte kan dan weer wat teruglopen. In totaal zijn ontgrondingen te verwachten over een oppervlak van orde 100 km<sup>2</sup> (maximale diepte van enkele tientallen meters en gemiddelde diepte van enkele meters). De erosiekuilen zijn voor ONL1 en ONL2 groter van omvang en hebben een grotere maximale kuildiepte dan bij de varianten zonder dam. Om te voorkomen dat de ontgrondingskuilen langs het eiland de stabiliteit van het eiland ondergraven, zijn bodembeschermingsmaatregelen noodzakelijk. Door het ontstaan van ontgrondingskuilen wordt ook de vrije keuze van zeeeringsconcepten voor het eiland beperkt.

Ook langs de dam kan over een zone van enkele honderden meters breed lokaal een verdieping van de zeebodem van mogelijk 1 m optreden. Bij ONL1 komt hier nog een ontgrondingsgebied bij, namelijk in het verlengde van de opening in de dam. Dit ontgrondingsgebied zal zich enkele kilometers aan weerszijden van de dam uitstrekken. De vorm van dit ontgrondingsgebied is rechthoekig en kustparallel.

ONL3 en ONL4: Ook bij deze varianten zullen rondom het eiland diepe erosiekuilen ontstaan. Verwacht wordt dat de effecten zullen doorwerken over een periode van enkele decennia tot een eeuw. In de eindsituatie, dat wil zeggen als een nieuw evenwichtssituatie is bereikt, wordt de diepte van de kuilen geschat op tweemaal de waterdiepte (circa 40 m) en de omvang op dezelfde orde als het eiland zelf (85 km<sup>2</sup>). Direct na aanleg kunnen de kuilen dieper worden en is de omvang kleiner. De netto erosie wordt voor ONL3 en ONL4 geschat op circa 7 miljoen m<sup>3</sup> per jaar (van Rijn, 1999). De omvang en snelheid van de erosie is bij deze varianten kleiner dan bij de damvarianten.

Of er aan de oostzijde ook erosie optreedt valt nog te bezien. Ook hier zullen de bodemschuifspanningen toenemen door stroomcontractie, maar tevens neemt de bodemschuifspanning af als gevolg van de afscherming door golven. In het algemeen zullen golven de maximale diepte van een ontgrondingskuil juist beperken. Vooralnog wordt ingeschat dat het effect van de stroomcontractie domineert. Het is dan ook waarschijnlijk dat aan de oostzijde van het eiland erosie optreedt. De omvang hiervan is echter van een kleinere orde dan die van de erosiekuilen aan de noord-, zuid- en westzijde van het eiland.

Het zand dat vrijkomt uit alle ontgrondingsgebieden zal elders weer worden afgezet. Gedeeltelijk gebeurt dat langs de kustlijn, maar het merendeel zal elders op de zeebodem worden afgezet. In het verlengde van de ontgrondingskuilen kunnen op deze wijze sedimentatiegebieden ontstaan waar de zeebodem op termijn met enkele meters kan verondiepen.

### 3.3.2.2 effecten op grotere afstand op diep water

In deze paragraaf wordt alleen de morfologische veranderingen besproken die op grotere afstand van de kustlijn, d.w.z. zeewaarts van de NAP -8 m lijn. In deze zone overheerst de getijstrooming en is de transportcapaciteit kleiner in vergelijking met de brandingszone.

---

Tussen een eiland en de kust (buiten de brandingszone) nemen door stroomcontractie de stroomsnelheden toe en neemt de golfwerking af. Stroomcontractie veroorzaakt erosie, terwijl afname van de golfwerking in het algemeen tot sedimentatie leidt. Het proces dat door de ingreep de grootste verandering ondergaat, bepaalt het netto effect. Bij de beschouwde eilandvarianten is de kans op erosie tussen het eiland en de kust het grootst. Algemeen geldt dat de kans op sedimentatie tussen het eiland en de kust kleiner wordt naarmate het eiland verder uit de kust komt te liggen. De aanpassing van de bodem zal geleidelijk plaatsvinden. Een nieuw evenwicht kan pas na lange tijd worden bereikt.

#### *Sedimentatie of erosie tussen eiland en kust*

In deze paragraaf wordt de sedimentatie of erosie beschreven op dieper water, c.q. daar waar de getijstrooming dominant is boven de golfgedrevenstrooming. Voor de effecten in de brandingszone, c.q. de kustlijn, wordt verwezen naar paragraaf 3.3.2.3.

ONL1 en ONL2: Langs de Hollandse kust zal tussen het eiland en de kust, aan weerszijden van de dam, *sedimentatie* optreden als gevolg van de reductie in de getijstroomsnelheden en de golfwerking. Het is niet waarschijnlijk dat de waterdiepte zover afneemt dat delen van de onderwateroever boven gemiddeld laagwater uitkomen. Eerder zal er sprake zijn van ondiep water gebieden waarvan de bodem tussen NAP -2 en -5 m ligt. De uiteindelijke verondieping en de snelheid waarmee deze plaatsvindt, hangt mede af van de beschikbaarheid van zand. Door de getijstrooming door de opening in de dam is de verondieping bij ONL1 kleiner en wordt het evenwicht eerder bereikt in vergelijking tot variant ONL2.

ONL3 en ONL4: Bij deze varianten zal de stroomsnelheid tussen het eiland en de kust toenemen, terwijl de golfwerking juist kleiner wordt. Het netto effect dat wordt verwacht is een lichte erosie tussen het eiland en de NAP -8 m lijn. Een tegengestelde reactie kan ontstaan wanneer het eiland zo dichtbij de kust komt te liggen dat het getij er niet meer tussendoor kan stromen (de doorstroomopening is hydraulisch gezien dicht). Als dit proces optreedt dan wordt een groter deel van de getijstroom gedwongen om aan de westkant van het eiland langs te stromen. Hierdoor wordt de kans op sedimentatie groter en kan het eiland aan de kust vastgroeien. Er is sprake van een tombolo als er een vaste (onderzeese) verbinding tussen het eiland en de kust is ontstaan. De kritische afstand waarop dit plaats kan vinden wordt mede bepaald door de omvang en stroomlijning van het eiland. Op dit moment wordt aanbevolen om het eiland tenminste 10 km uit de kust te leggen. Als een natuurlijke verbinding tussen eiland en kust tot stand komt heeft dit verstrekkende morfologische en ecologische gevolgen vergelijkbaar met de effecten als voorspeld bij de damvarianten. De (ecologische) gevolgen van de ingreep worden dan bijvoorbeeld tot in de Waddenzee merkbaar. De getijstrooming, inclusief het meegevoerde slib en de nutriënten, wordt gedwongen om zeewaarts langs het eiland te stromen. De diepte van de erosiekuilen neemt toe waardoor de bodembescherming van de dijk rondom het eiland zwaarder moet worden uitgevoerd.

Van de erosie en sedimentatie bij variant ONL3 is een eerste schatting gemaakt op basis van het SUTRENCH-model voor de situatie dat de stroomsnelheden langs het eiland met een factor 2 zijn toegenomen. Uit de indicatieve modelberekeningen volgt overigens een toename van de stroomsnelheid van maximaal 5%. De met SUTRENCH berekende waarden zijn zeer waarschijnlijk te hoog; de eerder genoemde 7 miljoen m<sup>3</sup>/jaar is realistischer. De initiële erosie bedraagt in het eerst jaar na de aanleg circa 20 miljoen m<sup>3</sup> en vindt plaats aan beide zijden van het eiland. De erosie is het sterkst langs het zuidelijke deel van het eiland. De initiële aanzanding heeft dezelfde orde van grote als de initiële erosie en treedt vooral op langs de noordelijke helft van het eiland. De lange termijn erosie (over 10 jaar) bedraagt circa 10 miljoen m<sup>3</sup> op jaarbasis. De lange termijn aanzanding zal optreden in de vorm van een zandgolf met een hoogte van circa 5 m ter plaatse van het noordelijke eilanddeel. De initiële jaarlijkse erosie is dus circa 2 keer zo groot als de jaarlijkse lange termijn erosie. Deze resultaten zijn niet representatief voor een strook direct nabij het eiland (breedte circa 1000 m). In deze strook zullen de erosiegeulen aanzienlijk dieper zijn als gevolg van lokale stroomcontractie en macroturbulentie (grootschalige wervelingen).

#### *sedimentatie ten zuiden en noorden van het eiland*

Het netto noordwaartse getijgedreven zandtransport wordt geschat op maximaal orde 50 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/jaar (van Rijn, 1999) Bij een gesloten dam van 20 km, inclusief de breedte van het eiland, wordt dus maximaal circa 1 Mm<sup>3</sup>/j getijtransport beïnvloed. Een gedeelte van dit transport (aanneem de helft) zal door de ombuiging van de getijstroom het eiland westelijk en oostelijk (varianten zonder dam) kunnen passeren. Een klein deel (aanneem een derde) kan ook door de opening van de dam worden getransporteerd (ONL1). Wanneer deze laatste posten in rekening worden gebracht,

---

blijft een mogelijke verondieping van circa 0,2 Mm<sup>3</sup>/j over. Over een gebied van circa 5 bij 2 km geeft dat een verticale verondieping aan de zuidzijde van de dam (als alleen dit effect zou spelen) van enkele centimeters per jaar. De verondieping aan de noordzijde van het eiland zal geringer zijn. De verondiepingen gaan door tot de lokale transportcapaciteiten toenemen en er een nieuw evenwicht wordt gevonden.

#### *bodemveranderingen op grotere afstand*

Op de zandige bodem van de Noordzee komen zandgolven en zandbanken voor. De hoogte van de zandgolven varieert tussen 2 tot 4 m. De dimensies van de *zandbanken* (shoreface-connected ridges) zijn groter. Deze hebben een hoogte van 1 tot 6 m, een breedte van 1-4 km en een lengte van 10-35 km. De helling van de zandbanken is zeer flauw en varieert tussen 1:200 tot 1:400 (van de Meene, 1994). De banken komen voor op een waterdiepte van 14 tot 20 m. De morfologische tijdschaal van de banken bedraagt één decade tot eeuwen. Anders dan de banken verplaatsen de *zandgolven* zich wel op korte termijn. Zandgolven en zandbanken doordat er een wisselwerking is tussen bodem en waterbeweging (golven, getijden, wind en dichtheidsverschillen in het water; Hulscher, 1993). Bodem en waterbeweging kunnen niet los van elkaar staan maar vormen een dynamisch gekoppeld systeem. Waterbewegingen woelen bodemsediment op en verplaatsen het. De nieuwe topografie van de bodem beïnvloedt weer de bewegingen. Uit berekeningen met een wiskundigmodel blijkt dat kleine verschillen in bodemwrijving en getijdekenmerken grote veranderingen in de structuur van de bodem kunnen geven. De bodem kan vlak blijven (geen structuren), maar er kunnen ook zandgolven ontstaan met daarnaast de grotere zandbanken. Als de zandbanken voorkomen in combinatie met zandgolven, dan liggen de kammen van beide onder een kleine hoek.

De beschikbare simulatiemodellen kunnen de dynamiek van de grootschalige structuren momenteel nog niet met voldoende nauwkeurigheid beschrijven. Omdat de ridges aansluiten op de kustoever, kan beïnvloeding van de kustoeverdynamiek optreden.

ONL1 en ONL2: Effecten als gevolg van de beïnvloeding van het grootschalige getijden reststrooppatroon zullen zich in een veel groter gebied voordoen dan bij de varianten zonder dam. Interferentie met de shoreface-connected ridges zal zich nu zelfs uitstrekken tot aan het Marsdiep. Lokaal ontstaan zandbanken waarvan het zand door golven kustwaarts verplaatst kan worden. De hoogte van de zandbanken wordt geschat op ongeveer 5 m. Het zand dat wordt uitgeschuurd uit de erosiegebieden, zal in eerste instantie in de omgeving van het eiland worden afgezet. Zo kunnen de ontgrondingskuilen ten noorden en ten zuiden van het eiland met dam eerst nog leiden tot aanzanding. Op een termijn van enkele decaden echter zal ook dit materiaal weer worden opgepakt en afgevoerd. Als gevolg van de grotere turbulentie kan er een verdieping over grotere afstanden op dieper water langs de Hollandse kust optreden. Deze zal vermoedelijk minder reliëf hebben dan de hierboven genoemde erosiekuilen. Deze grootschalige processen maken duidelijk dat de kustoeverdynamiek langs de gehele Hollandse kust zeer waarschijnlijk wordt beïnvloed.

ONL3 en ONL4: Optredende effecten worden verondersteld een gevolg te kunnen zijn van de beïnvloeding van het grootschalige getijpatroon en het reststrooppatroon. Dit patroon wordt beïnvloed in een veel groter gebied dan dat van de lokale effecten. Er is sprake van veel subtielere mechanismen, die aanleiding geven tot zelforganiserende, intrinsieke fenomenen zoals zandgolven, zandbanken en shoreface-connected ridges. Een eiland op 10 km uit de Zuidhollandse kust laat zien dat het eiland grotendeels in een gebied met zandgolven van 2 tot 4 m zal liggen, maar ook dat het zal interfereren met de shoreface-connected ridges (geomorfologische kaart, Rijkswaterstaat, 1988). De totale sedimentatie is bij ONL3 en ONL4 kleiner in vergelijking met ONL1 en ONL2 door de geringere toename van de stroomsnelheden.

#### 3.3.2.3 effecten op huidige kustlijn

Effecten op de huidige kustlijn zijn vooral te verwachten als de hydrodynamiek in de brandingszone, gelegen boven NAP -8 m, optreden.

Tussen een eiland en de kust nemen door stroomcontractie de stroomsnelheden toe en de golfhoogtes af. Toename van de stroomsnelheden leidt tot erosie, afname van de golfhoogtes tot sedimentatie. Het netto effect is afhankelijk van de afstand tussen het eiland ( $A_s$  en  $A_i$  in figuur 3.8) en de kust en de lengte van het eiland gemeten evenwijdig aan de bestaande kustlijn ( $L_s$  en  $L_i$ ). Wanneer het eiland dichtbij de kust komt te liggen dan neemt de transportcapaciteit af en sedimenteert het meegevoerde zand. De kust bouwt uit in de richting van het eiland. Er vormt zich een *salient* (Pope and Dean, 1986). In een extreme situatie kan een eiland zelfs vastgroeien aan de kust

---

(tombolo). Op grotere afstand van de kustlijn overheerst de getijstroming en is de transportcapaciteit kleiner.

ONL1 en ONL2: Bij deze varianten sedimenteert in de luwte van het eiland het meeste materiaal direct ten zuiden en noorden van de aanlanding van de dam. Door de aanwas aan de kust neemt de strandbreedte toe. De aangroei van de strandvlakte aan weerszijden van de havenhoofden van IJmuiden varieerde destijds tussen 10-25 m/j. De lengte van deze hoofden bedraagt circa 2600 m. De lengte van de dam naar het eiland varieert van 10 tot 16 km. Door deze grotere lengte kan de dam een groter deel van het langtransport (getij- en golfgedreven transport) onderscheppen en snelheid waarmee de kustlijn zeewaarts verplaatst groter zijn in vergelijking met het strand bij IJmuiden. De initiële snelheid wordt geschat op circa 40 m/j. Na een tiental jaren zal de groeisnelheid afnemen tot circa 10 m/j.

ONL3 en ONL4: Als gevolg de reductie van de golfhoogte zal zich, zonder menselijk ingrijpen, een *salient* kunnen vormen in de luwte van het eiland. De aangroei zal kleiner zijn en minder snel plaatsvinden in vergelijking tot de damvarianten. De initiële aangroei snelheden worden geschat op 5 m/jaar (ONL3) tot 10 m/jaar (ONL4).

De uitbouw van de kustlijn op hoogte van het eiland leidt in de kustvakken ten zuiden en ten noorden van Noordwijk tot erosie. In deze kustvakken blijft namelijk de transportcapaciteit gelijk aan de huidige situatie en er minder zand in de waterkolom aanwezig is dan de evenwichtsconcentratie. In feite is er sprake van een herverdeling van zand langs de kust. De verwachte erosie wordt door het uitvoeren van zandsuppleties voorkomen.

De aanleg van een eiland heeft ook gevolgen voor de *ligging van de kustlijn*. Het PonTos-model geeft een eerste schatting van het gebied waarbinnen dit effect zichtbaar is (Steezel en de Vroeg, 1999). Hoewel nog niet alle relevante processen in het model zijn opgenomen en de toepassing van het model op een vliegveld in zee met een beperkt aantal validatie- en gevoeligheidsberekeningen is onderbouwd, blijkt het toch mogelijk te zijn om enige inzichtelijke resultaten met een voor dit stadium (EMA) voldoende nauwkeurigheid te genereren. Uit de schematisatie van het kustprofiel blijkt dat de bovenste laag representatief is voor de kustlijn, terwijl de onderste laag de ontwikkeling tussen NAP -7 tot -20 m beschrijft. Bij ONL3 zal de kustlijn over een lengte van circa 50 km, van Scheveningen tot IJmuiden, veranderen (figuur 3.9). Voor de damvariant (ONL2, figuur 3.10) is dit gebied groter, namelijk 50 tot 70 km (Scheveningen tot Bergen aan Zee). Door de blokkerende werking van de dam is de invloed ook merkbaar ten noorden van de IJgeul. In vergelijking met de kustlijn is het invloedsgebied op grotere waterdiepten groter. Zo wordt bij ONL2 bijvoorbeeld de gehele Hollandse kust beïnvloed. Overeenkomstig de verwachting zijn de veranderingen van de kustlijn duidelijk gekoppeld aan de wijzigingen van het golfklimaat. De ontwikkeling op grotere waterdiepte wordt veel meer bepaald door het getij.

De absolute grootte van de veranderingen in de positie van de kustlijn en het totale gebied waarbinnen het effect merkbaar is, wordt hoofdzakelijk bepaald door de blokkerende werking van een dam.

Een dam als verbinding tussen het eiland en de kust heeft een groot effect op de ontwikkeling van de kustlijn (figuur 3.11). Over een lengte van orde 50 km treedt er een patroon van respectievelijk erosie, aanzanding en erosie op. Dit patroon is additioneel op de effecten van een eiland met tunnel-verbinding. Het additionele patroon hangt nadrukkelijk samen met de zone waarover het golfklimaat wordt beïnvloed door de dam-variant. De gevolgen van een dam zullen in vergelijking met een tunnelverbinding in een groter gebied merkbaar zijn, namelijk de volledige Hollandse kust.

#### 3.3.2.4 zandtransporten

In morfologische beschouwingen kunnen vaak (jaarlijkse) *netto* transporten (verschil tussen noordgaand en zuidgaand) als kenmerkend worden beschouwd. Bij de beoordeling van de effecten van de varianten, moeten in principe de veel grotere *bruto* transporten (som van noordgaand en zuidgaand) in de beschouwingen worden betrokken. De netto erosie/sedimentatie is relatief gering in vergelijking met de grote bruto transporten (van Rijn en Terwindt, 1997). Dit betekent dat kleine veranderingen van het zandtransport relatief groter effecten kunnen hebben.

Door het getij (dominant in diep water) en de golven (dominant in ondiep water) bewegen jaarlijks vele honderdduizenden m<sup>3</sup> zand heen en weer. Een eiland in zee, al dan niet met een dam, wijzigt de getijstroming en het windgolf- en deiningklimaat. Hierdoor vermindert de intensiteit van de langs- en dwarstransport processen langs de



---

kust. De grootste effecten treden op als het transport in de brandingszone (golfgedreven transport) wordt geblokkeerd (zie figuur 3.12).

Het totale netto *zandtransport* bedraagt globaal 1,5 tot 2 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Het netto noordwaarts getijgedreven transport wordt geschat op maximaal 50 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/jaar (van Rijn, 1999). De schatting van het resulterend zuidwest-noordoost gericht transport in de actieve zone, de zone boven NAP -8 m, tussen Schevingen en IJmuiden lopen uiteen van circa 250.000 m<sup>3</sup>/jaar (van Rijn, 1995) tot 300.000-400.000 m<sup>3</sup> per jaar (WL, 1997).

Een schatting van de transportveranderingen ten gevolge van een eiland al dan niet met dam is gegeven in tabel 3.3. In de schatting is niet verdisconteerd de verandering van het golfgedreven transport door de versnelling van de getijstroom landwaarts van het eiland. Dit effect treedt alleen op bij ONL3 en ONL4. Er moet rekening mee worden gehouden dat de werkelijke transporten een factor 2 tot 3 kunnen afwijken van de schattingen.

ONL1 en ONL2: De grootste verandering treedt bij deze varianten op in de brandingszone; de dam blokkeert het transport volledig. Alleen door de opening in de dam (ONL1) is nog een gering transport mogelijk. Door de verlaging van de transportcapaciteit zandt de kust aan en verschuift de kustlijn in zeewaartse richting. De totale initiële aanzanding zal orde 1 miljoen m<sup>3</sup>/j bedragen, met kustlijnvoortgang van ongeveer 40 m/j. Doordat de transportcapaciteit ten zuiden en ten noorden van het sedimentatiegebied nauwelijks verandert, wordt in deze gebieden zand weggenomen. De kust erodeert en er moeten extra suppleties worden uitgevoerd (zie kustlijnhandhaving). De totale kustlengte waarbinnen het transport verandert is globaal tweemaal groter dan het gebied waar de projectie van het eiland op de kust valt.

Dichtbij het eiland waar de stroomsnelheden verdrievoudigen, zijn de initiële zandtransporten groot. Doordat het transport evenredig is met de stroomsnelheid tot een macht 3-5, nemen het transport toe met een factor 30 à 240 en ontstaan de al eerder genoemde erosiekulen.

ONL3 en ONL4: Bij deze varianten wordt het zandtransport in de brandingszone niet volledig geblokkeerd. Wel neemt het brandingstransport in de luwte van het eiland af. De totale aanzanding zal tussen de 0,5 en 1 miljoen m<sup>3</sup>/jaar bedragen, met een kustlijn voortgang van maximaal 10 m/jaar. Aan weerszijden van de sedimentatie zal de kust eroderen. Hoe verder het eiland uit de kust ligt des te groter zal het oppervlak van de aanzandings- en erosiegebieden zijn. In de tijd gezien zal dit proces zonder mitigerende maatregelen uitdampen en naar een evenwicht leiden. Geschat wordt dat dit na 100 jaar wordt bereikt. Anders dan bij ONL1 en ONL2 neemt de transportcapaciteit buiten de brandingszone toe doordat de stroomsnelheid tussen het eiland en de kust toeneemt (stroomcontractie).

### 3.3.2.5 zandbalans

In deze paragraaf wordt de zandbalans van Hoek van Holland tot en met IJmuiden beschouwd. De balans is gebaseerd op volumeberekeningen over de periode 1964-1992.

De zandbalans zal op verschillende wijzen worden beïnvloed door een eiland:

- voor de aanleg is zand nodig, dit wordt aan het systeem onttrokken;
- door de aanwezigheid van een eiland verandert de waterbeweging (golven en getij) en daarmee de grootte en richting van het zandtransport;
- de ingreep blokkeert bestaande zandstromen.

De kust tussen de havenhoofden van Hoek van Holland en IJmuiden gedraagt zich op een ruimteschaal van enkele decennia als één kustvak. De invloed van de havenhoofden bij Scheveningen en de strandhoofden bij Delfland is op deze schaal gering. De toegangseulen belemmeren een vrije uitwisseling van zand met de aanliggende kustvakken. De geulen fungeren als zandvang en worden middels jaarlijkse baggerwerkzaamheden op de gegarandeerde diepte en breedte gehouden. De gemeten jaarlijkse toename van het volume in de actieve zone tussen IJmuiden en Hoek van Holland bedraagt 365.000 m<sup>3</sup> (tabel 3.4). In dezelfde periode is jaarlijks gemiddeld 380.000 m<sup>3</sup> gesuppleerd. De volumetoename is dus vooral bepaald door suppleties. Anders gezegd: lokale sedimentatie en erosie compenseren elkaar vrijwel volledig binnen het balansgebied. Kleine erosieve kustsecties liggen bij Delfland, Scheveningen en Bloemendaal.

In de secties die aansluiting op de havenhoofden van IJmuiden en Hoek van Holland overheerst sedimentatie. Dit is voornamelijk het gevolg van de onderbreking van het

---

langtransport door de hoofden. Op diep water daarentegen neemt de erosie in de richting van de havenhoofden toe. Dit duidt op een dominante invloed van de getijstroom (van Rijn en Terwindt, 1997). In tegenstelling tot de actieve zone verliest de zone tussen NAP -8 en -12 m jaarlijks netto circa 500.000 m<sup>3</sup>/jaar.

In de onderstaande alinea's is alleen de zandbalans van de actieve zone, d.w.z. de zone boven NAP -8 m, besproken.

ONL1 en ONL2: Het zal duidelijk zijn dat de zandbalans door de aanwezigheid van de dam belangrijk wordt beïnvloed. De zandbalans van het gebied dat in de luwte van het eiland ligt zal nadrukkelijk positief worden. De kustvakken ten noorden en ten zuiden hiervan krijgen een erosieve trend. Feitelijk wordt het zand opnieuw binnen het balansgebied verdeeld. Hiernaast wordt de potentiële achteruitgang van de kustlijn voorkomen door het uitvoeren van zandsuppleties. Het netto resultaat is dat de zandinhoud evenredig toeneemt met de suppletiehoeveelheid.

De gedeeltelijke opening in de dam geeft weliswaar een kleinere blokkade van het doorgaande transport, maar veroorzaakt ook een zone met hogere bodemschuifspanning als gevolg van meer turbulentie en hogere getijstroomsnelheden. Als gevolg van dit laatste zou de zandbalans aan weerszijden van de dam juist iets minder positief kunnen worden. Het is dus niet zo dat het effect van ONL1 persé minder is dan ONL2. De plaats van de opening ten opzichte van de ligging van de kust speelt daarbij een belangrijke rol.

ONL3 en ONL4: Ook nu is sprake van een herverdeling van zand langs de kust, zij het in aanzienlijk mindere mate dan ONL1 en ONL2. Dit betekent dat in de luwte van het eiland de zandbalans in eerste instantie positief zal uitpakken (er komt meer in dan er uit gaat), en elders dus negatief. De achteruitgang van de kustlijn wordt voorkomen door het uitvoeren van zandsuppleties. Het netto resultaat is dat de zandinhoud evenredig toeneemt met de suppletiehoeveelheid. ONL4 (eiland op 10 km) heeft daarbij een groter effect (grotere toename van suppletiehoeveelheid) dan ONL3.

### 3.3.3 Conclusies kustveiligheid

De zeewering begint op NAP -15 tot -20 m en loopt door tot voorbij de zeereep. De veranderingen in belasting en sterkte van de zeewering hebben consequenties voor de *kustveiligheid*. Met name de opstuwning (het gecombineerde effect van het astronomische getij en stormopzet) aan weerszijden van de dam zorgt voor een extra belasting van de zeewering. Om de huidige veiligheidsnorm te kunnen handhaven moet tijdens de aanleg van de dam de zeereep in de kustvakken ten zuiden en noorden van het eiland eenmalig worden versterkt. De hoeveelheid zand die hiervoor nodig is, is gering en wordt geschat op circa 1 miljoen m<sup>3</sup>. Na enkele jaren zal door de voorspelde aanzanding de sterkte van de zeewering verder toenemen.

#### *duinafslag*

Er is sprake van duinafslag wanneer in een kort tijdsbestek een significante hoeveelheid zand uit de duinen wegslaat. Het afgeslagen zand wordt veelal op het strand of de vooroever afgezet. Er is dus eerder sprake van een herverdeling dan van een daadwerkelijk zandverlies. Deze herverdeling leidt er wel toe dat het (afgezette) duinzand onder invloed komt van de transportprocessen op de vooroever. In stabiele kustvakken wordt het afgeslagen zand in de periode na de stormvloed op natuurlijke wijze naar de duinen teruggevoerd. Alleen bij kustvakken met structurele erosie is het duinafslagproces gedeeltelijk onomkeerbaar. Door golven en stroming kan er namelijk geleidelijk zand naar aanliggende kustvakken worden getransporteerd, zodat het zandvolume ter plaatse blijvend vermindert. Duinafslag treedt op bij zware golfaanval in combinatie met hoge waterstanden (stormvloed). Bij deze omstandigheden neemt de golfbelasting op de duinen toe.

Ruwweg leidt en verhoging van het ontwerp-peil met 0,05 m, uitgaande van een gelijkblijvende golfhoogte, tot een toename van de 10<sup>-5</sup>-afslag met circa 1 m. Kustgebieden waarbij de veranderingen in het ontwerp-peil minder dan 0,05 m blijken te zijn, kunnen in dit verband als "onveranderlijk" worden beschouwd.

In deze paragraaf wordt alleen de duinafslag van de bestaande Hollandse kust besproken en niet die van de nieuwe kustlijn rondom het eiland.

Over het effect van de toekomstige duinafslag valt nu niet veel te concluderen, omdat dit afhangt van tegengestelde factoren: lagere golfbelasting (gunstig), iets hogere waterstanden (ongunstig), lagere waterstanden (gunstig), ondieper voorland (gunstig).

---

### 3.4 Kustlijnhandhaving en Veerkracht

Ook hier wordt bedoeld de kustlijnhandhaving van de bestaande Hollandse kust; dus niet de nieuwe kustlijn rondom het eiland. Voor het begrip veerkracht wordt de huidige kustzone inclusief een eventueel vliegveld beschouwd.

#### 3.4.1 kustlijnhandhaving

Op plaatsen waar de kustlijn structureel achteruitgaat, moet conform het geldende kustbeleid worden ingegrepen. Het zandtekort wordt dan aangevuld door middel van suppleties. Voor de bepaling van waar gesuppleerd gaat worden, zijn de ligging van het strand (en duinen) en de ondiepe vooroever primair van belang. Veranderingen van de diepere oever kunnen op langere termijn van belang zijn voor de handhaving van de kust. Vanaf 2000 zullen daarom ook zandverliezen op dieper water gecompenseerd worden door middel van suppleties.

Momenteel wordt voor het handhaven van de kustlijn in het kustvak IJmuiden-Hoek van Holland jaarlijks circa 380.000 m<sup>3</sup> zand gesuppleerd

De uitbouw van de *kustlijn* is het grootst bij de varianten ONL1 en ONL2. De totale hoeveelheid aanzanding zal orde 50 miljoen m<sup>3</sup> bedragen. Deze schatting is gebaseerd op een uitbouw met een driehoeksvorm (zeewaartse uitbouw van maximaal 1 km en 25 km kustlengte), een gemiddelde waterdiepte van 4 m. Gegeven het huidige bruto brandingstransport van circa 0,75 miljoen m<sup>3</sup> per jaar duurt het circa 70 jaar voordat de kustlijn een nieuw evenwichtsligging benadert (doorwerking van effecten 100-200 jaar). Doordat de transportcapaciteit ten zuiden en ten noorden van het sedimentatiegebied nauwelijks verandert, wordt in deze gebieden zand opgenomen. Hierdoor erodeert de kust en moeten extra suppleties worden uitgevoerd. Verondersteld dat de toename van het kustonderhoud gelijk is aan het zandtransport dat door de dam wordt geblokkeerd, dan neemt het kustonderhoud tot circa 1 miljoen m<sup>3</sup>/jaar toe. Dit is circa 2,5 meer dan de suppletiehoeveelheid die momenteel jaarlijks in het betreffende kustvak wordt aangebracht.

ONL3 en ONL4: Bij de varianten wordt het golfgedreven transport niet door een dam geblokkeerd. Wel neemt de golfhoogte en dus ook het zandtransport in de luwte van het eiland af. Het meegevoerde zand zal dan ook bezinken. De totale aanzanding wordt geschat op 0,5 tot 1 miljoen m<sup>3</sup>/jaar, met kustlijnvoortgang van maximaal 10 m/jaar. Ook bij deze varianten is aangenomen dat de toename van het kustonderhoud gelijk is aan de afname van de geschatte bruto zandtransporten. Dit betekent dat het kustonderhoud met een factor 2 toeneemt (0,6 Mm<sup>3</sup>/jaar bij ONL3 en 0,8 Mm<sup>3</sup>/jaar bij ONL4).

De kans dat de huidige kustlijn aan het eiland vastgroeit (vorming van een tombolo), is bij beide varianten nihil. Het getij zal tussen het eiland en de kustlijn door blijven stromen en eerder erosie dan sedimentatie tot gevolg hebben. Deze algemene regel geldt zolang het eiland niet te dicht bij de kust ligt. In deze situatie is de weerstand die de getijstroming ondervindt zo groot geworden dat het merendeel van de stroming het eiland aan de zeewaartse zijde zal passeren. De kritische afstand wordt mede bepaald door de omvang en stroomlijning van het eiland. Om deze afstand bij de beschouwde omvang en vorm niet te naderen, wordt aanbevolen om een minimale afstand van 10 km tussen het eiland en de huidige kustlijn te handhaven. Hierdoor blijft de kans op sedimentatie, c.q. het vastgroeien van het eiland aan de kust, gering.

De aanleg van een eiland in de Noordzee heeft een groot effect op de ligging van de kustlijn en is ook merkbaar op de diepere onderwateroever. Zo wordt de huidige ontwikkeling van de kustlijn versterkt. Daar waar in de huidige situatie erosie wordt verwacht, neemt deze toe. Terwijl op plaatsen waar een zeewaartse verplaatsing van de kustlijn wordt verwacht de aanzanding toeneemt. De verwachte veranderingen zijn voor de damvariant (ONL2) systematisch groter dan voor de tunnelvariant (ONL3). Om de kustlijn van Noord- en Zuid-Holland conform het huidige kustbeleid te handhaven nemen de suppletiehoeveelheden toe met 10% dan wel 55%. Deze indicatieve waarden zijn berekend met het PonTos-model (Steetzel en de Vroeg, 1999). Voor ONL3 lijken de veranderingen beperkt, wel is er een mogelijke verplaatsing van de suppletiegebieden. De toename van de suppletiehoeveelheden voor de damvariant (ONL2) is aanzienlijk groter. De suppletiekosten nemen met maximaal 11 miljoen gulden per jaar toe. De effecten op de diepere onderwateroever zijn wisselend (minder eenduidig). Soms wordt de erosie versterkt, soms juist verzwakt.

---

### 3.4.2 zand tekort diep water

Op de vooroever van het centrale deel van de Hollandse kust ligt tot op grote dieptes zand. Ook na de bouw van een eiland is er voldoende zand aanwezig om door de reststroming naar de ondiepere kust toe te worden getransporteerd. In de huidige situatie wordt het zandverlies in de ondiepe zone gecompenseerd door suppleties; het zandverlies op dieper water wordt daarentegen niet gecompenseerd. Geleidelijk versteilt hierdoor de Hollandse kust.

Voor de aanleg van een eiland, al dan niet met een dam, is veel zand nodig. Als dit wordt onttrokken aan de zeebodem ontstaat daar ter plaatse een *zandtekort*. Zandtekort wordt hier geïnterpreteerd als een situatie waarbij de doorgaande transportcapaciteit groter is dan de natuurlijke aanvoer van zand. Het gevolg is dat in stroomafwaarts gelegen gebieden verdieping kan optreden. Doordat het netto transport langs de Hollandse kust in noordelijke richting gaat, zal ook de verdieping hoofdzakelijk ten noorden van het zandwingsgebied plaatsvinden. Ook onder invloed van de te verwachte grootschalige wervelstraten en circulatiecellen erodeert de zeebodem op grotere waterdiepte en noord- en zuidwaarts van het eiland. Door het zandtekort vermindert in de betreffende gebieden de zandinhoud en wordt het *kustprofiel* steiler.

Een andere mogelijke ontwikkeling is dat, in tegenstelling tot het bovenstaande, het huidige kustprofiel flauwer wordt, c.q. de huidige versteiling van het kustprofiel wordt afgeremd. De verflauwing kan worden veroorzaakt door reductie van de langs de bodem en landwaarts gerichte resttransport, door reductie van het golfklimaat en door het praktisch verdwijnen van de getijdestromingen.

Momenteel is nog niet duidelijk welk proces de grootste invloed heeft. Gezien de geringe transporthoeveelheden zal de ontwikkeling pas op langere termijn zichtbaar worden.

### 3.4.3 veerkracht

Het huidige beleid is er op gericht het systeem zijn veerkracht te laten behouden of, als het mogelijk is te versterken. Hierdoor kunnen onzekerheden in ontwikkelingen eerder opgevangen worden. In feite krijgt het zandige kuststelsel de tijd en de ruimte om te reageren op veranderende omstandigheden zoals zeespiegelstijging (externe invloed) zonder dat het karakter en de natuurlijke processen (interne reactie) van het kuststelsel wezenlijk veranderen.

De veerkracht van het kuststelsel wordt voornamelijk bepaald door de *zandinhoud* en de beschikbare ruimte voor *natuurlijke morfodynamiek* van het balansgebied. Onder de morfodynamiek van een systeem wordt verstaan de afwisseling in plaats en tijd van de morfologie (b.v. brekerbanken, zandgolven, etc.). Wanneer door de aanleg van een eiland de hoeveelheid zand en/of de dynamiek van het kuststelsel toeneemt, dan wordt hierdoor de veerkracht vergroot. Voorwaarde is wel dat het zand onder invloed staat van natuurlijke processen en niet volledig tussen harde dijken wordt vastgelegd. In het algemeen zal in aanzandingsgebieden de veerkracht toenemen en afnemen in gebieden waar de erosie overheerst. Hoe groter de *morfologische dynamiek*, des te beter is een systeem in staat zich aan te passen aan veranderingen. Daarmee is overigens nog niet gezegd dat deze veranderingen ook wenselijke veranderingen zijn.

Ten aanzien van de veerkracht is het van belang waar je de gebiedsgrenzen legt. Omdat het hier (nog steeds) gaat om de veiligheid van het achterliggende land tegen overstromingen is de grens op de doorgaande NAP -20 m dieptelijn gelegd. Deze grens valt samen met de zeewaartse grens van het eiland. In kustlangse richting wordt een onderscheid gemaakt in het gebied gelegen in de luwte van het eiland en de kust ten zuiden en ten noorden van het eiland.

Bij de varianten ONL1 en ONL2 neemt de veerkracht in termen van *zandinhoud* evenredig toe met de jaarlijkse hoeveelheid suppletiezand. In de luwte van het eiland neemt door het wegvallen van de stroming en de afname van de golfhoogten de morfologische dynamiek af. Gelijktijdig neemt door de sterke aanzanding de zandinhoud van dit gebied toe. In de gebieden ten zuiden en ten noorden van het luwtegebied veranderen de hydraulische randvoorwaarden niet. Wel worden er ter compensatie van de erosie, zandsuppleties uitgevoerd. Dit betekent dat de morfologische dynamiek na aanleg van het eiland deels kunstmatig wordt bepaald. Als netto effect voor het totale gebied wordt verwacht dat de veerkracht van het

---

beschouwde kustvak toeneemt. Deze toename zal voor ONL2 groter zijn dan voor ONL1.

ONL3 en ONL4: Ook voor deze varianten zijn de bovenstaande processen van belang. Alleen zal de omvang van de veranderingen kleiner zijn. Ook bij deze varianten wordt als netto effect verwacht dat de veerkracht van het gehele kustvak toeneemt.

### 3.5 Recreatie

Voor de recreatie zijn in dit rapport de parameters: strandbreedte, sedimentsamenstelling en stromingspatroon onderzocht. De eerste 2 hebben betrekking op de (gebruiks)mogelijkheden. Voor de veiligheid van de badgasten is het voorkomen van ongewenste stromingspatronen van belang.

Effecten die kortstondig optreden worden niet beschouwd. Een voorbeeld hiervan is de kleur van suppletiezand. Doordat dit zand uit de Noordzeebodem wordt gehaald, heeft het soms door reductie een grijze kleur. Deze kleur wordt door strandbezoekers negatief beoordeeld. Na enkele dagen krijgt het zand vanzelf de gewenste kleur terug.

#### 3.5.1 stromingspatroon

De grootste veranderingen in de *getijstroming* vinden op voldoende afstand van het strand plaats en hebben dan ook geen negatieve invloed op de recreatie. Bij ONL1 en ONL2 nemen de stroomsnelheden dichters langs de kust zelfs aanmerkelijk af. Of dit gunstig is voor de recreatie is nog maar de vraag. De veiligheid neemt toe, maar de zee wordt mogelijk wel als minder spannend ervaren.

De veiligheid van strandrecreanten hangt af van het voorkomen van *muistromen*. Het voorkomen en de sterkte van deze stroming wordt vooral bepaald door de aanwezigheid en de vorm van brekerbanken. Het is vooralsnog niet duidelijk hoe dit zal veranderen bij de verschillende varianten. Voorts lijkt het sowieso van belang om bij variant ONL1 de *opening in de dam* voldoende ver uit de kust te leggen. Zo wordt vermeden dat de stroomsnelheden dicht bij het strand te sterk worden.

#### 3.5.2 brandingsenergie

Naast de strandbreedte speelt ook de hoeveelheid *brandingsenergie* een rol bij de recreatieve waarde van het strand. Meer variëteit wordt waarschijnlijk positief gewaardeerd. Deze waardering is natuurlijk sterk afhankelijk van de plaats waar de brandingsenergie zal toe- of afnemen. Bij varianten ONL1 en ONL2 zijn er afhankelijk van de heersende golfrichtingen aan de ene of de andere kant van de dam luwtegebieden, waar de branding significant minder zal zijn. Dit kan aantrekkelijk zijn voor bijvoorbeeld gezinnen met kleine kinderen. Tijdens periode met hogere golven kunnen er bovendien bij deze varianten gebieden langs de Hollandse kust ontstaan waar de branding, ten opzichte van de huidige situatie, toeneemt. Ook dat kan aantrekkelijk zijn voor surfers en andere waaghalzen.

#### 3.5.3 strandbreedte

De Hollandse kust is gezegend met een fraai licht-kleurig zandstrand dat tijdens de zomer enkele tientallen meters breed is. Er zijn een paar uitzonderingen: de Hondsbossche Zeewering (geen strand), het smalle strand bij Ter Heijde en het brede strand bij IJmuiden en Hoek van Holland. Vanuit het oogpunt van recreatie is het ideale strand beperkt in breedte. Bij een te grote breedte moet men simpelweg te ver lopen om het water te bereiken.

ONL1 en ONL2: In de luwte van het eiland zal de *strandbreedte* toenemen. Ten zuiden en noorden zal door erosie de breedte juist afnemen. Er vanuit gaande dat het huidige kustbeleid gehandhaafd blijft, dan wordt de afname van de strandbreedte in de kustvakken ten zuiden en ten noorden van het eiland gecompenseerd met zandsuppleties. Op deze locaties zal hierdoor gemiddeld over meerdere jaren de strandbreedte niet veranderen.

ONL3 en ONL4. Ook bij deze varianten neemt de strandbreedte in het schaduwgebied landwaarts van het eiland toe. Deze toename zal echter veel kleiner zijn in vergelijking met de damvarianten. Hoe verder het eiland uit de kust ligt des te minder de strandbreedte toeneemt. Er vanuit gaande dat het huidige kustbeleid gehandhaafd

---

blijft, dan wordt de afname van de strandbreedte in de kustvakken ten zuiden en ten noorden van het eiland gecompenseerd met zandsuppleties. Op deze locaties zal hierdoor gemiddeld over meerdere jaren de strandbreedte niet veranderen.

#### 3.5.4 sedimentsamenstelling

Ook de sedimentsamenstelling heeft invloed op de recreatiemogelijkheden van het strand. Een strand met veel slib wordt door bezoekers van het strand, zeker in de zomermaanden, niet gewaardeerd.

ONL1 en ONL2: In de luwte van het eiland neemt de hydraulische dynamiek af. Dit effect is het grootst bij een volledig gesloten dam (ONL2). In gebieden met een geringe stroomsnelheid, bijvoorbeeld de scherpe hoeken tussen het eiland en de dam, kan slib bezinken.

ONL3 en ONL4: De getijstroom wordt niet door een dam geblokkeerd. De stroomsnelheid tussen het eiland en de kust wordt zelfs groter. Het is dan ook onwaarschijnlijk dat het slibgehalte verandert; de *sedimentsamenstelling* blijft identiek.

### 3.6 Scheepvaart

De Hollandse kust wordt onderbroken door de vaargeulen naar Rotterdam en IJmuiden. De vaargeul naar IJmuiden is gelegen in het zoekgebied voor een eiland in zee. Een eiland in zee heeft effecten op de waterbeweging en beïnvloedt daardoor de toegankelijkheid van de haven. In eerder onderzoek (Marine Safety Rotterdam, 1998) is gebleken dat deze effecten zeer sterk afhangen van de exacte ligging en vorm van het definitieve ontwerp. Deze effecten worden daarom in een latere fase onderzocht. Dit rapport geeft alleen een eerste vooral kwalitatieve inschatting van de mogelijke effecten van een eiland op de scheepvaart.

In de huidige situatie hebben zowel de getijstrooming als de doorgaande scheepsroutes een hoofdzakelijk kustparallel oriëntatie. De doorgaande scheepsroutes liggen buiten de NAP -20 m lijn; via de Euro-Maasgeul en IJgeul varen de grote schepen naar de havens van Rotterdam en Amsterdam. Alleen de visserij en de recreatievaart vaart dicht onder de kust.

#### 3.6.1 stroomsnelheid

Voor de scheepvaart is met name de *stroming* dwars op de vaarrichting (vaargeul) belangrijk. Een sterke dwarsstroming is ongunstig voor de manoeuvreerbaarheid. Naast de absolute grootte van de dwarsstroom zijn ook de gradiënten, c.q. stroomversnellingen of -vertragingen, van belang.

ONL1 en ONL2: Door de blokkerende werking van de dam neemt de stroomsnelheid sterk af tussen het eiland en de kust, terwijl de getijstrooming aan de zeezijde van het eiland juist sterk toeneemt. Uit onderzoek naar de gevolgen van de aanleg van Maasvlakte 2 op de dwarsstromen in de Euro-Maasgeul bleek dat op relatief korte afstand van de uitbouw een dwarsstroom resteert die acceptabel is voor de scheepvaart. Om een te sterke dwarsstroom te vermijden, wordt een minimale afstand tussen het eiland en de IJgeul van 5-10 km aanbevolen. Door de dam nemen ook de oost-west gerichte stroomsnelheden toe, waardoor de dwarsstroom lokaal toeneemt. Deze toename is bij ONL1 iets geringer dan bij ONL2. De aanwezigheid van een dam dwingt de kustzone gebonden scheepvaart en recreatievaart om het eiland aan de zeezijde te passeren. Hierdoor zal de doorgaande scheepvaart geen nadelig effect hebben van de lokaal sterke stroming naar de opening in de dam (ONL1).

ONL3 en ONL4: Bij de eilanden zonder dam komt een schip in de aanloop naar IJmuiden eerst in een verhoogde dwarsstroom, vervolgens in een verlaging en daarna weer in een verhoging ten opzichte van de ongestoorde situatie. Zolang de eilanden maar voldoende ver, ten minste 5 km, weg liggen van de IJgeul zullen de dwarsstroomsnelheden weliswaar iets toenemen, maar tot problemen zal dit naar verwachting niet leiden. Omdat de kustgebonden scheepvaart dicht onder de kust vaart is te verwachten dat ONL4 een iets grotere verstoring geeft dan ONL3.

#### 3.6.2 golfhoogte

---

Er wordt geen significante beïnvloeding van de manoeuvreerbaarheid verwacht als gevolg van veranderende *golfhoogte*. Voorwaarde hiervoor is wel dat het ontwerp van het eiland dusdanig wordt uitgevoerd dat geen grootschalige reflectie van golven optreedt.

Speciale aandacht dient te worden besteed aan de interactie tussen stroming en golfvoortplanting. Het is niet onwaarschijnlijk dat in de uitstroom door het gat in de dam (ONL1) *golfcondities* ontstaan, die hinderlijk kunnen zijn voor kleinere schepen, waaronder plezierjachten.

### 3.6.3 seiches

*Seiches* kunnen ontstaan in min of meer gesloten bekken. Zijn die er niet, dan zal er ook geen resonantie van langere golven optreden. In geen van de varianten is sprake van een dergelijk gesloten bekken, zodat dit aspect naar verwachting geen rol van betekenis zal spelen.

### 3.6.4 aanzanding vaargeul

De toegangsheulen naar Hoek van Holland en IJmuiden zijn dieper dan de omgeving zodat de stroomsnelheid in de heulen relatief laag is. Ook kunnen de golven door de grotere waterdiepte minder zand opwerpen. Door beide effecten is de transportcapaciteit in de heulen kleiner dan in de directe omgeving. Het met de stroming meegevoerde zand bezinkt hierdoor voor een deel in de vaargeul; de toegangsheulen fungeren als zandvang. Er is geen schatting van de transporten naar de IJgeul toe, dan wel een schatting van de hoeveelheid sediment die jaarlijks in de geul terecht komt. Op basis van een modelberekening is het transport naar de Maasgeul geschat op 50 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/j (van Rijn, 1999). Voor de IJgeul zal deze waarde aan de hoge kant zijn aangezien deze geul minder diep en breed is in vergelijking tot de Maasgeul. Wanneer wordt aangenomen dat de genoemde waarde representatief is voor het gebied vanaf de havenhoofden tot aan de NAP -20 m lijn, dan bedraagt het transport naar de geul toe circa 100.000 m<sup>3</sup>/j. Het merendeel van dit transport zal in de geul sedimenteren. Een exacte waarde voor de effectiviteit van de geul (vangefficiëntie), d.w.z. de verhouding tussen het aangevoerde sediment dat in de geul bezinkt en de hoeveelheid die ongestoord de geul passeert, is niet bekend. Op een diepte van NAP -8 m ligt de geulbodem duidelijk lager. Door dit reliëf verschil zal de effectiviteit hoog zijn. Op grotere waterdiepte zal door het geringere hoogteverschil de effectiviteit kleiner zijn. Het gebaggerde sediment wordt voor het grootste deel ten noorden van de IJgeul gestort. Het netto dwarstransport over de NAP -8 m lijn wordt geschat op 10-30 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/j (van Rijn, 1995).

ONL1 en ONL2: Verwacht wordt dat de *aanzanding*, c.q. het onderhoud van de vaargeul, afneemt. Door de afnemende golfwerking bij (zuid)westen wind neemt ook het brandingsstroom transport rond het zuidelijke havenhoofd af. Dit heeft een verlagend effect op de aanzanding. Alleen in het verlengde van de erosiekuil aan de noordelijke kop van het eiland moet er rekening mee worden gehouden dat het onderhoud van de vaargeul iets toeneemt.

Door de geconcentreerde uitstroming door de opening in de dam (ONL1), wordt lokaal de transportcapaciteit groter. De aanzanding zal lokaal toenemen. Dit effect is echter gering en heeft waarschijnlijk geen invloed op het jaarlijks onderhoud.

Bij ONL3 en ONL4 zal ook elders in de IJgeul meer zand kunnen bezinken. Het sediment is afkomstig uit de erosiekuilen. Met name in de eerste jaren na aanleg kan er sprake zijn van een toename in het onderhoudswerk van de IJgeul. Wanneer het eiland verder dan 10 à 15 km van de vaargeul is gelegen zal dit effect klein zijn. De afstand tussen het eiland en de kust heeft geen significante invloed op de hoeveelheid aanzanding in de geul; wel natuurlijk op de exacte locatie.

Onzeker is nog of het ontstaan van grootschalige wervelstraten en circulatiecellen en de bodemveranderingen op grotere afstand van het eiland invloed hebben op het onderhoud van de Euro-Maasgeul of IJgeul. Als er een effect optreedt dan zal dit door de relatief geringe getijtransporten op diep water gering zijn. Door de grote ruimtelijke afmetingen van het beïnvloede gebied zal het effect altijd optreden hoe ver een eiland ook van een vaargeul af komt te liggen. Duidelijk is dat dit aspect nog nader moet worden onderzocht.

## 3.7 Kabels en leidingen

---

Er lopen tal van kabels en pijpleidingen over de zeebodem. Een deel daarvan ligt bewust onder de zeebodem teneinde het risico van beschadiging te beperken. Kabels hebben de eigenschap veranderingen in de ligging van de zeebodem te volgen; (starre) pijpleidingen veel minder. In de gebieden waar erosiekuilen verwacht worden zal rekening gehouden moeten worden met het blootkomen van de daar aanwezige *kabels en leidingen*. Van belang is dan ook een inschatting te maken hoe groot de vrije overspanning wordt. Een toename van de bedekking is voor kabels en leidingen in het algemeen niet bezwaarlijk.

Een ander relevant aspect heeft betrekking op de *shoreface-connected ridges* voor de Hollandse kust. Dit systeem van zandbanken zal zich vermoedelijk aanpassen aan de nieuwe hydrodynamische condities. Hoe precies, valt nu niet goed aan te geven. Wel is het een gegeven dat veel kabels en pijpleidingen door dit bankensysteem lopen, zodat het voor het vervolgtraject noodzakelijk is om hier meer inzicht in te krijgen (figuur 3.13).

ONL1 t/m ONL4: Voor alle varianten geldt dat door stroomcontractie direct rondom het eiland de zeebodem sterk zal verdiepen. De stabiliteit van de daar aanwezige infrastructuur zal moeten worden onderzocht. Op grotere afstand van het eiland kunnen veranderingen van de zandbanken tot problemen leiden.

ONL1: In het gebied van de uitstroming door het gat in de dam, dient met een verlaging van de zeebodem rekening te worden gehouden. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of dit problemen geeft of niet.

### **3.8 Effecten ten aanzien van ecologie**

#### **3.8.1 waterbeweging**

ONL1 en ONL2: Zowel de aangegeven grenzen van kanaalwater en kustwater als de oppervlakte frontgrens tussen het zoute Noordzee water en het zoetere water uit de Rijn-Maasmonding vallen binnen de invloedszone. Grootschalig gezien zijn de effecten niet uitgewerkt ter hoogte van de Waddenzee.

ONL3 en ONL4: Beïnvloeding van de frontgrens tussen het zoute Noordzeewater en het zoetere water uit de Rijn-Maasmonding is niet onwaarschijnlijk, zeker voor de variant op 20 km afstand. Grootschalig gezien zal dit effect op 25 tot 60 km van het eiland wel zijn verdwenen, maar onderzoek hiernaar wordt aanbevolen.

#### **3.8.2 kustzone**

Het ontstaan van ondiep water gebieden is beschreven in paragraaf 3.3.1). In deze paragraaf worden de veranderingen in de dynamiek van de zeebodem op basis van stroomsnelheid bodem en orbitaalsnelheid bodem aangegeven.

Er is sprake van *ondiep water gebied* wanneer de bodem tussen NAP -2 en -5 m ligt. Alleen bij de varianten met dam (ONL1 en ONL2) zal tussen het eiland en de kust, aan beide kanten van de dam, een ondiep water gebied ontstaan. De snelheid waarmee dit gebied ontstaat wordt bepaald door de aanvoer sediment. Na verloop van enkele tientallen jaren zal zich weer een nieuw dynamisch evenwicht in de bodemligging instellen.

De *beweeglijkheid van de toplaag* (omwoeling) van de zeebodem wordt vooral bepaald door getijstrooming, golfwerking en graafactiviteiten van bodemdieren. De getijstrooming en golven oefenen op de bodem schuifspanningen uit waardoor bijvoorbeeld het sediment wordt losgemaakt en kan worden getransporteerd. De invloed van de bodemdieren op de omwoeling van de bodem wordt in dit rapport niet behandeld. De te verwachten morfologische veranderingen geven de locatie waar het sediment in beweging zal komen. Zo wordt bij de erosiekuilen voortdurend sediment van de bodem verwijderd. In sedimentatiegebieden zal het bodemleven worden bedekt met nieuw sediment. Een andere indicatie is gegeven door de orbitaalsnelheden dichtbij de zeebodem (tabellen 3.1 en 3.2). De genoemde waarden zijn alleen geldig voor de huidige situatie en in de eerste jaren na de aanleg van het eiland (initieel). Na verloop van tijd zal namelijk de diepteligging van de bodem veranderen waardoor ook de invloed van stroming en golven weer wijzigt.

ONL1 en ONL2: Door de afscherpende werking neemt in de luwte van het eiland de *beweeglijkheid* van de toplaag af. In dit gebied wordt zowel de stroomsnelheid als de orbitaalsnelheid lager. De orbitaalsnelheid neemt zelfs met 40 tot 90% af. Na verloop van tijd (decaden) zal de zeebodem een nieuw evenwicht bereiken. Doordat de



---

waterdiepte dan is afgenomen, is de beweeglijkheid van de toplaag weer toegenomen.  
Bij ONL1 neemt onder invloed van de sterke stroming door het gat in de dam de dynamiek van de toplaag lokaal sterk toe.

ONL3 en ONL4: In de gebieden waar stroomcontractie optreedt neemt de stroomsnelheid bij de bodem toe. Dit zal leiden tot een verlaging van de zeebodem. In de luwte van het eiland nemen de orbitaalsnelheden initieel met 10 tot 30% af.

Per saldo zal bij de varianten ONL3 en ONL4 de beweeglijkheid van de toplaag minder veranderen dan bij ONL1 en ONL2.

### 3.8.3 strand en duinen

#### *saltspray (zoutnevel)*

Saltspray bestaat uit zeer kleine zoutdeeltjes die via verschillende mechanismen uit zeewater "opsprengen", als aerosol in de lucht worden opgenomen en door de wind worden getransporteerd (Brouwer, 1999). De intensiteit wordt bepaald door twee parameters: de afstand van de brekerlijn tot de duinen (hoe groter de afstand, hoe minder saltspray de duinen kan bereiken) en het optreden van stormen (stormgolven genereren een orde meer zoutspray dan gemiddelde golven). Vooral door de eerste zeereep worden veel zoutdeeltjes ingevangen.

Saltspray is via twee mechanismen belangrijk voor de vegetatie-ontwikkeling in de duinen. Typische zeereepplanten zijn goed bestand tegen hoge zoutgehaltes en gebruiken het inwaaiende zout voor hun voeding. Anderzijds belemmert een te hoog zoutgehalte de ontwikkeling van struiken en bomen.

Het belang van zoutspray voor de vegetatie-ontwikkeling is, volgens onderzoek dat in het kader van Maasvlakte 2 is uitgevoerd, minder groot dan tot voor kort werd aangenomen (Brouwer, 1999). De belangrijkste conclusie is dat saltspray wel een relevante, maar geen dominante ecologische factor is. De vegetatie wordt waarschijnlijk primair bepaald door "klassieke" ecologische factoren als grondwaterstand, nutriëntengehalte en kalkrijkdom.

ONL1 en ONL2: Verwacht wordt een vermindering van de zoutnevel productie voor de kustduinen. Omdat deze evenredig is met de energie-dissipatie betekent dit voor de Zuidhollandse kust een totale reductie van orde 40% à 60%, met zeer sterke ruimtelijke variaties.

ONL3 en ONL4: Door reductie van met name de windgolven wordt een vermindering van zoutnevel productie voor de kustduinen verwacht. Omdat deze evenredig is met de energie-dissipatie betekent dit voor de Zuidhollandse kust een totale reductie van orde 20% (eiland op 20 km) tot 40% (eiland op 10 km), echter ook met sterke ruimtelijke variaties.

#### *morfologische dynamiek*

Het Nederlandse duingebied heeft een grote rijkdom aan soorten en vegetatietypen veroorzaakt door een grote afwisseling in dynamiek van het fysische milieu op een kleine en grote schaal. Morfologische dynamiek is een belangrijk factor bij duinvorming. Deze dynamiek kan enerzijds voor zorgen dat er duinafslag zal optreden. Hierbij wordt een deel van het zand uit de duinen weggeslagen en weer op het strand of de vooroever afgezet. Dit zand komt hierdoor onder invloed van transportprocessen in de kustzone. Daarnaast kan de kustlijn door aanzanding zeewaarts verplaatst worden waardoor er ruimte is voor primaire duinvorming.

In de luwte van het eiland en de dam, nemen de stroomsnelheden en golfwerking af. Dit beïnvloedt de *morfologische dynamiek* binnen een kustlengte van circa 20 km. De exacte ligging van het invloedsgebied wordt bepaald door de windrichting, c.q. de invalshoek van golven op dat moment.

ONL1 en ONL2: Door de grote uitbouw van het strand vanaf de damaanzetten ontstaat een brede strandvlakte en wordt de afstand tussen de zee en de duinen vergroot. Op de strandvlakte kan, al dan niet gestimuleerd door beheersmaatregelen, een nieuw dynamische jonge duinregel ontstaan. Met name bij de varianten met een dam kunnen op deze wijze meerdere duinregels groeien.

Het brede strand vergroot de afstand tussen de zee en de duinen. De windsterkte en dus ook het zandtransport naar de huidige zeereep vermindert. Hierdoor neemt de morfologische dynamiek in de duinen af. De duindynamiek zal niet zozeer afnemen door een verandering van het windklimaat, maar meer door de afname van zoutnevel.

---

De zoutnevel heeft namelijk invloed op de vegetatie en daarmee indirect ook op de duindynamiek.

Als de omvang van de nieuwe strandvlakte nog beperkt is, kan er tijdens stormen meer duinafslag plaatsvinden. Dat kan ten koste gaan van de vegetatie van de voorste duinrijen.

ONL3 en ONL4: In het schaduwgebied van het eiland zal de stranddynamiek afnemen. Doordat het water vrij tussen het eiland en de kust door kan stromen, zullen de veranderingen kleiner zijn in vergelijking met de damvarianten. De verandering van de windsterkte en het zandtransport zullen beperkt zijn. Veranderingen in de morfologische dynamiek van de duinen is dan ook beperkt.

### 3.8.4 Waddenzee

De karakteristieke morfologie van de Waddenzee met geulen en plaatgebieden is afhankelijk van hydrodynamische eigenschappen als getijslag en getijdebieten en van het zandaanbod door de zeegaten.

Om de zeespiegelstijging te kunnen blijven volgen heeft de Waddenzee zand nodig. Dat zand wordt geleverd door de kusten, de buitendelta's en de onderzeese oever rond de zeegaten, getuige de significante structurele erosie in deze gebieden. Hoewel over deze erosie geen twijfel bestaat, is er weinig met zekerheid bekend over de omvang van de jaarlijkse netto zandtransporten door de zeegaten naar de Waddenzee. Veranderingen in het getijdebiet en de getijslag in de zeegaten kunnen het evenwicht tussen geul- en plaatareaal in de Waddenzee beïnvloeden. Zo is het mogelijk dat als gevolg van de iets grotere getijslag in het Marsdiep de geulen verruimen en de platen groeien. Deze ontwikkeling gaat dan ten koste van het areaal aan ondiep water. Of deze ontwikkeling plaatsvindt hangt mede af van de getijdebieten en het sedimentaanbod door de zeegaten.

ONL0: Het verschil tussen hoogwater en laagwater, de *getijslag*, in het Marsdiep bedraagt 1,31 m. Deze waarde geldt voor de huidige situatie bij gemiddelde getij en is berekend met het 3D-model TRIWAQ. Het rekenpunt ligt iets ten oosten van de lijn Den Helder - Texel. De berekende waarde is 8 cm lager dan het meerjarig gemiddelde van de gemeten getijslag (paragraaf 3.3.1). ONL1 en ONL2: De maximale *debieten* door het Marsdiep veranderen niet. Wel stroomt tijdens vloed meer water, maximaal 2% (ONL2), de Waddenzee in. Bij de eilandvarianten met dam neemt de *getijslag* toe met 2 cm (ONL1) of 5 cm (ONL2). Als gevolg hiervan verandert ook de *stroomsnelheid* in het kombergingsgebied van het Marsdiep. De maximale verandering in de bovenste waterlaag is 0,10 m/s. De verandering in de voor het zandtransport belangrijke onderste laag is kleiner. Zowel de toename van het debiet als de toename van de getijslag zijn dermate gering dat er geen significante veranderingen van de geuldoorsnede of het plaatareaal worden verwacht. De eiland varianten zonder dam (ONL3 en ONL4) hebben geen invloed op de getijslag in en of het debiet naar in de Waddenzee en dus ook geen aantoonbare invloed op de morfologische ontwikkelingen in de Waddenzee.

Het *zandtransport* door het Marsdiep wordt bepaald door het aanbod van zand, de stroomsnelheden en de asymmetrie van het getij. Er is sprake van getijasymmetrie als bijvoorbeeld de maximale vloodsnelheden hoger zijn dan de maximale ebsnelheden. Wanneer dit het geval is dan wordt er gemiddeld per getij (netto) zand door het zeegat naar de Waddenzee getransporteerd (zandimport). In de omgekeerde situatie is er sprake van zandexport. In de buitendelta van het Marsdiep is een ruime hoeveelheid zand aanwezig. Het transport door het Marsdiep neemt na de aanleg van de Afsluitdijk exponentieel af (Marion, 1999). In de periode 1939-1949 bedroeg de import van sediment nog gemiddeld ongeveer 7,5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. In de periode 1991-1997 is dit nog maar 0,1 ± 0,2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Het transport is ook met een morfodynamisch procesmodel berekend (Steijn et al, 1997). De berekening over de periode 1991-1994 duidt op export van sediment (orde 0,3 miljoen m<sup>3</sup>/jaar). Gezien de geringe hoeveelheid en de onzekerheid daarin is de conclusie dat het Marsdiep momenteel geen duidelijk importerend of exporterend systeem is. Er is geen systematische trend te onderkennen. Wel moet rekening worden gehouden met jaarlijkse fluctuaties.

Bij het sedimenttransport naar de Waddenzee is een onderscheid gemaakt tussen zand en slib. Aangezien het grootste oppervlak van de Waddenzee bedekt is met sediment waarin het zandpercentage aanzienlijk hoger is dan het slibpercentage, is aangenomen dat het zandtransport de grootste morfologische veranderingen in de Waddenzee veroorzaakt. Uitzondering hierop zijn enkele meer slibrijke gebieden (50-80% slib) direct aansluitend op de Friese en Groningse kust.

ONL1 en ONL2: De toename van het debiet tijdens vloed en de toename van de getijslag in het Marsdiep is dermate gering dat de verwachting is dat het

---

zandtransport naar de Waddenzee niet merkbaar verandert. Voorwaarde is wel dat de zandaanvoer naar de Waddenzee niet verandert. Aan deze voorwaarde wordt voldaan als het lokale zandverlies aan de Noordhollandse kust volledig met zandsuppleties wordt gecompenseerd.

ONL3 en ONL4: Deze varianten hebben geen invloed op de waterbeweging in de Waddenzee waardoor er ook geen effecten op het zandtransport zullen optreden.

Het *plaatareaal* van de Waddenzee hangt mede af van de getijdebieten en het sedimentaanbod door de zeegaten. Theoretisch kunnen als gevolg van de iets grotere getijslag in het Marsdiep de geulen verruimen en de platen groeien. Deze ontwikkeling gaat dan ten koste van het areaal aan ondiep water. Gezien de minimale toename van de getijslag (bij gemiddeld getij maximaal 5 cm), is de verwachting dat de geuldoorsnede en het plaatareaal in de Waddenzee niet merkbaar verandert. Dit geldt voor alle hier beschouwde varianten.

### 3.9 Onzekerheidsmarges

In deze fase van beoordeling, gebaseerd op expertmeningen, is het niet mogelijk de kwantificering met de vereiste nauwkeurigheid te genereren. Hiervoor zijn op zijn minst, nadere onderbouwende en gedetailleerde studies op grond van de huidige kennisstand noodzakelijk. Het bepalen van wat de "vereiste" nauwkeurigheid is, is overigens geen triviale kwestie. Dit hangt af van de mate van onzekerheid die nog toelaatbaar is voor het nemen van een go/no-go beslissing en uiteindelijk van de mate waarin de onzekerheid doorwerkt in de totale kosten van aanleg en mitigering of substitutie van de milieu-effecten.

Er is geen ervaring met grootschalige ingrepen als een eiland in zee. In feite berusten de voorspellingen op extrapolatie van de huidige kennis. Hierdoor zijn de onzekerheidsmarges groot. Het gebruik van morfologische modellen in een volgende fase kan deze onzekerheid verkleinen.

De stroomsnelheids- en golfveranderingen zijn gebaseerd op de huidige bodemligging in de omgeving van het eiland. In de indicatieve berekeningen is geen rekening gehouden met zandwinning en de morfologische veranderingen die direct na aanleg van een eiland zullen gaan optreden.

De nauwkeurigheid van de stroomberekeningen en golfberekeningen is circa 10%. Door het relatieve verschil tussen een variant en de huidige situatie te bepalen is de fout verwaarloosbaar. In dit geval heffen bijvoorbeeld absolute fouten in de gebruikte randvoorwaarden elkaar op.

De kwantitatieve schattingen van de zandtransport- en morfologieparameters betreffen orde van grootte schattingen met een nauwkeurigheid van een factor 2 tot 3.

De grootste onzekerheden hebben betrekking op de voorspelling van de effecten op de reststroom, morfologische ontwikkeling in dieper water en de morfologische ontwikkeling in de Waddenzee.

---

---

## 4 Conclusies

---

### 4.1 Algemeen

Dit hoofdstuk bevat de conclusies. Deze conclusies zijn alleen geldig als de effecten zoals beschreven in het vorige hoofdstuk ook daadwerkelijk zijn opgetreden.

De conclusies hebben betrekking op de volgende varianten:

- een ruitvormig eiland van 8500 ha op 20 km van de kust met gedeeltelijk open oeververbinding haaks op de huidige kustlijn;
- een ruitvormig eiland van 8500 ha op 20 km van de kust met een volledig gesloten dam;
- een ruitvormig eiland van 8500 ha op 20 km van de kust met een in de zeebodem verzonken tunnel tussen het eiland en de huidige kust;
- een ruitvormig eiland van 8500 ha op 10 km van de kust met een ondergrondse tunnel.

De aanleg van een eiland met de voorgestelde omvang is voor Nederland uniek. Om inzicht te geven in de effecten van het eiland op de morfologie van de kust is gebruik gemaakt van de kennis van deskundigen en enkele indicatieve modelberekeningen. Dit impliceert dat de onzekerheid in de voorspellingen groot is. Gezien het verkennende karakter van deze studie, is dit acceptabel. In de volgende fase moet door het uitvoeren van onderzoek en modelsimulaties deze onzekerheid worden verkleind.

### 4.2 Kustveiligheid

De centrale vraag in deze paragraaf is:

Wat zijn de consequenties van de veranderingen in belasting en sterkte op de (initiële) kustveiligheid?

#### 4.2.1 Belasting; effect van ontwerp-peilen

De belasting van de waterkering wordt bepaald door de waterstanden, getijstrooming en golven. Bij het ontwerp van een waterkering is het ontwerp-peil maatgevend.

De meeste hydraulische veranderingen als gevolg van de eilandvarianten hebben geen direct effect op de kustveiligheid. Aandacht verdient de opslingering van het getij tegen de zuidelijk oever van de dam bij de betreffende damvarianten. Het mogelijke effect van een maximale toename in de lokale getijslag, volgens schattingen variërend tussen 30 cm (gemiddeld getij) en maximaal 100 cm (springtij), rechtvaardigt nadere studie naar de sterkte van de zeewering ter plaatse van de damverbinding aan de kust.

Maatgevend voor de veiligheid is echter de maximale opstuwing van de waterstanden bij een zeer zware storm (ontwerp-storm). De schattingen over de opstuwingseffecten bij een maatgevende storm uit noordwestelijke richting welke optreden bij de varianten met een dam, pleiten voor een aanpassing van de ontwerp-peilen in het gebied ten noorden van de dam. De omvang van de gevraagde aanpassing van de ontwerp-peilen varieert naar eerste schatting, van 10 tot 20 cm verhoging over een kustlengte van circa 25 km. Nader onderzoek in deze lijkt geboden. Afhankelijk van de locatie kan dit betekenen dat er extra maatregelen moeten worden genomen m.b.t. de veiligheid van het achterland tegen overstromen.

#### 4.2.2 Sterkte; effect van morfologische veranderingen

De sterkte van een zeewering wordt voornamelijk bepaald door de morfologische opbouw van de kust. De te verwachte morfologische veranderingen (paragraaf 3.3.2) bepalen de sterkte van de zeewering na aanleg van de varianten van een vliegveld in zee.

Al hebben de meeste hydraulische veranderingen als gevolg van de eilandvarianten geen direct effect op de kustveiligheid, indirect is dat wel het geval. De veranderingen in stroomsnelheden en golfenergiefluxen op de kust hebben wel rechtstreeks

---

morfologische veranderingen tot gevolg. Deze morfologische veranderingen op hun beurt beïnvloeden de kustveiligheid wel. Enerzijds doordat de sterkte van de zeewering kan veranderen door sedimentatie en erosie, anderzijds doordat de belasting kan veranderen door een veranderd stroom- en golfveld op de kust.

De voorspelde morfologische veranderingen van de kustzone maken het niet waarschijnlijk dat deze negatieve effecten zullen hebben op de sterkte van de zeeweringen. Waar in erosiegebieden hiervan al sprake zou kunnen zijn, wordt immers volgens het huidige beleid de structurele erosie door suppleties gecompenseerd. Waar na aanleg van een eiland een toename van het ondiep water areaal optreedt, zou de belasting op de zeewering kunnen toenemen als gevolg van een verhoogde opstuwing van het water, veroorzaakt door een hogere bodemwrijving. Echter, door dezelfde verhoogde bodemwrijving zullen de golfhoogtes afnemen. Het netto effect is een afname van de belasting en dus positief voor de veiligheid.

### **4.3 Kustlijnhandhaving**

De centrale vraag in deze paragraaf is:

Wat zijn de consequenties van de grootschalige morfologische veranderingen op de kustlijnhandhaving?

Bij het huidige beleid van dynamisch handhaven van de kustlijn wordt ingegrepen op die plaatsen langs de kust waar structurele erosie plaats vindt. Het zandtekort wordt dan aangevuld door middel van zandsuppleties. Voor de bepaling van waar gesuppleerd gaat worden is primair de basiskustlijn (BKL) van belang. Deze wordt bepaald door de zandinhoud van strand (en duinen) en de ondiepe vooroever. Veranderingen van de diepere oever kunnen op langere termijn van belang zijn voor de handhaving van de kust. Vanaf 2000 zullen daarom ook zandverliezen op dieper water gecompenseerd worden door middel van suppleties.

#### **4.3.1 Effecten op kustlijnhandhaving**

In de gebieden ten zuiden en ten noorden van het sedimentatiegebied vindt erosie plaats met, evenredig aan de optredende aanzanding, in zijn totaliteit een maximale snelheid van 1 miljoen m<sup>3</sup> per jaar (paragraaf 3.3.2). Om deze erosie met suppleties te compenseren is voor de damvarianten jaarlijks orde 55% meer suppletiezand nodig.

Bij de eilandvarianten met een tunnelverbinding wordt de kustlijn minder ver zeewaarts verplaatst en werken de effecten minder lang door d.w.z. enkele tientallen jaren tot een eeuw. De erosie ten noorden en ten zuiden van het aanzandingsgebied is dan ook kleiner. De toename van het totale jaarlijkse kustonderhoud zal maximaal met ongeveer 10% toenemen.

Door de aanleg van de verschillende eilandvarianten zal op verschillende locaties op de diepere zeebodem erosie en sedimentatie plaatsvinden. Voor het overgrote deel betreffen deze zandverplaatsingen een lokale herverdeling van het sediment binnen het kuststelsel zonder dat zand aan het stelsel wordt onttrokken. De netto zandverliezen op dieper water worden nauwelijks beïnvloed. Het is dan ook niet de verwachting dat de eilandvarianten het kustonderhoud veel verder zullen doen toenemen als gevolg van de noodzaak tot compensatie van extra diep water verliezen.

De kans dat de huidige kustlijn aan het eiland vastgroeit is bij alle tunnelvarianten nihil. Het getij zal tussen het eiland en de kustlijn door blijven stromen en eerder erosie dan sedimentatie tot gevolg hebben. Deze algemene regel geldt zolang het eiland niet te dicht bij de kust ligt. Om deze afstand bij de beschouwde omvang en vorm niet te naderen, wordt aanbevolen om een minimale afstand van 10 km tussen het eiland en de huidige kustlijn te handhaven. Hierdoor blijft de kans op sedimentatie, c.q. het vastgroeien van het eiland aan de kust, gering.

### **4.4 Veerkracht**

De centrale vraag in deze paragraaf is:

Wat zijn de consequenties van de grootschalige morfologische veranderingen op de veerkracht van de kust?

De veerkracht van het kuststelsel wordt voornamelijk bepaald door de beschikbare ruimte voor natuurlijke dynamiek en de zandinhoud van het stelsel. Onder de

dynamiek van een systeem wordt verstaan de afwisseling in plaats en tijd van de waterbeweging (hydrodynamiek) en de morfologie (morfodynamiek). Zo neemt bijvoorbeeld de hydrodynamiek door golfreductie af en door stroomcontractie toe. Wanneer door de aanleg van een eiland lokaal de hoeveelheid zand toeneemt door sedimentatie, dan neemt de ruimte voor de morfodynamiek van het kuststelsel toe. De veerkracht wordt hierdoor vergroot. Voorwaarde is wel dat het zand onder invloed blijft staan van natuurlijke processen en niet volledig tussen kunstmatige dijken wordt vastgelegd. In het algemeen zal in aanzandingsgebieden de veerkracht toenemen en afnemen in erosiegebieden.

#### 4.4.1 Effecten op veerkracht

Het systeem zal blijven functioneren met de huidige natuurlijke processen (morfodynamiek, hydrodynamiek), deze zullen alleen op sommige plaatsen in intensiteit veranderen. Met name bij de damvarianten kan de intensiteit van de processen aanzienlijk toenemen. Zo zullen initieel grote zandtransporten optreden waardoor de voorspelde morfologische ontwikkelingen kunnen plaatsvinden. Pas na enkele tientallen jaren zullen deze extra zandtransporten geleidelijk afnemen. De optredende sedimentatie en erosie behelst in hoofdzaak een grootschalige herverdeling van zand binnen het systeem. Structurele achteruitgang van de kustlijn wordt door suppleties gecompenseerd. Dit betekent dat bij alle varianten de zandinhoud van de kustzone toe zal nemen. Door deze toename zal de veerkracht in de kustzone worden vergroot.

### 4.5 Conclusies Kustveiligheid, Kustlijnhandhaving en Veerkracht

De onderstaande tabellen (4.1 tot en met 4.3) geven een overzicht van de belangrijkste conclusies met betrekking tot de kustveiligheid, kustlijnhandhaving en veerkracht. In elke tabel is onderscheid gemaakt tussen de variabelen: positie langs de kust, afstand tot de kust en verbinding met de kust door middel van een dam. De eerste 2 variabelen hebben alleen betrekking op de eilandvarianten.

Tabel 4.1 Conclusies m.b.t. veiligheid tegen overstromen

veiligheid tegen overstromen	positie langs de kust
ontwerp-peil	de ontwerp-peilen zullen niet tot nauwelijks veranderen. Dit betekent dat er geen extra maatregelen hoeven te worden genomen m.b.t. de veiligheid van het achterland tegen overstromen
golfhoogte	de positie langs de kust is niet onderscheidend wat betreft de golfhoogte
	afstand tot de kust
ontwerp-peil	de ontwerp-peilen zullen niet tot nauwelijks veranderen. Dit betekent dat er geen extra maatregelen hoeven te worden getrokken m.b.t. de veiligheid van het achterland tegen overstromen
golfhoogte	bij een eiland op 10 km van de kust is de maximale verlaging van de golfhoogte 20%. Als de afstand tot de kust groter is zal de reductie lager zijn. Een lagere golfhoogte betekent in het algemeen dat de sterkte van de waterkering zal toenemen. Dit heeft een positief effect op de veiligheid tegen overstromen
	verbinding met de kust d.m.v. een dam
ontwerp-peil	de ontwerp-peilen nemen over een lengte van circa 25 km met 10-20 cm toe waardoor de zeereep lokaal eenmalig moet worden versterkt
golfhoogte	bij een eiland verbonden met een dam van de kust is de verlaging van de golfhoogte aan de kust 30-60%. Een lagere golfhoogte betekent in het algemeen dat de sterkte van de waterkering zal toenemen. Dit heeft een positief effect op de veiligheid tegen overstromen

Tabel 4.2 Conclusies m.b.t. kustlijnhandhaving

kustlijnhandhaving	positie langs de kust
kustonderhoud	het jaarlijkse kustonderhoud d.m.v. zandsuppleties neemt met ongeveer 10% toe
beheersbaarheid	langs het eiland ontstaan diepe erosiekuilen. Om aantasting van de harde zeewering rondom het eiland te voorkomen, moeten extra bodembeschermingsmaatregelen worden uitgevoerd
	de morfologische gevolgen van een eiland zullen gedurende een termijn van enkele tientallen jaren tot een eeuw doorwerken
	afstand tot de kust

kustonderhoud	het jaarlijkse kustonderhoud d.m.v. zandsuppleties neemt met ongeveer 10% toe. De afstand tot de kust heeft geen effect op de toename van het kustonderhoud. Wel neemt naar mate het eiland dichter bij de kust ligt, het aantal kuub's per eenheid van breedte toe
beheersbaarheid	langs het eiland ontstaan diepe erosiekuilen. Om aantasting van de harde zeewering rondom het eiland te voorkomen, moeten extra bodembeschermingsmaatregelen worden uitgevoerd
	bij een eiland op minder dan 10 km uit de kust bestaat de kans dat sedimentatie op de lange termijn (enkele eeuwen) zal leiden tot het ontstaan van een natuurlijke verbinding tussen het land en de kust .
	de morfologische gevolgen van een eiland zullen gedurende een termijn van enkele tientallen jaren tot een eeuw doorwerken
	verbinding met de kust d.m.v. een dam
kustonderhoud	het jaarlijkse kustonderhoud d.m.v. zandsuppleties neemt met ongeveer 55% toe
beheersbaarheid	langs het eiland ontstaan diepe erosiekuilen. Om aantasting van de harde zeewering rondom het eiland te voorkomen, moeten extra bodembeschermingsmaatregelen worden uitgevoerd
	de erosiekuilen zijn dieper terwijl er bovendien erosie aan weerszijden van de dam zal optreden
	de morfologische gevolgen van een eiland zullen gedurende een termijn van één tot twee eeuwen doorwerken

Tabel 4.3 Conclusies m.b.t. veerkracht

veerkracht	positie langs de kust
zandinhoud	de zandinhoud van het balansgebied neemt evenredig toe met de suppletiehoeveelheid: naast een interne herverdeling van zand wordt, door het compenseren van de kustlijnachteruitgang met suppleties, extra zand aan het systeem toegevoegd
morfologische dynamiek	in de luwte van het eiland neemt de morfologische dynamiek af, terwijl elders de morfologische dynamiek kunstmatig wordt bepaald door de suppleties
	afstand tot de kust
zandinhoud	de zandinhoud van het balansgebied neemt evenredig toe met de suppletiehoeveelheid: naast een interne herverdeling van zand wordt, door het compenseren van de kustlijnachteruitgang met suppleties, extra zand aan het systeem toegevoegd
morfologische dynamiek	in de luwte van het eiland neemt de morfologische dynamiek af, terwijl elders de morfologische dynamiek kunstmatig wordt bepaald door de suppleties
	verbinding met de kust d.m.v. een dam
zandinhoud	de zandinhoud van het balansgebied neemt evenredig toe met de suppletiehoeveelheid: naast een interne herverdeling van zand wordt, door het compenseren van de kustlijnachteruitgang met suppleties, extra zand aan het systeem toegevoegd
	de zandinhoud neemt meer toe in vergelijking met de tunnelvarianten
morfologische dynamiek	in de luwte van het eiland neemt de morfologische dynamiek af, terwijl elders de morfologische dynamiek kunstmatig wordt bepaald door de suppleties

Bij alle varianten zal het Noordzee-systeem zal blijven functioneren met de huidige kenmerkende natuurlijke processen Wel zal de intensiteit van deze processen op sommige plaatsen veranderen. Met name bij de damvarianten wordt verwacht dat de intensiteit van bijvoorbeeld het zandtransport aanzienlijk zal toenemen. Er zullen initieel grote zandtransporten optreden waardoor de voorspelde morfologische ontwikkelingen kunnen plaatsvinden. Pas na enkele tientallen jaren zal de intensiteit van deze zandtransporten (extra t.o.v. de huidige transporten) geleidelijk afnemen.

Wat betreft de effecten is er een duidelijk onderscheid tussen damvarianten en de tunnelvarianten. Wanneer het eiland door middel van een dam met de huidige kustlijn wordt verbonden dan wordt het golfgedreven transport volledig onderbroken waardoor de kustlijn zeewaarts wordt verplaatst. Bij de tunnelvarianten zal de kustuitbouw aanzienlijk kleiner zijn. Het golfgedreven transport neemt weliswaar af in de luwte van het eiland, maar wordt niet geblokkeerd.

Hoewel nog grote onzekerheden bestaan bij het voorspellen van de morfologische effecten kunnen wel in grote lijnen de effecten en de consequenties van deze effecten, worden geschetst.

*Effecten rondom het eiland (alle varianten)*

In de directe omgeving van het eiland zullen, relatief onafhankelijk van de afstand tot de kust en positie langs de kust, door een toename van de stroomsnelheden erosiekuilen ontstaan (met maximale dieptes tot twee maal de waterdiepte). Deze kuilen kunnen het eiland mogelijk ondermijnen. Door bodembeschermingsmaatregelen zijn deze effecten te voorkomen. Daar staan echter, nu nog niet aan te geven, financiële consequenties tegenover.

*Effecten van varianten verbonden door een tunnel*

Een eiland in zee scherm de kust af voor inkomende golven. Door de afname in golfhoogte neemt langs de kust de transportcapaciteit van zand in de brandingszone



---

achter het eiland sterk af. Ten noorden en ten zuiden van het eiland blijft de transportcapaciteit gelijk. Er vindt daarom wel aanvoer van zand naar, maar nauwelijks afvoer uit dit gebied plaats. Het aangevoerde zand zal daarom in het luwtegebied achter het eiland langs de kust sedimenteren. Tegelijkertijd ontstaat op plaatsen waar dit zand is weggevoerd, erosie aan de kust. De omvang van deze afschermingseffecten op de kust neemt toe bij kleinere afstand van het eiland uit de kust: een 5% reductie in jaargemiddelde golfhoogte en een 20% reductie in de transportcapaciteit van zand bij een eiland op 16 km, nemen toe tot reducties van respectievelijk 10% en 40% bij een afstand van 10 km. De verwachting is dat de kust hierdoor tot maximaal 1 km kan uitbouwen in de luwte van het eiland. De optredende negatieve effecten op de kustlijn ten noorden en ten zuiden van het luwtegebied zijn compenseerbaar. Om in deze erosiegebieden de kustlijn te kunnen handhaven zal naar schatting jaarlijks maximaal circa 10% meer zand moeten worden gesuppleerd. Dit betekent globaal een extra financiële inspanning van maximaal 10 miljoen gulden. Hoe dicht het eiland bij de kust ligt hoe groter de hoeveelheid is die gesuppleerd zal moeten worden. Ook bij meer noordelijk gelegen eilandvarianten zoals bij Egmond zal de suppletiehoeveelheid toenemen. Deze effecten zullen enkele tientallen jaren tot een eeuw doorwerken.

Als een eiland zonder dam dicht bij de kust wordt gelegd zijn er grotere morfologische veranderingen mogelijk. Wanneer een eiland dicht bij de kust wordt gelegd bestaat er een kans dat er op de lange termijn een natuurlijke (zand)verbinding tussen de kust en het eiland zal ontstaan. Op welke kritische afstand uit de kust dit zal plaatsvinden is niet duidelijk. Als het gebeurt kan dit verstrekende morfologische en ecologische gevolgen hebben, vergelijkbaar met een eiland verbonden met een dam. Door het uitvoeren van baggerwerkzaamheden zijn deze effecten echter wel beheersbaar. Gezien de financiële consequenties en het continue karakter van de ingreep in de kustzone is het de vraag of dit wenselijk is.

De hydraulische belasting op de waterkeringen (golfhoogtes en waterstanden) verandert door het aanleggen van een eiland in zee niet tot nauwelijks. De veiligheid van het achterland tegen overstromen zal daarmee gewaarborgd blijven.

#### *Effecten van een uitbouw aan de kust*

Een van de mogelijke verbindingvormen van het eiland is een dam met of zonder getijde centrale. Hierbij zal een uitbouw dwars op de kust worden aangelegd. Bij deze varianten zullen de morfologische veranderingen voor de Hollandse kust grootschaliger zijn. Aan weerszijden van de dam zal tegen de kust een sterkere aanzanding optreden dan bij de varianten met een tunnel. De uitbouw van de kust is groter en langs de dam kan een ondiep water gebied ontstaan. De doorwerking van deze effecten vindt gedurende een tot twee eeuwen plaats. De aanzanding zal gepaard gaan met sterke erosie aan de noord- en zuidkant van dit gebied. Om de kustlijn te handhaven zal daarom jaarlijks meer zand (tot maximaal orde grootte 15 % van de totale huidige suppletiehoeveelheid) dan nu het geval is kunstmatig moeten worden verplaatst. De kosten voor het jaarlijkse kustonderhoud zullen met ongeveer 15 miljoen gulden toenemen. Vooralsnog is de verwachting dat er geen significante veranderingen in het zandtransport naar de Waddenzee zullen optreden. Wel is gezien de grote mate van onzekerheid van deze effecten, zeker wanneer een eiland met dam ten noorden van de IJgeul zal worden aangelegd, verder onderzoek noodzakelijk.

Doordat de golfhoogte afneemt zal de hydraulische belasting van de bestaande waterkering gemiddeld licht afnemen. Bij stormcondities echter kan tegen de dam een sterke toename van de opstuwingsplaatsvinden. Bij een maatgevende storm uit het NW kan deze extra opstuwingsnaar schatting toenemen tot waarden tussen 10 cm en maximaal 70 cm. Lokaal kan moet daarom rekening gehouden worden met een verhoging van het ontwerp-peil met vergelijkbare waarden. Afhankelijk van de locatie, kunnen dan extra maatregelen genomen moeten worden om de veiligheid van het achterland tegen overstromen te waarborgen.

## **4.6 Recreatie**

De centrale vraag in deze paragraaf is:  
Wat zijn de consequenties van de grootschalige morfologische veranderingen voor de recreatie?

De stranden in de luwte van een eiland zullen zonder verder ingrijpen in *breedte* toenemen. Deze toename is het grootst bij variant 1. Voor variant 2, 4 en 3 geldt een steeds geringere toename. Elders zullen de stranden in breedte kunnen afnemen. Deze effecten zijn het grootst bij de damvarianten, en bij de tunnel varianten zijn de effecten van de 10 km variant groter dan de 16 km variant. Er vanuit gaande dat het

huidige kustbeleid gehandhaafd blijft, dan wordt de afname van de *strandbreedte* in de kustvakken ten zuiden en ten noorden van het eiland gecompenseerd met zandsuppleties. Gemiddeld over meerdere jaren zal daarom de strandbreedte niet veranderen.

Bij de damvarianten zijn er afhankelijk van de heersende golfrichtingen aan de ene of de andere kant van de dam luwtegebieden, waar de branding dan ook minder zal zijn. Dat kan aantrekkelijk zijn voor bijvoorbeeld gezinnen met kleine kinderen. Tijdens periode met hogere golven kunnen er bovendien bij deze varianten gebieden langs de Hollandse kust ontstaan waar de branding, ten opzichte van de huidige situatie, toeneemt. Ook dat kan aantrekkelijk zijn voor surfers en andere waaghalzen.

In alle varianten is het onwaarschijnlijk dat de sedimentsamenstelling van het strand wezenlijk zal veranderen. Alleen bij variant 1 is het niet geheel uit te sluiten dat het slibpercentage iets zal toenemen ter plaatse van de aanlanding van de dam.

#### 4.6.1 Conclusies recreatie

Tabel 4.4 Conclusies m.b.t. recreatie

recreatie	positie langs de kust
breedte strand	de stranden in de luwte van een eiland zullen zonder verder ingrijpen in breedte toenemen
karakter strand	de sedimentsamenstelling van het strand zal niet veranderen. In de luwte van het eiland zal de brandingsenergie iets afnemen
	afstand tot de kust
breedte strand	de stranden in de luwte van een eiland zullen zonder verder ingrijpen in breedte toenemen
karakter strand	de sedimentsamenstelling van het strand zal niet veranderen. In de luwte van het eiland zal de brandingsenergie iets afnemen
	verbinding met de kust d.m.v. een dam
breedte strand	de stranden in de luwte van een eiland zullen zonder verder ingrijpen in breedte toenemen. Deze toename is groter dan bij de eilanden zonder damverbinding
karakter strand	bij een eiland met (gesloten) dam kan het slibpercentage iets toenemen ter plaatse van de aanlanding van de dam. Bij de damvarianten zal er een grotere variatie in brandingsenergie langs de kust optreden

De effecten op de recreatie worden voornamelijk bepaald door de effecten op de breedte en de kwaliteit van het strand. Het strand in de luwte van het eiland zal sterk in breedte toenemen. Deze toename is groter bij varianten die verbonden zijn door een dam. Elders vind wel erosie plaats maar omdat deze erosie door suppleties weer wordt aangevuld zal de strandbreedte niet noemenswaardig veranderen. Bij de damvarianten zal de variatie in brandingsgolven langs de kust toenemen. Deze afwisseling wordt over het algemeen positief gewaardeerd omdat elke recreatievorm zijn eigen plaats heeft. De waardering hangt wel af van de locatie waar de brandingsenergie zal toe- of afnemen. Bij een variant met gesloten dam zal het strand bij het aanlandingspunt van de dam iets slibrijker worden. Het strand kan daardoor minder aantrekkelijk voor recreatie worden.

#### 4.7 Onderhoud van de vaargeulen

De centrale vraag in deze paragraaf is:  
Wat zijn de consequenties van de grootschalige morfologische veranderingen op het onderhoud van de vaargeulen?

Wanneer het IJgeul gebied gelegen is in de golfschaduw van een eiland met dam wordt verwacht dat het onderhoud van de IJgeul afneemt. Wanneer bv. een eiland met dam ten zuiden van de IJgeul ligt zal bij (zuid)westen wind door de afnemende golfwerking ook het brandingstransport rond het zuidelijke havenhoofd afnemen. Dit heeft een verlagend effect op de aanzanding. Alleen in het verlengde van de erosiekuil aan de koppen van het eiland moet er rekening mee worden gehouden dat het onderhoud van de vaargeul iets toeneemt.

Door de geconcentreerde uitstroming door de opening in de dam (variant 2), wordt lokaal de transportcapaciteit groter. De aanzanding zal lokaal kunnen toenemen. Dit effect is echter gering en heeft waarschijnlijk geen invloed op het jaarlijks onderhoud.

Wanneer een eiland met dam ten zuiden van de vaargeul is gelegen zal een groot gedeelte van het kustlangse slibtransport worden tegengehouden waardoor de aanslibbing van de havens bij IJmuiden af kan nemen. Daarnaast nemen echter de

stroomsnelheden in de vaargeul en havens ook af. Hierdoor zal de aanslibbing van de havens van IJmuiden juist kunnen toenemen. Het is niet duidelijk wel effect zal overheersen.

Bij de varianten die door een tunnel met de kust zijn verbonden zal ook elders in de IJgeul meer zand kunnen bezinken (met name wanneer het eiland ten zuiden van de IJgeul is gelegen). Het sediment is afkomstig uit de erosiekuilen. Met name in de eerste jaren na aanleg kan er sprake zijn van een toename in het onderhoudswerk van de IJgeul. Wanneer het eiland verder dan 10 à 15 km van de vaargeul is gelegen zal dit effect klein zijn.

Het is niet uitgesloten dat door het ontstaan van grootschalige wervelstraten en circulatiecellen het onderhoud van de Euro-Maasgeul nadelig wordt beïnvloed. Dit kan worden voorkomen door het eiland niet te zuidelijk aan te leggen.

#### 4.7.1 Conclusies onderhoud van de vaargeulen

Tabel 4.5 Conclusies m.b.t. onderhoud havens en vaargeulen

onderhoud havens en vaargeulen	positie langs de kust
	een zuidelijk gelegen eiland kan invloed hebben op de aanzanding van de Euro-Maasgeul
	met name in de eerste jaren na aanleg kan er sprake zijn van een toename in het onderhoudswerk van de IJgeul wanneer een eiland op een afstand van 10 tot 15 km van de vaargeul ligt
	afstand tot de kust
	met name in de eerste jaren na aanleg kan er sprake zijn van een toename in het onderhoudswerk van de IJgeul wanneer een eiland op een afstand van 10 tot 15 km van de vaargeul ligt
	verbinding met de kust d.m.v. een dam
	bij een eiland met dam wordt verwacht dat het onderhoud van de IJgeul afneemt. Ter hoogte van de koppen van het eiland neemt de aanzanding toe
	bij het aanleggen van een eiland met dam ten zuiden van de IJgeul zal de aanslibbing van de haven van IJmuiden beïnvloed worden

Het effect van een eiland op de aanzanding van havens en vaargeulen is afhankelijk van de ligging van een eiland langs de kust. Alleen een zuidelijk gelegen eiland kan invloed hebben op de aanzanding van de Euro-Maasgeul. Binnen het zoekgebied is de kans op beïnvloeding van de IJgeul veel groter. Wanneer de IJgeul is gelegen in de golfschaduw van een eiland met dam zal naar verwachting het onderhoud van de IJgeul afnemen omdat het brandingstransport rond de havenhoofden daardoor zal afnemen. Door een eiland met dam ten zuiden van de IJgeul zal de aanslibbing van de Havens bij IJmuiden worden beïnvloed. Omdat er tegenstrijdige effecten optreden valt op dit moment niet te zeggen of deze toe of af zal nemen. Wanneer een eiland verbonden met tunnel tussen de 5 en 15 km van de IJgeul wordt gelegd, zal door het vrijkomende zand bij de sterke erosie rond het eiland de aanzanding van de IJgeul toenemen.

#### 4.8 Ecologie van strand en duinen

De centrale vraag in deze paragraaf is:

Wat zijn de consequenties van de grootschalige morfologische veranderingen voor de ecologie van strand en duinen?

In het schaduwgebied van het eiland zal de stranddynamiek afnemen. Doordat het water vrij tussen het eiland en de kust door kan stromen zullen de veranderingen niet groot zijn. De verandering van de windsterkte en het zandtransport zullen beperkt zijn. Veranderingen in de morfologische dynamiek van de duinen is dan ook beperkt.

Bij de varianten met een dam zal door de grotere uitbouw van het strand een brede strandvlakte. Op de strandvlakte kan, al dan niet gestimuleerd door beheersmaatregelen, een nieuw dynamische jonge duinregel ontstaan. Met name bij de varianten met een dam kunnen op deze wijze meerdere duinregels groeien.

Het brede strand vergroot de afstand tussen de zee en de duinen. De windsterkte en dus ook het zandtransport naar de huidige zeereep vermindert. Hierdoor neemt de morfologische dynamiek in de duinen af. De duindynamiek zal niet zozeer afnemen

door een verandering van het windklimaat, maar meer door de afname van saltspray (zie hieronder).

Als de omvang van de nieuwe strandvlakte nog beperkt is, kan er tijdens stormen meer duinafslag plaatsvinden. Dat kan ten koste gaan van de vegetatie van de voorste duinrijen.

Door reductie van met name de windgolven wordt een vermindering van saltspray voor de kustduinen verwacht. Omdat deze evenredig is met de energie-dissipatie betekent dit voor varianten die met een tunnel zijn verbonden een totale reductie van orde 20% (eiland op 16 km) tot 40% (eiland op 10 km) op de kust direct achter het eiland gelegen, echter met sterke ruimtelijke variaties.

Bij de varianten met een dam is een totale reductie van de orde 40% à 60% voor de kustzone achter het eiland te verwachten (ook met zeer sterke ruimtelijke variaties).

#### 4.8.1 Conclusies ecologie van strand en duinen

Tabel 4.6 Conclusies m.b.t. ecologie van strand en duinen

ecologie van strand en duinen	positie langs de kust
dynamiek	Verandering van de morfologische dynamiek van duinen is beperkt
saltspray	De positie langs de kust is niet onderscheidend voor deze parameter
	afstand tot de kust
dynamiek	Verandering van de morfologische dynamiek van duinen is beperkt.
saltspray	In de luwte van het eiland is een reductie van 20% (20 km) tot 40 % (10 km) te verwachten. Door deze reductie kan de vegetatie minder kenmerkend worden voor een duingebied
	verbinding met de kust d.m.v. een dam
dynamiek	In het schaduwgebied van het eiland zal de dynamiek afnemen. Er is wel kans op het ontstaan van een nieuw primair duingebied
saltspray	In de luwte van het eiland is een reductie van 40 tot 60% te verwachten. Door deze reductie zal waarschijnlijk de vegetatie minder kenmerkend worden voor een duingebied

Met name bij een eiland met dam zal de ecologie van strand en duinen worden beïnvloed. In de luwte van het eiland zal de "saltspray", van belang voor de typerende zoet/zoutgradiënt in de duinen, sterk afnemen. Hierdoor zal op termijn de kenmerkende duinvegetatie kunnen verdwijnen. Het verbrede strand biedt daarentegen kansen voor het ontstaan van primaire duingebieden.

#### 4.9 Waddenzee

De centrale vraag in deze paragraaf is:  
Wat zijn de consequenties van de grootschalige morfologische veranderingen voor de Waddenzee?

#### 4.10 Conclusies ten behoeve van mogelijke trechtering van varianten

Vanuit de effecten op kust en zee gezien kan voor de eilanden met tunnel nu nog niet gesproken van een no-go situatie. Het systeem zal blijven functioneren en zich grotendeels herstellen. Om de effecten te minimaliseren wordt aangeraden om de grootte van het eiland te minimaliseren en de afstand tot de kust niet te klein te maken. Dit geeft kleinere en minder langdurige effecten. Wanneer de kust uitgebouwd wordt d.m.v. bijvoorbeeld een dam zijn de effecten navenant groter.

##### Effecten op de kustverdediging beheersbaar

De toename van de kosten van kustonderhoud op korte termijn is maximaal in de orde van 10 miljoen gulden per jaar voor de varianten die met een tunnel worden verbonden en maximaal 15 miljoen gulden per jaar voor de varianten die verbonden zijn met een dam. Op langere termijn zijn extra inspanningen voor het kustonderhoud te verwachten als gevolg van erosie op dieper water. De effecten op de kust zijn technisch gesproken beheersbaar. Bij de aanleg van een eiland binnen 10 km zullen de morfologische effecten groter zijn en de beheerskosten ook navenant toenemen. De

---

kans op het optreden van morfologische effecten op de Waddenzee wordt - voor eilandvarianten binnen het zoekgebied tot bij Egmond - vooralsnog ingeschat als klein. Ten aanzien van mogelijke effecten op het totale waddensysteem is nader onderzoek hiernaar noodzakelijk.

Bij de tunnelvarianten zal de veiligheid van het achterland tegen overstromen gewaarborgd blijven. Bij de damvarianten zullen, afhankelijk van de locatie, soms extra maatregelen genomen moeten worden om de veiligheid van het achterland tegen overstromen te waarborgen.

#### 4.11 Compenseren maatregelen

Het totale oppervlak van de Noordzeebodem dat door de aanleg van een vliegveld wordt verstoord, kan worden beperkt door het zand voor de aanleg van het eiland te onttrekken aan de potentiële ontgrondingsgebieden. Bijkomend voordeel is deze gebieden betrekkelijk dicht bij het eiland ligt.

Morfologische beheersing van de onderzeese kustoever is hierbij relatief eenvoudig, t.w. compensatie middels zandsuppletie. Voor de zeebodem morfologie en ecologie en voor de duineecologie ligt dit minder eenvoudig, en zal het compensatie-principe moeten worden toegepast (bijv. vergroting diversiteit van zeebodemleven versus verlies aan bodemleven).

Extra opstuwing van water tegen de dam zou minder kunnen worden door de dam niet te hoog te maken. Hierdoor kan namelijk tijdens stormvloed water over de dam stromen. Voorwaarde hiervoor is wel dat de kruin van de dam beschermt is tegen overstromend water.

In het algemeen geldt dat door *een uitgekiende locatie-keuze en vormgeving* van eiland met dam, de negatieve effecten kunnen worden beperkt en bovendien de positieve effecten kunnen worden versterkt. Een dergelijke insteek gaat verder dan het klassieke zoeken naar mogelijkheden om negatieve effecten te beperken. Tevens is het maar de vraag wat een negatief effect is. Als bijvoorbeeld het plaatareaal in de Waddenzee zou toenemen ten koste van extra kustonderhoud, is dat dan negatief? Het ene effect (meer onderhoud) zou in het klassieke denken wel als negatief worden bestempeld, het andere (meer plaatareaal) waarschijnlijk niet. Maar moet je dan vervolgens maatregelen bedenken om dat negatieve effect te beperken en daardoor mogelijk ook het daaraan gekoppelde positieve effect verminderen? Met een *integrale aanpak*, waarbij positieve en negatieve effecten tezamen worden gewikt en gewogen, kan wellicht meer worden bereikt dan alleen het benoemen en beperken van de negatieve effecten. Ondanks deze algemene *statement* volgen hieronder toch nog een paar mogelijke maatregelen voor effectbeperking. Niet als oplossing, maar als indicatie dat met een beetje creativiteit veel valt te bereiken.

De neiging tot soms aanzienlijke kustlijnvervorming kan worden opgevangen met suppleties. (Opgemerkt wordt dat "meer dynamiek" wel goed past in het kader van "meer veerkracht"). Hierdoor kan in principe de huidige kustlijn worden bewaard (zo men dat zou willen). Omdat de aangroei- en afslag-zones redelijk bekend zullen zijn, kan worden overwogen om met een min of meer vaste pompinstallatie zand langs de kust te verplaatsen. Op de natuurlijkheidsschaal zal dit wel een onvoldoende scoren, maar het geeft wel de kans om de zandbalans te sturen overeenkomstig een nader te bepalen meer duurzaam-gericht kustbeheer.

Een alternatief is het in zee aanleggen van een voldoende brede *strandwal*, met een ligging en oriëntatie die overeenkomt met de nieuwe evenwichtsligging (in langsrichting) van de kust. De vooruit geschoven kustlijn zou dan zodanig moeten worden bepaald dat er nergens langs de Hollandse kust afslag is te verwachten. Desnoods kan om dit laatste doel te bereiken nog een verdere segmentatie van de Hollandse kust met behulp van headlands worden overwogen. De lagunes tussen de strandwal en de huidige kust, kunnen voor verschillende doeleinden worden gebruikt (natuur en recreatie, aquacultuur, wonen op water).

De extra waterstandsopzet direct ten noorden van de dam tijdens NW-stormen kan worden beperkt door een deel van de dam minder hoog aan te leggen. Het water stroomt er dan overheen, waardoor de extra opzet beperkt kan blijven (en het positieve effect van lagere opzet aan de zuidzijde eveneens).

De hogere stroomsnelheden aan de zeewaartse zijde van het eiland, die bovendien vanwege de meer oostwestelijke stroomrichting ongunstig zijn voor de zeescheepvaart, kunnen worden beperkt (en tegelijkertijd worden benut) door het aanleggen van een grootschalig getijmolenpark (tot wellicht orde 100 MW). Hierdoor

---

wordt er stromingsenergie aan het water onttrokken en wordt er bovendien duurzame energie gewonnen.

Een extra mogelijkheid is om de ontgrondingskuil die door de hogere stroomsnelheden wordt veroorzaakt zelf aan te leggen door baggerwerk. Het daarmee vrijkomende zand kan worden gebruikt voor de ophoging van het eiland (economische meerwaarde).

Indien uit nader onderzoek mocht blijken dat de gesloten dam teveel de "kustrivier" blokkeert, dan kan worden overwogen om de kruin van de dam onder NAP te leggen. De infrastructuur van het vaste land naar het eiland zal dan op pijlers moeten worden aangelegd. Dit is dan een hybride vorm van een dam en een brug.

In deze notitie is al op diverse plaatsen aangegeven dat er in principe voor zou kunnen worden gekozen om consequent en systematisch morfologische ontwikkelingen die door de aanleg van een eiland worden in gang gezet, te "onderdrukken". Met name geldt dat voor gebieden die (een kennelijk ongewenste mate van) aanzanding vertonen. Het aldus te winnen sediment kan dan worden gebruikt om erosie elders te bestrijden. In dit verband wordt in eerste aanleg voornamelijk aan aanzanding gedacht (bijvoorbeeld in de schaduwzone van het eiland).

#### 4.12 Potenties

De mogelijke grootschalige "inrichting" van de Zuidhollandse en feitelijke de Nederlandse kust middels een vliegveld-eiland is politiek, maatschappelijk en economisch gezien van nog grotere orde (wellicht niet van omvang) dan de afsluiting van de Zuiderzee. Dit impliceert dat een brede afweging op deze aspecten opportuun is, en dat overwegingen van duurzaamheid voor de toekomstige inrichting van Nederland aan de orde zijn. Deze discussie dient gevoerd te worden.

De zeewaartse begrenzing van een eiland is tot nu eenvoudigheidshalve als een harde zeewering gedacht. Varianten waarbij die zeewering deels "hard" en deels "zacht" wordt uitgevoerd, zijn tot nu toe nog niet aan de orde geweest. Het verdient aanbeveling dergelijke varianten (wellicht in een wat later stadium) terdege te onderzoeken. Met een deels "zachte" zeewering dient waarschijnlijk met (jaarlijkse) verliezen te worden rekening gehouden. Grootschalige, maar efficiënte, onderhoudsstrategieën kunnen wellicht zeer kosteneffectief blijken te zijn.

Het graven van de ontgrondingskuilen op de plek waar deze naar aanleg van een eiland zullen ontstaan. Het zand kan gebruikt worden voor de bouw van het eiland.

#### 4.13 Aanbevelingen

Relevante, niet gestelde vragen betreffen:

- de merites van *kleinere afmetingen* van een eiland in zee;
- de samenhang met *zandwinning* en de beschikbaarheid van zand;
- de samenhang met en belemmeringen ten aanzien van *toekomstige kustinrichting* (innovatie).

Voor een definitieve keuze tussen varianten moeten de volgende vragen worden beantwoord:

- wat is de te verwachten *evenwichtssituatie* van de verschillende varianten? Bij de varianten met een al dan niet gedeeltelijk open dam kan het bereiken van een nieuw evenwicht 3000 jaar of langer duren;
- wat is de ontwikkelingsrichting van de varianten direct na aanleg en na uitwerking van de initiële verstoringen (onderscheid tussen *initiële gevolgen* en gevolgen op de *langere termijn*)? Een tijdshorizon van 10 à 20 jaar is hierbij voldoende.

Een ander onderwerp dat hierboven nog niet genoemd is en dat verdergaand onderzoek vergt, is de rol van de *shoreface-connected ridges* op de kustmorfologie en de wijze waarop deze morfologische entiteiten worden vervormd door de ingreep.

Het is te overwegen om met een eenvoudige benadering (potentiaaltheorie) een eerste schatting te maken van de *snelheidsveranderingen* rond het eiland. De resultaten kunnen vergeleken worden met de TRIWAQ-uitkomsten. Als de orde van grootte goed is kunnen snelheidsrelaties worden afgeleid als functie van omvang en afstand uit de kust van het eiland.

---

De verschillen in de resultaten van *stroomberekeningen* met diverse modellen moeten nader worden onderzocht. Belangrijke punten zijn:

- worden de randvoorwaarden niet beïnvloed door een grootschalige ingreep als een eiland met dam?
- is het rekenrooster niet te grof om de sterk gekromde stroomlijnen goed te kunnen simuleren?
- wat is de invloed van de ingestelde viscositeit?
- wat is het verschil tussen metingen en modelresultaten bij verschillende condities?

In het schaduwgebied kan door *diffractie* een afwijkend beeld ontstaan ten opzichte van de SWAN-berekeningen. Als gevolg van diffractie ontstaan aan weerskanten van het eiland zijlobben waar de golfhoogte in theorie hoger is dan in de ongestoorde situatie. Deze toename kan circa 10% bedragen bij monochromatische golven. Berekeningen met diffractie laten een betere doordringing van de hogere golfperiodes vanaf zee zien en daardoor relatief minder invloed van lokale windgroei. Ook de invloed van de *getijstrooming* op de golfvoortplanting moet worden ingeschat. In SWAN wordt geen rekening gehouden met *golreflectie* tegen de zeewering van het eiland. De mate van reflectie is afhankelijk van het type constructie. Dit aspect mag met name in de ontwerpfase niet worden vergeten.

In de beoordelingsmatrix zijn niet de beoogde functies van het nieuwe eiland expliciet in de beschouwingen betrokken. Een voorbeeld is dat de onderwateroever rondom het eiland en de waterkering de veiligheid van het eiland tegen overstrooming moet garanderen. Deze functie moet in een volgende fase van het project worden getoetst.

In plaats van tunnelvarianten kunnen ook brugvarianten worden overwogen. In principe kan op een brug zowel een spoor- als een wegverbinding worden aangebracht. Dat vergt echter een tamelijk brede brug met relatief omvangrijke ondersteuningselementen. Hydraulisch en morfologisch gezien is een brugvariant, door de omvangrijke ondersteuningselementen, niet zonder meer vergelijkbaar met een tunnelvariant. De effecten zullen groter zijn dan bij een tunnel, maar kleiner dan bij de varianten met een dam.

De omvang van de eilanden die nu in discussie zijn, vergen ruim 1,5 miljard m<sup>3</sup> sediment (zand). Dergelijke hoeveelheden zijn op de bodem van de Noordzee beschikbaar, maar bij deze omvang kan men waarschijnlijk niet al te kieskeurig zijn wat de kwaliteit van het ophoogmateriaal betreft. Als er mee wordt gerekend dat het te gebruiken zand 2% slib bevat, en door de te kiezen uitvoeringswijze (grote hopperzuigers) wordt dit slib (voor het grootste deel) gemobiliseerd, betekent dit dat er in relatief korte tijd (stel 5 jaar) circa 30 miljoen m<sup>3</sup> slib in het Noordzee milieu terecht komt. Dat is een relatief grote hoeveelheid. De consequenties daarvan dienen terdege onderzocht te worden.

#### PonTos

In het kader van de uitgevoerde studie zijn de gepresenteerde voorspellingen niet vergeleken met reeds bestaande resultaten. Per definitie is uitgegaan van een soort van extrapolatie van de in [de Vroeg e.a., 1999] gekalibreerde ontwikkelingen. In een meer uitgebreide studie zal natuurlijk wel aandacht moeten worden besteed aan de vergelijking van de PonTos-voorspellingen met ander bronnen.

Om de onzekerheid in de modelresultaten te verkleinen, moeten de volgende processen in het model worden opgenomen:

- dwarsverdeling correctiedebiet
- getijgedreven dwarstransport
- dwarstransport als gevolg van diffractie effecten
- vorm van het evenwichtsprofiel
- diepwaterrand.

Een toelichting op deze punten is gegeven in hoofdstuk 2 van het rapport van Steetzel en de Vroeg (1999).

De grote van het invloedsgebied wordt hoofdzakelijk bepaald door de mate van contractie van de getijstroom. Meer inzicht in dit proces is noodzakelijk.

Gezien de schaalgrootte waarop de effecten merkbaar zijn, moet het model worden uitgebreid tot de gehele Nederlandse kust, met als consequentie dat ook het gedrag van buitendelta's en getijinlaten in het model zal moeten worden ingebouwd.

---

In plaats van het opleggen van een set gecorrigeerde hydraulische randvoorwaarden, moet het eiland in het model worden gemodelleerd. Op deze wijze kunnen op relatief eenvoudige wijze diverse configuraties worden doorgerekend en de effecten van parameters, die de verschillende varianten bepalen, worden gekwantificeerd.



---

---

## 5 Referenties

---

- Bakker, W.T., 1999. Beoordelingsmatrix EMA-morfologie. WL | Delft hydraulics.
- Bliek, A.J., 1999. EMA-morfologie (ONL). Bureau Svasek.
- Brouwer, H., e.a., 1999. Bijlage Natuur en Recreatie bij de Integrale Projectnota Landaanwinning. Samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten.
- Graaff, J. van de, 1999. Morfologische effecten van een vliegveld in zee. Sectie Waterbouwkunde, Technische Universiteit Delft.
- Groen, M., 1999. Getijberekeningen t.b.v. vliegveld in zee. Figuren met modelresultaten, Rijksinstituut voor Kust en Zee.
- Hartsuiker, G. en R.C. Steijn, 1997. Actieve Getij Centrale - verkenning van hydraulische en kustmorfologische gevolgen. Rapport A147, bureau Alkyon.
- Hulscher, S.J.M.H., H.E. de Swart and H.J. de Vriend, 1993. The generation of offshore tidal sand banks and sand waves. Continental Shelf Research 13.
- Jacobse, J.J., 1999. Golfberekeningen eiland in zee t.b.v. studie naar de effecten van een eiland in de Noordzee op de morfologie. Werkdocument RIKZ/OS-99.134x, Rijksinstituut voor Kust en Zee.
- Marion, B.B. van, 1999. Zandbalansen van het Zeegat van Texel met het Invers Sediment Transport Model (1932 tot 1997). Werkdocument RIKZ/OS-99.116x, Rijksinstituut voor Kust en Zee.
- Meene, J.W.H. van de, 1994. The shoreface-connected ridges along the central Dutch coast. Proefschrift, Universiteit Utrecht, Nederlandse Geografische Studies.
- Marine Safety Rotterdam, 1998. Effect luchthaven op nautische toegankelijkheid van de haven van Rotterdam.
- Mulder, S., 1999. Morfologische effecten van een kunstmatig eiland voor de kust van Egmond. Rapport RIKZ/AB-99.(concept)x, Rijksinstituut voor Kust en Zee.
- Ruig, J. de, 1995. De kust in breder perspectief, basisrapport kustnota 1995. Rapport RIKZ/95-005, Rijksinstituut voor Kust en Zee.
- Rijn, L.C. van, 1995. Sand budget and coastline changes of the Central Dutch Coast. Rapport H2129, WL | Delft Hydraulics.
- Rijn, L.C. van en J.H.J. Terwindt, 1997. Versteiling zeebodem kustzone. Fysische Geografie, Universiteit van Utrecht.
- Rijn, L.C. van, 1999. Expertmening EMA-morfologie. Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht.
- Smit, M.J., H. Baptist en A. Smaal, 1997. Landen op zee-1. Rapport RIKZ-97.047, Rijksinstituut voor Kust en Zee.
- Smit, M.J., I. Borup, J.M. Lourens en P. van Vessem, 1998. Landen op zee 2; Veranderingen in het water- en kuststelsel door het aanleggen van een vliegveld in zee in de zoekruimte Maasvlakte en Noordzee. Rapport RIKZ-98.025, Rijksinstituut voor Kust en Zee.
- Steetzel, H.J. en J.H. de Vroeg, 1999. PonTos-berekeningen t.b.v. vliegveld in zee. Analyse resultaten voor een tunnel- en een damverbinding. Eindrapport A501 / H3609, Alkyon en WL | Delft Hydraulics.
- Steijn, R.C., 1996. Grootschalig Morfodynamisch Modelonderzoek - Maasvlakte 2; deel 2: figuren. Rapport H3059, WL | Delft Hydraulics.
- Steijn, R.C., 1997. Morfodynamische berekeningen ZW-TEXEL. Rapport A078.15 / Z2176, Alkyon / Waterloopkundig Laboratorium.
- Steijn, R.C., (concept)1999. Morfologische effecten van een vliegveld in zee: EMA. Rapport A510, bureau Alkyon.
- Stive, M.J.F., 1999. Beoordeling morfologische effecten van een vliegveld in zee; EMA-morfologie. Verslag Z2738, WL delft hydraulics.
- Ven, G.P. van de, 1993. Leefbaar laagland: geschiedenis van de waterbeheersing en landaanwinning in Nederland. Uitgeverij Matijss.

---

Vroeg, H. de, H.J. Steetzel and L.C. van Rijn, 1999. Update and validation of the PonTos-model; application for the Holland coast; volume II. Report A244/Z2559, Joint venture Alkyon Hydraulic Consultancy & Research - WL | Delft Hydraulics.

---

## Bijlage 1

---

Deskundigen voor het thema morfologie en kustveiligheid werkzaam in de onderzoekswereld of bij een ingenieursadviesbureau:

Ir. R.C. Steijn	bureau Alkyon
Ir. A.J. Bliet	bureau Svasek
Ir. W.Th. Bakker	WL   Delft Hydraulics
Prof. M.J.F. Stive	WL   Delft Hydraulics
Dr. J. van de Graaff	Technische Universiteit Delft
Prof. L.C. van Rijn	Universiteit Utrecht

Betrokkenen namens Rijkswaterstaat:

Drs. A. Stolk	Directie Noordzee
Dr. J.P.M. Mulder	Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ
Drs. B.P. Hoogeboom	Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ
Drs. P. van Vessem	Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

Voorzitter workshop:

Ir. J.G. de Ronde	Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ
-------------------	--

---

---

## Bijlage 2 Begrippen

---

golfdiffractie:	buiging van golfstralen in het schaduwgebied van een obstakel
golfoploop:	de verticaal gemeten hoogte boven de waterstand tot waar een tegen het talud oplopende golf reikt
golfopzet:	de opstuwing van de waterstand in de brandingszone door golven
golfractie:	zwenking (bijdraaiing) van golfkammen onder invloed van veranderende waterdiepte of van stroomgradiënten
invloedsgebied:	het gebied waarbinnen de waterbeweging of de morfologie verandert door de aanwezigheid van een obstakel
ontwerp-peil:	de hoogte van de waterstand tijdens de maatgevende stormvloed die wordt gebruikt bij de dimensionering van een waterkering
seiches:	een sterke verhoging van laagfrequente variaties van de waterstand die optreden in langgerekte en grote bekkens. De periode varieert van enkele minuten tot circa 90 minuten
talud:	het gedeelte van een dijkprofiel met een helling tussen 1:1 en 1:10
tombolo:	een (onderzeese) verbinding tussen een eiland en de kustlijn
voorland:	het gebied voor en aansluitend aan een dijk met een golfdempend effect. De taludhelling is kleiner dan 1:10
waterstandsnorm:	de wettelijke veiligheidsnorm aangegeven als gemiddelde overschrijdingskans per jaar van de hoogste hoogwaterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, mede gelet op overige het waterkerende vermogen bepalende factoren

Tabel 2.2 Beoordelingsmatrix varianten per  
gebruiksfunctie en (sub)parameter

gebruiksfunctie	parameter	subparameter	criterium	huidige situatie ONL 0	eiland op 20	eiland op 20	eiland op 20	eiland op 10	
					km gedeelte open dam ONL 1	km gesloten dam ONL 2	km zonder dam ONL 3	km zonder dam ONL 4	
invloedsgebied		stroming (langs/dwars)	km		200 / 70	200 / 70	70 / 30-45	70 / 30-45	
		golven	km		35-40	35-40	30	25	
		ligging kustlijn	km			50-70	50		
kustveiligheid	belasting	gemiddelde getijslag	m	1,6	+0,20 (1,80)	+0,30 (1,90)	+0 (1,60)	+0 (1,60)	
		max. stroomsnelheid	cm/s	40	-0,7	-0,7	-1,5	-1,5	
		reststroming	m/s	++	o	o	+	+	
		windgolven en deining	%	100	-30 tot -40	-40 tot -60	-10 tot -15	-15 tot -20	
		ontwerppeil	m (km)	5,15	+0,2 (25)	+0,2 (25)	0	0	
		golfopzet	m		n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	
	sterkte	omvang erosiekuil	km2			100	100	85	85
		maximale kuildiepte	m			50	50	40	40
		tussen eiland en kust				+	++	-	-/o
		zeewaarts van NAP -20m				??	??	??	??
	ligging kustlijn	m/jaar			40	40	5	10	
	netto zandtransporten	Mm3/jaar	0,25		0	0	0,2	0,15	
	zandbalans			-	+++	+++	+	++	
kustlijnhandhaving		suppletiehoeveelheden	Mm3/jaar	0,4		1	1	0,6	
		PonTos	%			+55	+10		
		zand tekort diep water			-- (?)	-- (?)	- (?)	- (?)	
veerkracht		zandinhoud		o	+++	+++	+	++	
recreatie	mogelijkheden	strandbreedte	m		++/-	++/-	+/-	+/-	
		sedimentsamenstelling	mu en slib%		-	-	o	o	
	veiligheid	stromingspatroon	m/s		+/-	+	o	o	
scheepvaart	manoeuvrbaarheid	stroming			-/o	-/o	-/o	-/o	
		golfhoogte	m		o	o	o	o	
		seiches			o	o	o	o	
	onderhoud	aanzanding vaargeul	m3/jaar		-/+	-/+	+	+	
infrastructuur	kabels en leidingen	bodemligging	m/jaar		??	??	??	??	
kustzone	bodemleven	ondiep water gebied	ha		++	++	o	o	
		stroomsnelheid bodem			-	-	+	+	
		beweeglijkheid bodem			--	--	-	-	
strand en duinen	vegetatie	saltspray			-	-	-		
m/jaar of m3/jaar		morfologische dynamiek			--	--	-		
Waddenzee		plaatareaal	ha		o	o	o	o	
		zandimport	Mm3/jaar	0,1±0,2		o	o	o	

Tabel 3.1 Procentuele verandering  
golfparameters noordwest, ondiep water  
(Jacobse, 1999)

	golfhoogte [%]	golfperiode [%]	orbitaalsnelheid [%]
ONL1	-32	-9	-44
ONL2	-38	-10	-45
ONL3	-13	-7	-17
ONL4	-20	-8	-25

Tabel 3.2 Procentuele verandering  
golfparameters zuidwest, ondiep water  
(Jacobse, 1999)

	golfhoogte [%]	golfperiode [%]	orbitaalsnelheid [%]
ONL1	-39	-24	-64
ONL2	-62	-55	-85
ONL3	-6	-2	-8
ONL4	-15	-8	-20

Tabel 3.3 Schatting golfgedreven  
langstransporten Noordwijk, inclusief poriën  
(Bliek, 1999)

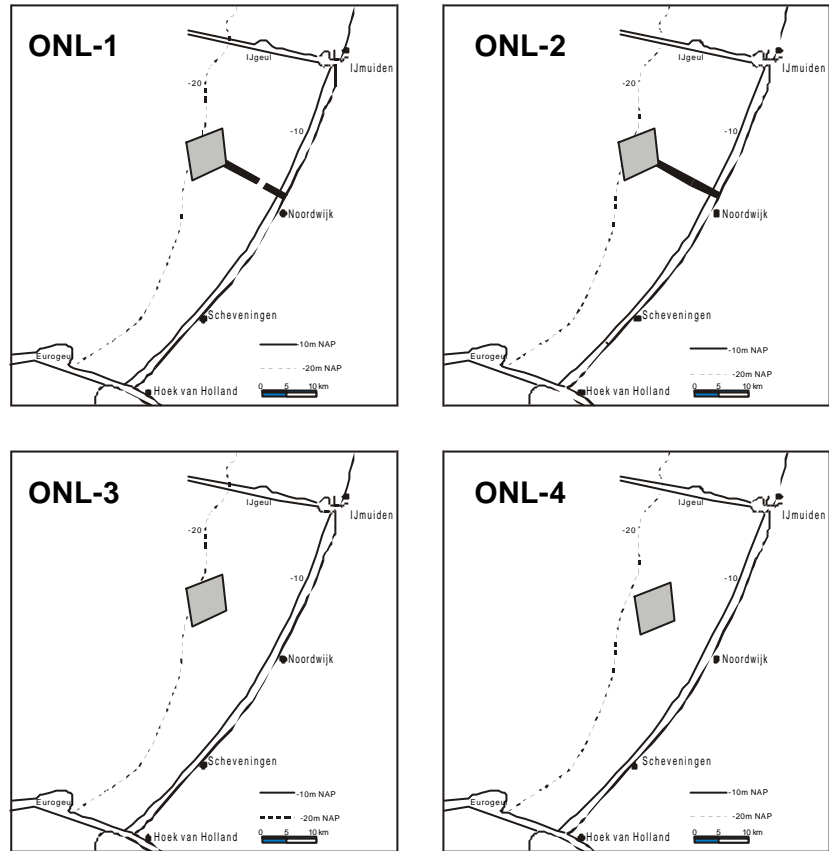
	noordgaand [miljoen m <sup>3</sup> /jaar]	zuidgaand [miljoen m <sup>3</sup> /jaar]	netto [miljoen m <sup>3</sup> /jaar]
ONL0	0,5	0,25	0,25
ONL1 en ONL2	0,0	0,0	0,0
ONL3	0,35	0,15	0,2
ONL4	0,25	0,10	0,15

Tabel 3.4 Jaarlijks gemiddelde  
volumeveranderingen, inclusief suppleties,  
voor verschillende zones in periode 1964-  
1992 (Van Rijn, 1995)

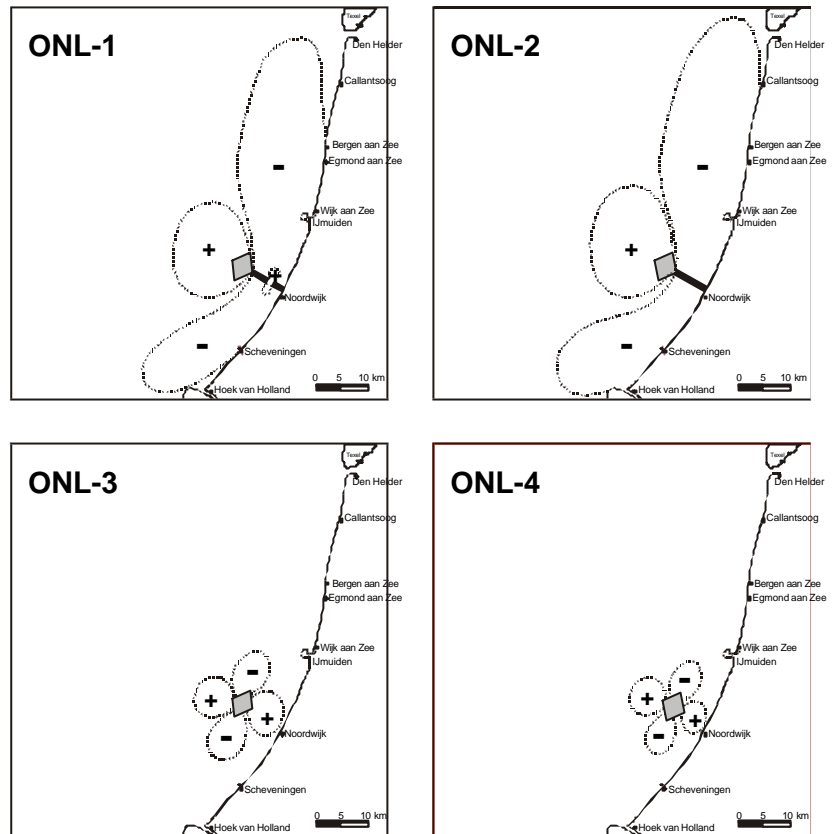
Sectie	duintop tot -8 m [m <sup>3</sup> /jaar]	-8 tot -12 m [m <sup>3</sup> /jaar]
56,3-60,0	430.000	115.000
60,0-108,0	-205.000	-350.000
108,0-118,5	140.000	-230.000
56,3-118,5	365.000	-465.000



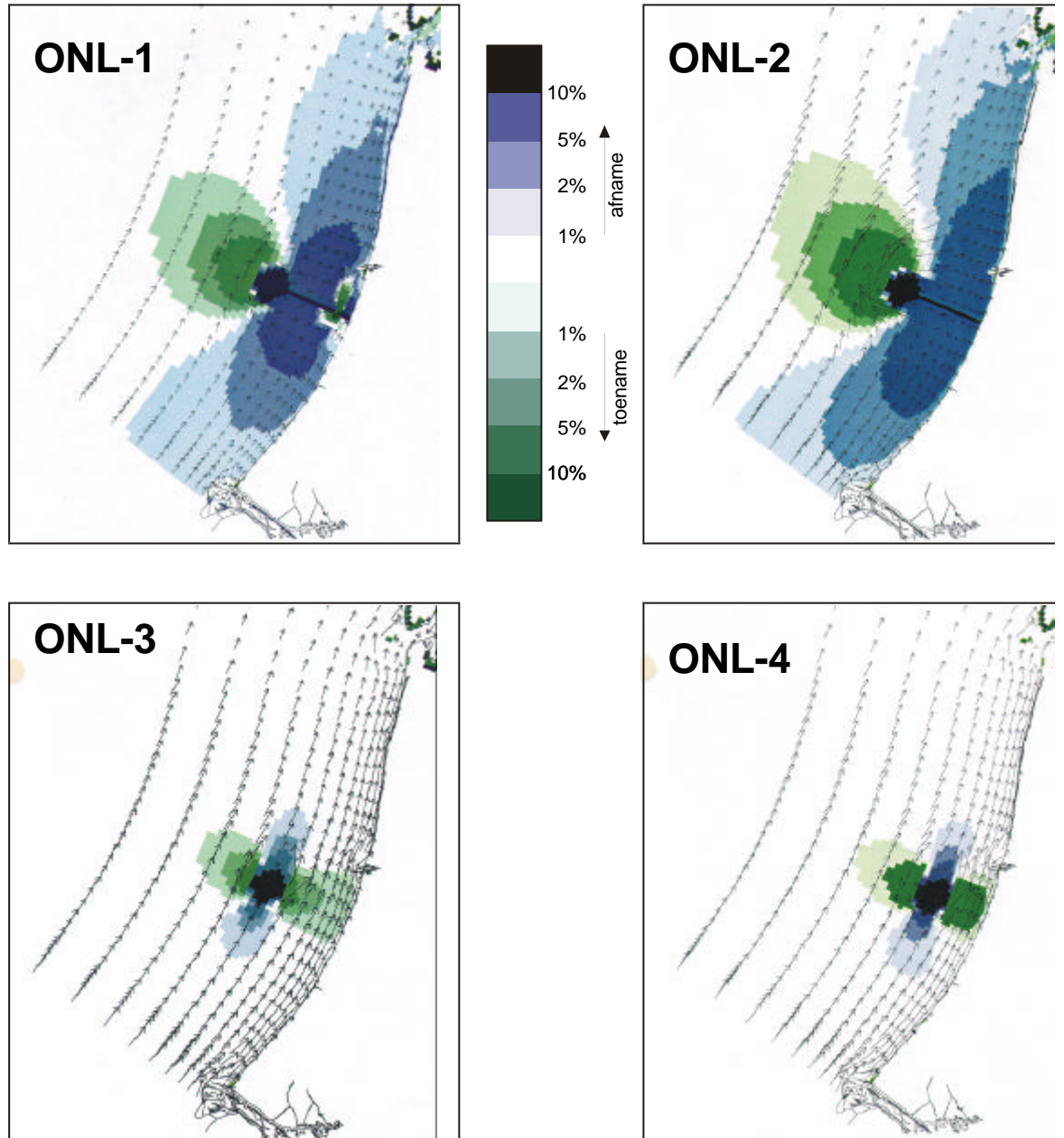
Figuur 2.1 Ligging en opbouw variant



Figuur 3.1 Hydraulisch invloedsgebied



Figuur 3.2 Relatieve verandering  
stroomsnelheden in de bodemlaag tijdens  
vloed



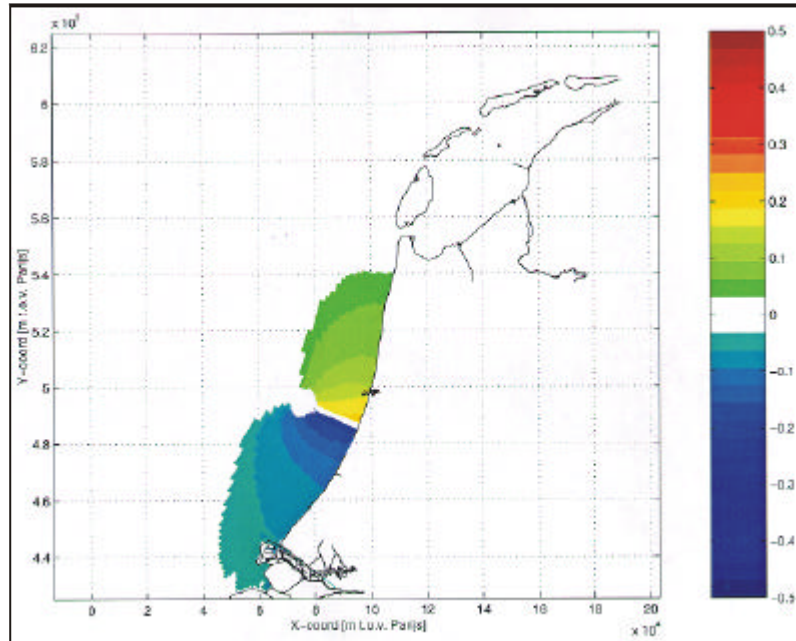
---

Figuur 3.3 Verschil golfhoogte huidige situatie  
en damvariant; ONL0-ONL2 (Jacobse, 1999)

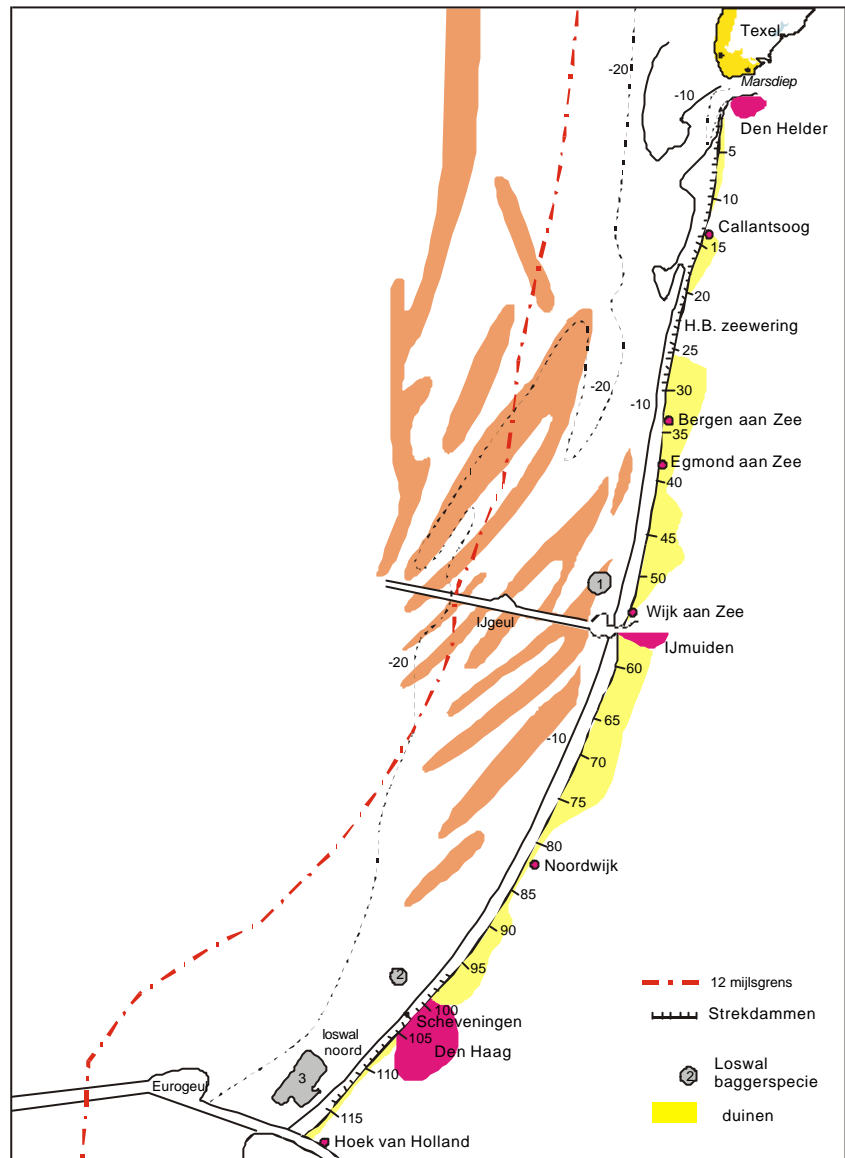
---

Figuur 3.4 Verschil golfhoogte huidige situatie  
en eilandvariant; ONL0-ONL4 (Jacobse,  
1999)

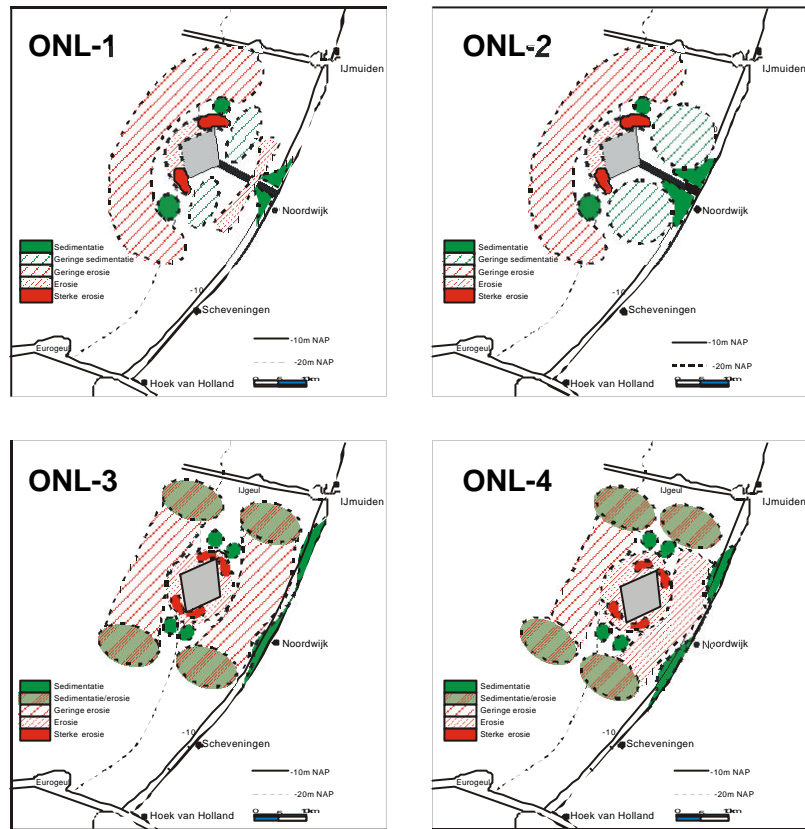
Figuur 3.5 Relatieve verhoging van de waterstand tijdens een extreme NW-storm (ONL2-ONL1)



Figuur 3.6 Geomorfologische kaart van Noord- en Zuid-Holland

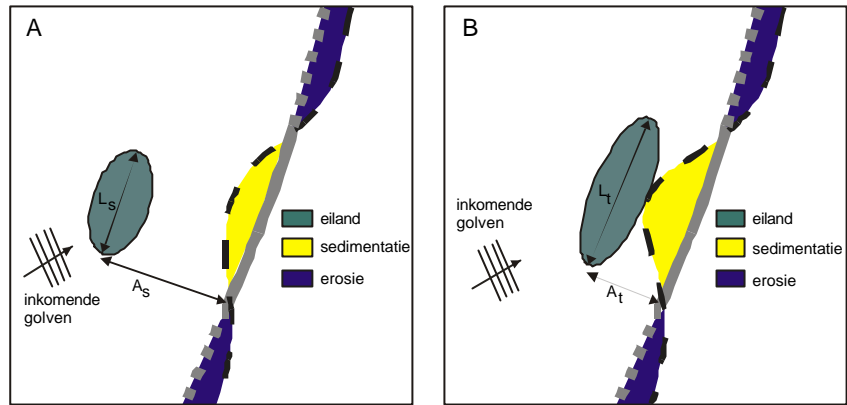


Figuur 3.7 Schematische weergave van de verwachte morfologische ontwikkelingen

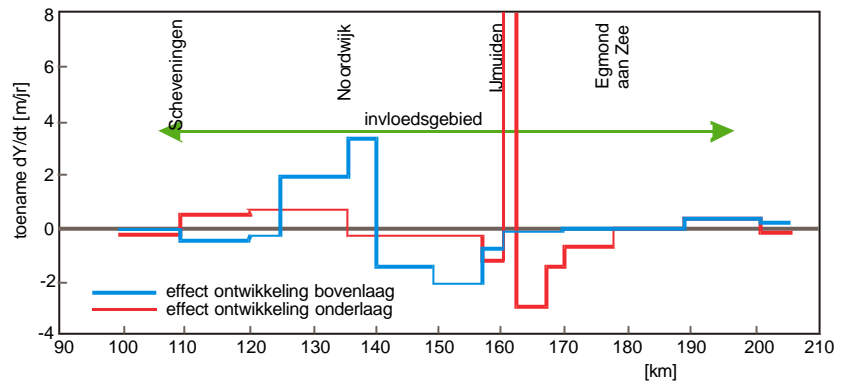
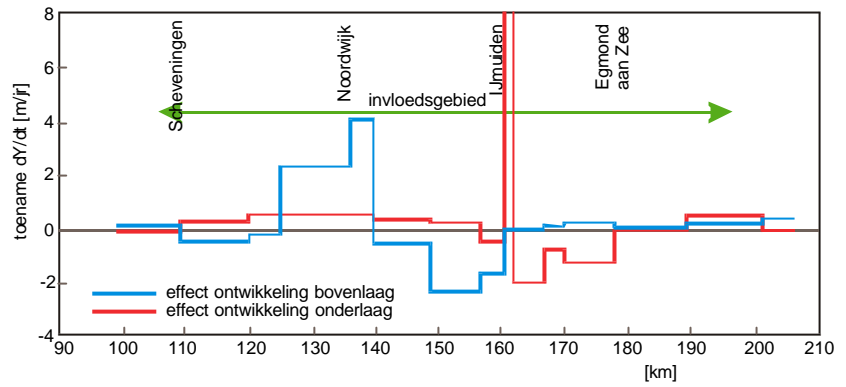
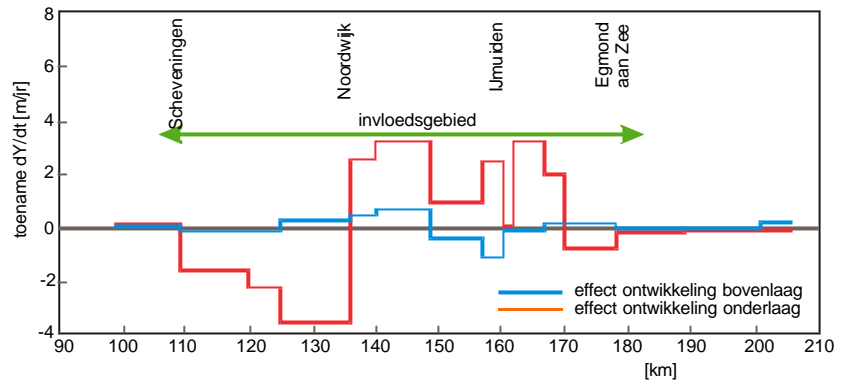




Figuur 3.8 Vorming salient en tombolo



vorming salient (A) en tombolo (B)  $L_s/A_s \ll L_t/A_t$

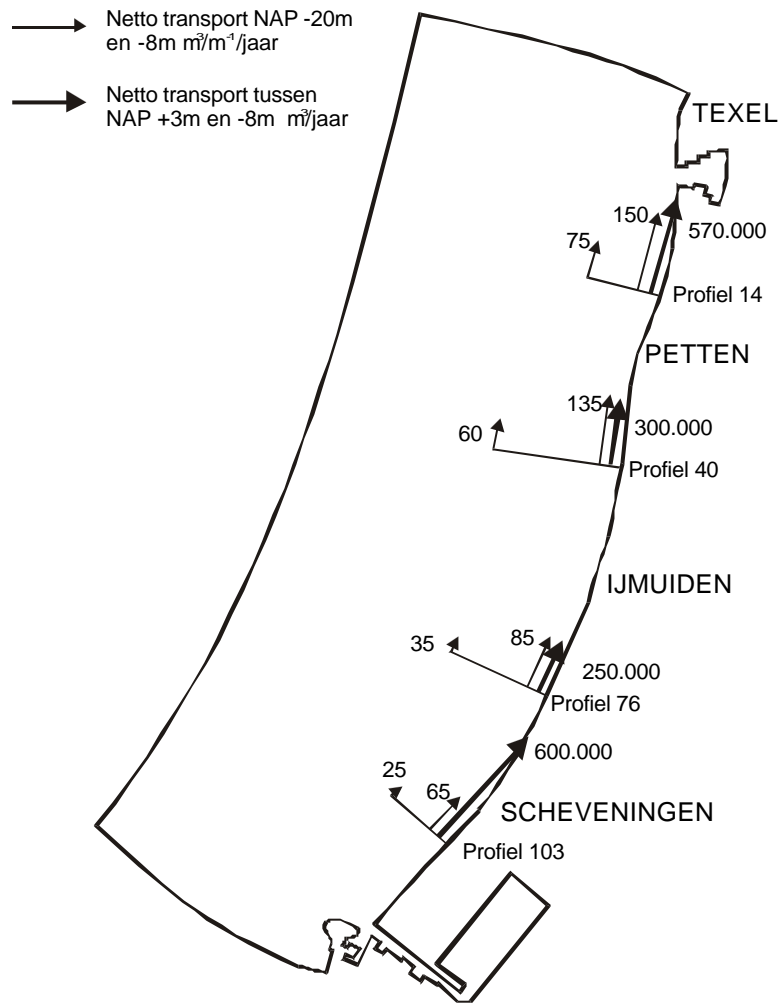


Figuur 3.9 Relatief effect aanleg eiland met tunnelverbinding, ONL3-ONL0 (Steetzel en de Vroeg, 1999)

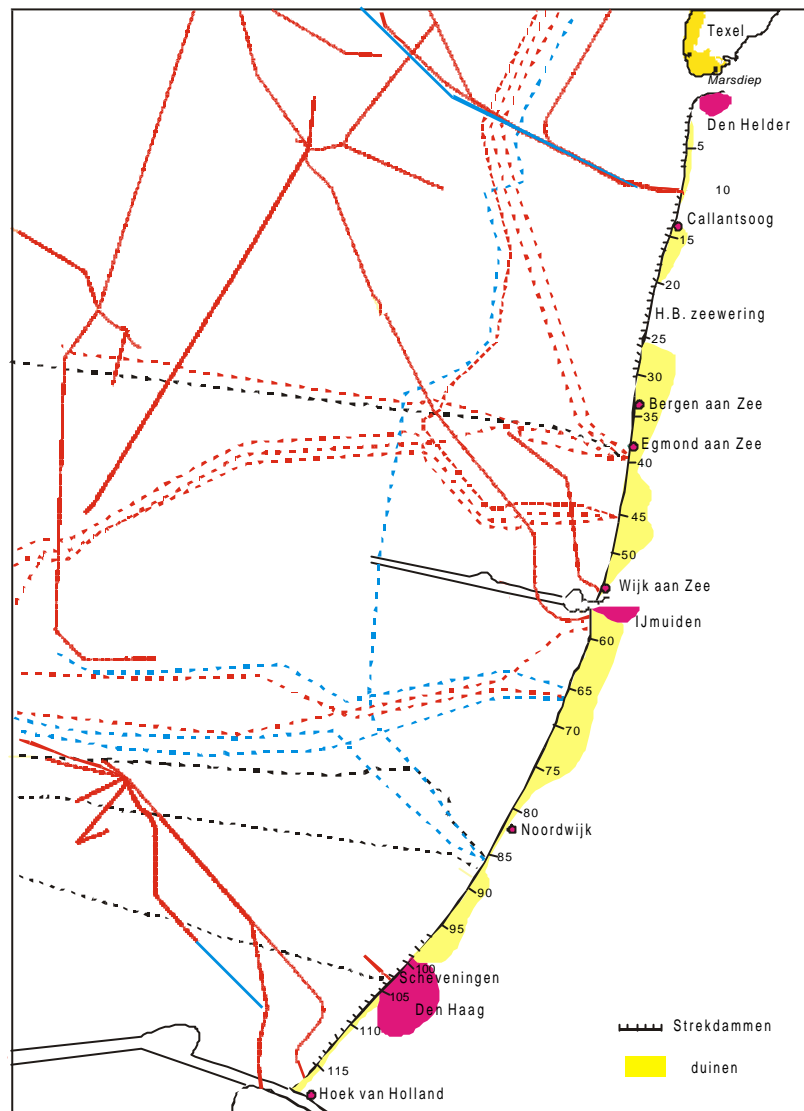
Figuur 3.10 Relatief effect aanleg eiland met damverbinding, ONL2-ONL0 (Steetzel en de Vroeg, 1999)

Figuur 3.11 Relatief effect dam i.p.v. tunnelverbinding (Steetzel en de Vroeg, 1999)

Figuur 3.12 Netto transporten op diep water en in de brandingszone (van Rijn, 1995)



Figuur 3.13 Ligging kabels en leidingen  
Hollandse kust



**Kabels**

- verlaten
- ..... toekomstig
- ..... In gebruik

**Leidingen**

- verlaten
- toekomstig
- In gebruik

---

---

## Colofon

© december 1999

Dit rapport maakt onderdeel uit van de onderzoeken die in het kader de nota 'Toekomst van de nationale luchthaven' zijn verricht. De nota is een uitgave van het ministerie van Verkeer en Waterstaat in samenwerking met de ministeries van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en van Economische Zaken.

Drukwerk omslag:	Kwak, Van Daalen & Ronday
Drukwerk binnenwerk:	Reprografische Dienst, ministerie van Verkeer en Waterstaat
Bestelnummer:	RLD 156
Bestellen:	Ministerie van Verkeer en Waterstaat telefoon: 070 - 351 7086 telefax: 070 - 351 6111