

Een verkenningsduik in zee

De ecologische effecten van een vliegveld in zee

december 1999

Een verkenningsduik in zee

De ecologische effecten van een vliegveld in zee

december 1999

Opgesteld door Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat,
Rijksinstituut voor Kust en Zee in opdracht van
Directoraat-Generaal Rijksluchtvaartdienst,
programmadirectie Ontwikkeling Nationale Luchthaven

Inhoudsopgave

| | |
|---|-----------|
| 1 Inleiding | 9 |
| 1.1 Algemene inleiding | 9 |
| 1.2 Doelstellingen van dit rapport | 9 |
| 2 Werkwijze | 11 |
| 2.1 Variantenkeuze | 11 |
| 3 Opzet | 13 |
| 3.1 Proces | 13 |
| 3.2 Stap 2: Interpretatie | 13 |
| 3.3 Stap 3: beoordeling door een expert panel | 13 |
| 3.4 Stap 4: Bijstelling effect analyse | 13 |
| 4 Huidige situatie | 15 |
| 4.1 Inleiding | 15 |
| 4.2 Morfologie van de Nederlandse kust | 15 |
| 4.3 De ontwikkeling van de kust | 15 |
| 4.4 Waterbeweging als sturende factor voor sedimenttransport | 17 |
| 4.5 Slibhuishouding en menging: sturende factoren voor het ecosysteem Noordzee | 17 |
| 4.6 Waddenzee | 19 |
| 5 Naar een effectschatting van enkele eiland ontwerpen op het Nederlandse kust- en zeesysteem: deel I: het modelleren van hydrodynamica, slib en chlorofyl-a | 21 |
| 5.1 Samenvatting | 21 |
| 5.2 Introductie | 21 |
| 5.3 Theoretisch frame: de Nederlandse kusttrivier | 22 |
| 5.4 Methoden | 24 |
| 5.4.1 TRIWAQ en SLIB 3D | 24 |
| 5.4.2 GEM-modelopzet | 26 |
| 5.5 Resultaten en interpretatie | 27 |
| 5.5.1 Hydrodynamica | 27 |
| 5.5.2 Slibtransport | 32 |
| 5.5.3 Fytoplankton | 35 |
| 5.6 Foutenanalyse van de modelschattingen en validatie | 39 |
| 5.6.1 Hydrodynamica | 39 |
| 5.6.2 Slib | 39 |
| 5.6.3 Fytoplankton | 39 |
| 5.7 Conclusies en evaluaties | 41 |
| 6 Deel II: de interpretatie en evaluatie van de effecten door expert-panels | 43 |
| 6.1 Inleiding | 43 |
| 6.1.1 Procesketen | 43 |
| 6.1.2 Ecologische effecten rond het eiland | 43 |
| 6.1.3 Ecologische effecten in de hele kustzone | 43 |
| 6.2 Effecten in de Waddenzee | 45 |
| 6.3 Conclusie | 47 |

| | |
|---|-----------|
| 7 Visfauna | 49 |
| 7.1 Inleiding | 49 |
| 7.2 Het transport van vislarven | 49 |
| 7.3 Effecten | 51 |
| 7.4 Conclusie | 54 |
| | |
| 8 Vogels | 55 |
| 8.1 Inleiding | 55 |
| 8.2 Huidige situatie | 55 |
| 8.2.1 Procesketen | 55 |
| 8.3 Wat zijn de consequenties van een eiland voor de verspreiding van vogels? | 56 |
| 8.4 Conclusie | 57 |
| | |
| 9 Literatuur | 59 |

Samenvatting

In verband met de aanleg van een vliegveld in zee zijn modelberekeningen gemaakt over de effecten op het zoutgehalte, de slibhuishouding en de primaire productie in de Nederlandse kustzone en de Waddenzee. Op grond daarvan is op basis van expert judgement een inschatting gemaakt van de gevolgen voor het ecosysteem van Noordzee en Waddenzee.

De berekeningen en beschouwingen gaan uit van een eiland ten westen van de Hollandse kust ter hoogte van Noordwijk, op 10 respectievelijk 16 km van de kust (oostzijde van het eiland). Voor de 16 km variant is nagegaan wat de effecten zijn van een gesloten of een gedeeltelijk open dam als verbinding met de Hollandse kust.

De effecten blijken sterk afhankelijk van de aanwezigheid van een damverbinding, waarbij een gedeeltelijk open dam ongeveer dezelfde effecten geeft als een geheel gesloten dam.

Bij aanwezigheid van een damverbinding zou de kustzone rond het eiland en ten noorden daarvan veel minder slibrijk worden, met als gevolg een grotere primaire productie. In de Waddenzee zou een sterk verminderde aanvoer van slib (inclusief detritus) grote gevolgen kunnen hebben voor de bodem (een zandiger bodem en een minder snelle opslibbing van kwelders en beschut gelegen gebieden) en voor het ecosysteem (vermindering van de voedselrijkdom voor bodemdieren, doorwerkend in de rest van de voedselketens). Voor jonge Schol zou het een vermindering van de intrek in de Waddenzee kunnen betekenen. Zand- en slibvlaktes rond de dam zouden grote aantallen wadvogels kunnen aantrekken.

Zonder de aanwezigheid van een dam zouden de effecten van een eiland op de morfologie, de primaire productie en slibtransporten in de noordzeekustzone veel geringer zijn. Dat geldt zowel voor een eiland op 10 km uit de kust als voor een eiland op 16 km afstand. Daardoor zouden de daarvan afgeleide effecten zowel op de Noordzee als in de Waddenzee ook veel kleiner zijn, en de intrek van jonge Schol in de Waddenzee zou niet duidelijk veranderen.

1 Inleiding

1.1 Algemene inleiding

Voor de lange termijn heeft het kabinet gekozen voor beheerste groei van de luchtvaart. Dit betekent 70 miljoen passagiers in 2020/25. Het huidige Schiphol kan deze groei niet opvangen. De grens ligt bij 550.000 à 600.000 vliegbewegingen per jaar. Voor de lange termijn acht het kabinet slechts twee locaties mogelijk om ruimte te geven aan verdere groei, namelijk op de plaats van het huidige Schiphol en op een eiland in de Noordzee.

Een Noordzeelocatie zou enerzijds een aantal problemen oplossen, met name het ruimtegebrek van het huidige Schiphol en de geluidsoverlast in de omgeving ervan, maar tegelijkertijd zouden er problemen in Noordzee en Waddenzee kunnen ontstaan op het gebied van kustbeheer en ecologie.

Het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) is verantwoordelijk voor het onderzoek van de effecten van een eiland op het kust en zeesysteem (hydrologie, morfologie, ecologie, exploitatie en beleving). Het onderzoek kent een aantal trajecten. Een tweetal producten zijn inmiddels voltooid: 'Landen op zee 1' en 'Landen op zee 2'.

Eind 1999 zal formeel met de besluitvorming worden begonnen door een PKB/MER procedure te starten. Daarnaast wil het kabinet eind 1999 een document (een eerste moment van afweging (EMA)) op basis waarvan zij al een aantal besluiten kan nemen. De finale go-no go beslissing (inclusief financieringsbesluit) is voor eind 2005 gepland. In de tussentijd zal ieder jaar een moment van afweging plaatsvinden.

Het voor u liggende document bevat de onderbouwing van hetgeen in het EMA-rapport is opgenomen over de effecten van een eiland in zee op de ecologie van de Noordzee en de Waddenzee

1.2 Doelstellingen van dit rapport

De grootte, de plaats, de vorm van het eiland en de aard van de oeververbinding van een eiland kunnen elk voor zich van invloed zijn op de effecten van een luchthaveneiland voor het kust- en zeesysteem. Het gaat hierbij om i) de lange termijn effecten op waterbeweging, morfologie en stofstromen en de doorvertaling naar de ecologische gevolgen voor de Noordzee, de Waddenzee, Voordelta en kustzone; ii) de exploitatie van de Noordzee en kustzone; iii) de beleving van kust en zee.

Het EMA levert een advies, op basis van effectbeschrijvingen, waarmee het kabinet kan besluiten om het zoekgebied te verkleinen. Het zoekgebied verkleinen houdt in dat:

- de variabelen worden aangepast aan dat wat aanvaardbaar wordt geacht,
- speciale varianten worden aangewezen waarvan de effecten niet aanvaardbaar worden geacht.

De kabinetsbesluiten zullen invloed hebben op het vervolg van de procedures. In concreto zijn dit in eerste instantie de richtlijnen voor de Milieu Effect Rapportages welke begin 2000 zullen verschijnen. Door het verkleinen van de zoekruimte (bv het aanwijzen van varianten die niet realistisch worden geacht) in een zo vroeg mogelijk stadium kan vervolgonderzoek zo efficiënt en doeltreffend mogelijk worden uitgevoerd.

2 Werkwijze

2.1 Variantenkeuze

Er zijn meerdere variabelen die de effecten van een eiland voor de kust bepalen. Ze zijn weergegeven in tabel 2.1. Binnen het RIKZ zijn de mogelijk effecten van verschillende eilandvarianten in algemene zin geïnventariseerd. In het algemeen werd verwacht dat deze tot stand zouden komen door onderbreking/wijziging van het watertransport langs de Hollandse kust en de golfafschermende werking van het eiland. Daardoor zou vooral de afstand tot de kust van belang zijn, en niet zozeer de preciese plaats in het traject tussen Egmond en Scheveningen.

Tabel 2.1. Parameters en criteria behandeld in dit rapport

| hfst | Consequenties op | parameters | criterium |
|------|---|-------------------------|--|
| 5, 6 | Plankton en visfauna door lichtbeschikbaarheid en voedsel | ontwikkeling ecosysteem | primaire productie zoöplankton benthosgemeenschap visgemeenschap zeezoogdieren |
| 7 | Waddensysteem | aard habitat Waddenzee | draagkracht behoud dynamisch evenwicht |
| 8 | visfauna | grootte vispopulaties | larventransport |
| 9 | kust- en zeevogels | vogelgemeenschap | aantallen soorten verspreiding |

In principe bestaan er ook mogelijkheden om een luchthaven in zee aan te leggen in de vorm van een drijvend platform of een platform op palen of een andere doorlaatbare constructie. Dergelijke oplossingen worden echter op dit moment nog niet overwogen, en hebben dan ook geen rol gespeeld in deze studie.

Eveneens niet meegenomen zijn de effecten van zandwinning. Enerzijds omdat zandwinning voor elk van de onderzochte eilandvarianten nodig zou zijn, anderzijds omdat er geen al te dramatische effecten verwacht worden van een (verstandig uitgevoerde) winning van zand. Of dat laatste ook inderdaad klopt, en hoe het zand het beste gewonnen zou kunnen worden moet echter nog worden onderzocht.

Een nieuw element ten opzichte van eerdere studies was het meenemen van de effecten van een dam als oeververbinding. Die mogelijkheid bestond altijd al, naast een brug of een tunnel, maar een mogelijke dam kwam in de politieke belangstelling doordat verondersteld werd dat die gecombineerd zou kunnen worden met een getijdecentrale. Achteraf blijkt dat het zeer zinvol en verhelderend is geweest om de effecten van een dam mee te nemen in de berekeningen; de voornaamste conclusie van deze studie gaat niet zozeer over het eiland alswel over een dam.

Ten behoeve van het EMA zijn daarom enkele eilandvarianten onderzocht die verschillen in afstand tot de kust en in het gebruik van een dam (al dan niet met gerijdecentrale) als oeververbinding.

De effecten op de ecologie worden deels veroorzaakt door de aanwezigheid van het eiland, vooral voor zover het gaat om hardsubstraat-

fauna, vogels en zeezoogdieren. Maar vooral de effecten van een eiland op de waterbewegingen langs de kust en de daaruit voortvloeiende effecten op zand- en slibtransporten zouden het ecosysteem wezenlijk kunnen veranderen. Deze studie steunt daarom in belangrijke mate op studies en de meningen van experts betreffende effecten van een eiland op het abiotische milieu.

De doorvertaling naar de ecologie is voor een deel uitgevoerd met behulp van een rekenmodel waarmee de groeisnelheid van planktonische algen kan worden afgeleid uit de aanwezigheid van voedingsstoffen en slib in het water (het GEM-model), maar de belangrijkste conclusies kwamen tot stand door analyses van deskundigen.

3 Opzet

3.1 Proces

Door de vier variabelen is een zeer groot aantal mogelijke varianten ontstaan. Om toch uitspraken te kunnen doen over het totale zoekgebied (tabel 5.1) is het volgende stappen-proces ontworpen:

Stap 1: kwantitatieve indicatie van mogelijke effecten.

Stap 2: interpretatie van de effecten.

Stap 3: beoordeling en commentaar van de interpretatie door een expert-panel.

Stap 4: aanpassing van de interpretatie naar aanleiding van het commentaar van het expert-panel.

In volgende stukken worden de verschillende stappen uitgelegd

3.2 Stap 2: Interpretatie

De modelberekeningen gaan niet verder dan primaire productie. Op basis van de resultaten (hoofdstuk 4) geeft het RIKZ een interpretatie naar de effecten op hogere trofische niveaus en totaal systeem (hoofdstuk 5 ev).

3.3 Stap 3: beoordeling door een expert panel

De modelresultaten en de interpretatie werden beoordeeld door een aantal experts in een workshop op 23 september 1999. Het doel van de workshop is antwoord op de volgende vragen:

1. Wat zijn de tijd-ruimte schalen van de effecten, wat zijn de onzekerheden van de effecten? Zijn de onzekerheden niet te groot om toch nog uitspraken te doen?
2. Kunnen we op basis van de effect beschrijving van een beperkt aantal varianten toch nog komen tot uitspraken over principes van verstoring zodat we uitspraken kunnen doen over variabelen? Kunnen we voorstellen doen voor de inperking van de variabelen of varianten?

3.4 Stap 4: Bijstelling effect analyse

Het werkdocument werd bijgesteld naar aanleiding van de commentaren van de experts. Een samenvatting van dit werkdocument zal samen met samenvattingen van andere werkdocumenten (op het gebied van kustveiligheid, exploitatie en beleving) een overzicht geven van de integrale effecten op het kust en zee systeem. Dit overzicht van effecten zal worden aangeboden aan het kabinet en de kamers zodat zij een besluit kunnen nemen over de zoekruimte voor een mogelijk eiland in zee.

De volgende experts waren betrokken bij de beoordeling en bijstelling van dit rapport:

| | |
|-------------------------|---------------------|
| Dr. P. Herman | NIOO-CEMO |
| Dr K. Essink | RIKZ |
| Dr. ir. H. van der Veer | NIOZ |
| Drs R. Dekker | NIOZ |
| Dr. B. Brinkman | IBN |
| Dr. ir. H. van Pagee | WL |
| Prof. Dr. P. de Wilde | NIOZ |
| Drs. J. Lourens | RIKZ |
| Drs. M. Lavaley | NIOZ |
| Dr. H. Lindeboom | NIOZ |
| Dr. A. Rijnsdorp | RIVO |
| Dr. J. Craeymeersch | NIOO-CEMO |
| Drs. H. Los | WL/Delft Hydraulics |
| Drs. M. Scholten | TNO-MEP |
| Dr. F. Heinis | |
| Dr. M Leopold | IBN-DLO |
| Drs. M. van der Tol | RIKZ |

4 Huidige situatie

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een algemene beschrijving gegeven van het Nederlandse kuststelsel.

4.2 Morfologie van de Nederlandse kust

De gesloten Hollandse kust strekt zich uit van Hoek van Holland tot Den Helder.

De kusthelling langs de Nederlandse kust loopt vanaf de kustlijn tot een diepte van 15 à 20 meter. Langs de Hollandse kust en de centrale kust van de Waddeneilanden is deze helling gelijkmatig glooiend.

De grootschalige morfologie van het kuststelsel is opgebouwd uit de volgende elementen.

- 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;

Op het Nederlands Continentaal Plat bevinden zich op het zuidelijk deel veel zandbanken met een hoogte tot 15 meter vanaf de zeebodem. Het centrale deel wordt gekenmerkt door zandgolven met een hoogte van meer dan 6 meter in het zuiden tot ongeveer 2 meter in het noorden. Het noordelijk deel heeft een betrekkelijk vlakke bodem. In het Noordwesten komen enkele grote banken als de Klaver- en Doggersbank voor.

4.3 De ontwikkeling van de kust

De ontwikkeling van de Nederlandse kust is een proces geweest van erosie van hogere gelegen pleistocene gebieden en het rechttrekken van de kustlijn. Dit vond plaats onder invloed van een in snelheid afnemende zeespiegelstijging (Van Rijn, 1995).

De Nederlandse kust is geleidelijk aan afgesloten van de zandbronnen, voornamelijk oude rivierafzettingen en zandbanken als het "Texel Hoog", die in het verleden kustuitbouw mogelijk hebben gemaakt. Onder invloed van doorgaande zeespiegelstijging en een beperkter sedimentaanbod is de laatste 1000 jaar de kust onderhevig aan erosie en terugschrijding (Beets et al, 1995). Door ingrijpen van de mens is deze terugschrijding in de laatste eeuw een halt toegeroepen. Doordat het kuststelsel naar evenwicht blijft streven, vindt er wel erosie plaats.

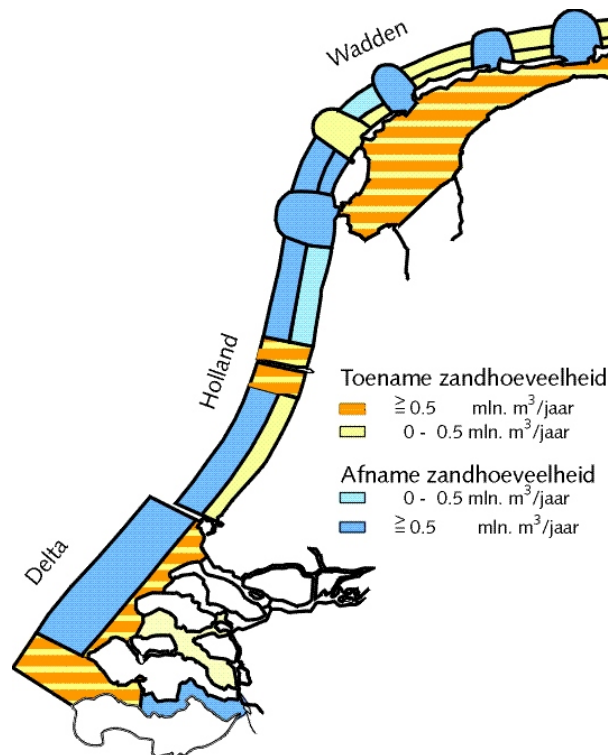
Nederland wordt tegen overstroming beschermd door duinen en dijken. Duinen maken in totaal zo'n 254 km van de Nederlandse kust uit. Het totale oppervlak bedraagt 48.000 ha. Duinen zijn ontstaan door een samenspel van wind, zee en zand. Vanaf ongeveer 5000 jaar geleden nam de zeespiegelstijging zo af dat aaneengesloten strandwallen konden ontstaan.

Door de aanwezigheid van voldoende zand werden er zelfs zeewaarts nieuwe strandwallen gevormd waardoor de kust zich kon uitbouwen. Deze gordel van strandwallen bevindt zich globaal tussen Den Haag en Alkmaar en worden de 'oude duinen' genoemd. Vanaf het jaar 1000 zijn de jonge duinen gevormd.

Langs de Nederlandse kust vinden grote zandtransporten plaats, waarbij per saldo meer zand wordt afgevoerd dan dat er bij komt. De ligging van de Nederlandse kust is aan veranderingen onderhevig, als gevolg van natuurlijke en menselijke invloeden. De grootste zandvraag in het Nederlandse kuststelsel ligt bij de Waddenzee. Deze zandvraag is toe te schrijven aan zeespiegelstijging, bodemdaling (gaswinning) en aanpassingen door de aanleg van de Afsluitdijk en afsluiting van de Lauwerszee. De gehele Waddenzee importeert per jaar tussen de 10 en 20 miljoen m³ zand. De buitendelta's van de Waddenzee eroderen sterk.

Fig. 4.1 geeft een overzicht van de zandhuishouding langs de Nederlandse kust. Mede als gevolg van de zandhonger van de Waddenzee erodeert de Hollandse kustzone ten noorden van Egmond. De onderwateroever van de Hollandse kust verliest zand. Sterke aanzanding is er ter weerszijden van de havenhoofden van IJmuiden. Aan de noord en zuidzijde hiervan treedt erosie op. De kust tussen de havenhoofden van Hoek van Holland en IJmuiden gedraagt zich op tijdschaal van enkele decennia als één kustvak. De invloed van de havenhoofden bij Scheveningen en de strandhoofden bij Delfland is op deze schaal gering. De toegangsgeulen naar de havens van Rotterdam en IJmuiden 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. Lokale sedimentatie en erosie compenseren elkaar vrijwel volledig binnen dit gebied. Alleen bij Delfland, Scheveningen en Bloemendaal vertoont de kust erosie.

.....
 figuur 4.1 Zandhuishouding langs de Nederlandse kust over de periode 1965-1992. Onderscheiden zijn de ondiepe kustzone (tot NAP-6 m) en de diepe kustzone (NAP-6 tot -12 m). Zandsuppleties zijn niet meegenomen.



4.4 Waterbeweging als sturende factor voor sedimenttransport

De getijbeweging in de Noordzee wordt bepaald door twee getijgolven: een vanuit het noorden via het zeegat tussen Schotland en Noorwegen en een vanuit het zuiden via het Nauw van Calais. De noordelijke getijgolf komt langs de Schotse kust naar binnen en buigt via de Noord-Nederlandse, Duitse en Deense kust weer naar het noorden. Langs de zuidelijke en centrale Nederlandse kust loopt een getijgolf van zuid naar noord. Hierdoor wordt een kustlangse stroming veroorzaakt. De vloedstroom is noordwaarts en de ebstroom zuidwaarts gericht. De stroomsnelheden van het water liggen (gemiddeld) tussen de 0,5 en 1 m/s.

Op grotere diepte (NAP-8 tot -20 m) langs de gesloten Hollandse kust is het transport door de getijbeweging dominant (Van Rijn, 1995). De golven raken op deze diepte (in het algemeen) nog niet aan de bodem. Het resttransport door getijbeweging is noordwaarts gericht.

In de actieve zone, de zone boven NAP -8 m is het golfgedreven transport dominant. Golven worden geïnitieerd door de wind en beïnvloed door diepte van het water. Golven zorgen voor opwoeling van sediment, zodat meer sediment in suspensie zal gaan. Deze opwoeling is afhankelijk van de golfhoogte en waterdiepte (die weer afhankelijk van elkaar zijn). Onder invloed van de golfbeweging wordt het sediment kustwaarts verplaatst. Dit geldt onder normale omstandigheden en als het kustprofiel niet te steil is. Onder stormcondities daarentegen wordt er zand van het ondiepe kustgedeelte naar het diepere verplaatst. Het eerste proces veroorzaakt een versteiling van het profiel en het tweede een verflauwing.

Wanneer golven de kustlijn in een hoek naderen tredt er een afbuiging van de golven (golfrefractie) op. Het golffront gaat meer evenwijdig aan de kustlijn lopen. Wanneer de golven nog niet helemaal zijn bijgedraaid voor ze de kust raken wordt een kustlangse stroming in gang gezet. Hierdoor vindt kustlangs sedimenttransport plaats. (van Rijn, 1995). Het golfgedreven resttransport is noordwaarts gericht.

In fig. 4.2 is het netto resulterend zandtransport langs de Nederlandse kust aangegeven. Deze netto erosie/sedimentatie is relatief gering (een factor 3 tot 4 kleiner) in vergelijking met de bruto transporten.

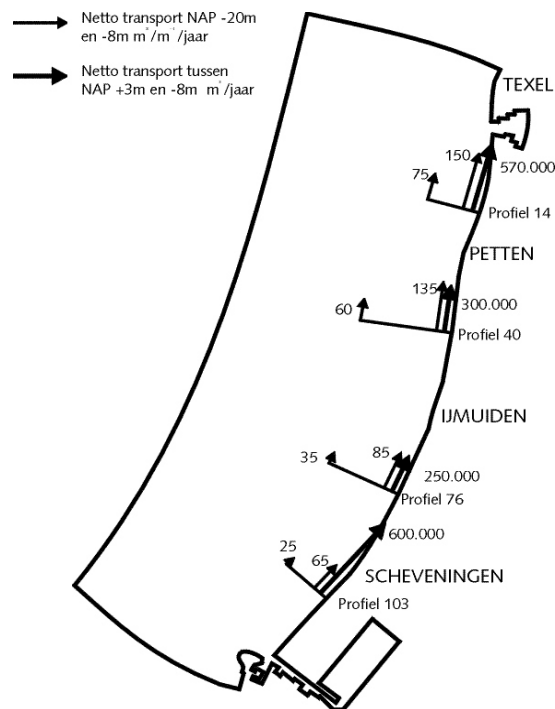
4.5 Slibhuishouding en menging: sturende factoren voor het ecosysteem Noordzee

De Noordzee is een ondiepe zee met een gematigde temperatuur. In termen van biomassa productie is de Noordzee één van de meest produktieve zeeën ter wereld. In feite is de Noordzee een mengbekken van verschillende watermassa's. Van verschillende kanten worden vele stoffen ingebracht. Vanuit het zuiden komt relatief warm Kanaalwater binnen; vanuit het noorden relatief koud Atlantisch water. De verschillende rivieren brengen zoet water met slib en nutriënten (voedingsstoffen) in. Menging en transport van water, zand, nutriënten, organische en anorganische slib en organismen zijn belangrijke processen in het ecosysteem van de Noordzee.

In het Nederlandse deel van de Noordzee is een tweetal fronten aan te wijzen. Fronten zijn overgangen tussen watermassa's, die herkenbaar zijn aan de vaak

steile gradiënten voor verschillende eigenschappen (zoals het zoutgehalte en de temperatuur). In fronten heerst vaak hoge biologische activiteit.

.....
 figuur 4.2. Netto resulterend zandtransport langs de Nederlandse kust in m³/jaar

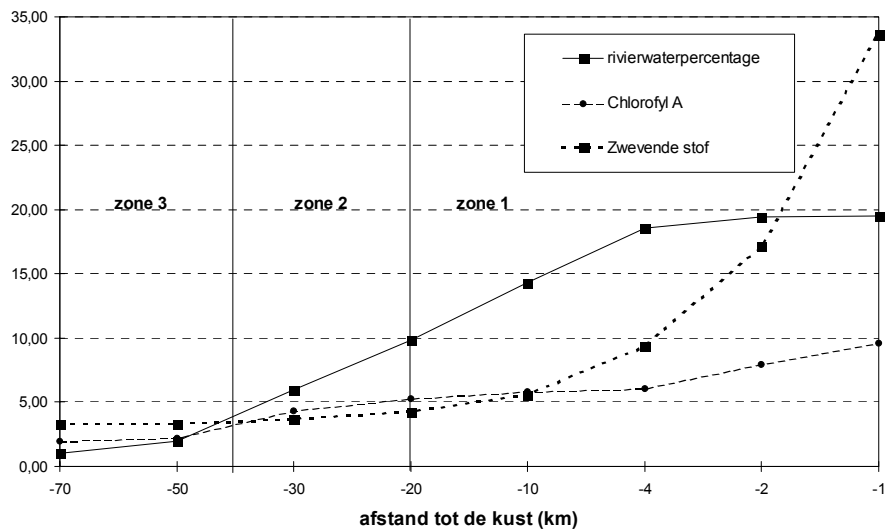


Het eerste front wordt vaak aangeduid als "de kusttrivier". Het wordt veroorzaakt door de uitstroming van zoet Rijn- en Maaswater dat in noordelijke richting wordt afgevoerd. Daardoor ontstaan sterke dichtheidsgradiënten dwars op de kust, van tijd tot tijd zoutstratificatie, en een kustwaarts gerichte bodemstroom (de Kok, 1997). Deze reststroom dichtbij de bodem wordt veroorzaakt door dwars op de kust staande dichtheidsgradiënten. Hierdoor wordt gesuspendeerd slib en detritus naar de kust gebracht. Zand is echter te zwaar voor dit type transport. Deze zone wordt ook wel de "kustrivier" genoemd. Het kustwater kan nu in een drietal zones worden onderverdeeld, ieder met een verschillende belasting aan slib en nutriënten (fig. 4.3, zie ook hoofdstuk 5).

De invloed van de kusttrivier strekt zich zelfs uit tot aan de Duitse Bocht. Daardoor staat de hele Nederlandse Waddenzee sterk onder invloed van het kustwater. De hierin meegevoerde deeltjes als slib, plankton, nutriënten en vislarven stromen met het getij van de Noordzee naar de Waddenzee en *vice versa*. Zand uit de kustzone, dat wordt meegevoerd door golven en getij, wordt afgezet in de Waddenzee.

Het tweede front (het "Friese front") wordt gevormd doordat de bodem van de Noordzee ten noorden van Texel geleidelijk dieper wordt. De door het getij veroorzaakte turbulentie is in het diepere water onvoldoende sterk om te zorgen voor een volledige menging van de waterkolom. In het overgangsgebied sedimenteert 's zomers veel slib.

.....
figuur 4.3
 zones met jaargemiddelde rivierwater-
 percentages van de periode 1975-1982. De
 schaal van de afstand tot de kust is niet
 lineair.



Bodem kustzone en bodemdieren

Vanaf de kust loopt de bodem van de Noordzee steil af. De NAP -10 m dieptelijn bevindt zich al op 1 km van de (Hollandse) kust. De 15 m dieptelijn ligt op ongeveer 5 km van de kust. De eerste 5 km uit de kust is zeer rijk aan hoeveelheden bodemdieren (wormen, schelpdieren, garnalen, etc.). De kustzone is daardoor een goed opgroeigebied voor jonge platvis (kinderkamer). Tussen 5 en 20 km uit de kust bevindt zich een overgangszone die minder rijk is aan dierlijk leven, en daarbuiten een zone die nog minder rijk is. De laatste twee zones lijken meer op elkaar dan op de smalle kustzone.

De bodemdieren vertegenwoordigen een belangrijke schakel in de voedselketen. Ze zijn de voornaamste voedselbron voor vogels en vissen. De diepte is sterk bepalend voor het voorkomen van jonge platvis en bodemdier-etende vogelsoorten, zoals duikeenden.

4.6 Waddenzee

De Waddenzee is een ondiepe randzee van de Noordzee. De toevoer van zoutwater vindt plaats via Noordzee en van zoetwater via het IJsselmeer, Lauwersmeer en de Eems. Vanuit de Noordzee vindt aanvoer van zand en slib plaats. Nutriënten worden deels vanuit zee aangevoerd, deels met het zoete water.

Het ecosysteem van de Waddenzee wordt sterk bepaald door het evenwicht tussen zeespiegelstijging en sedimentaanvoer. Dit sediment (zand en slib) is afkomstig van de Noordzeekust, de buitendelta's en de ondiepe kustzone. Zolang het zandaanbod vanuit de Noordzee via de zeegaten voldoende blijft, is de Waddenzee in staat een morfologisch evenwicht te bewaren, of opnieuw in te stellen wanneer er veranderingen plaats vinden. Het samenspel van morfologische processen in de Waddenzee bepaalt de zandvraag van de Waddenzee.

De aanvoer van voldoende slib is vooral van belang voor het slibgehalte van de bodem; met name in rustige delen dicht langs de kust en in geulen die hun transportfunctie verloren hebben, bezinkt er veel slib. Dat gebeurt vooral 's zomers tijdens rustige periodes. Ook kunnen mosselbanken 's zomers slib vastleggen. Een deel van al dat slib wordt door winterstormen weer opgewerveld, met het gevolg grote slibverplaatsingen en onder andere opslibbing van kwelders.

Voor het levende deel van het ecosysteem is de aanwezigheid van zand en slib van groot belang, als woonplaats voor bacteriën, algen en bodemdieren. De aanvoer van nutriënten (nitraten, fosfaat) als voedingsstof voor algen en bacteriën vindt plaats met het zeewater en het spuiwater van het vasteland. Daarnaast zijn er veel nutriënten aanwezig in de bodem. Alle andere bewoners van de Waddenzee zijn voor wat betreft hun voedsel afhankelijk van het plankton dat vanaf de Noordzee naar binnen komt en van de produktie van algen (zowel in het water als op de bodem) in de Waddenzee zelf. De bodemfauna is de schakel naar de meeste vissen en vogels; de meeste daarvan zijn afhankelijk van dierlijk voedsel. De Waddenzee heeft een belangrijke functie als opgroeigebied voor Noordzee-vis en als foerageergebied voor vogels.

5 Naar een effectschatting van enkele eiland ontwerpen op het Nederlandse kust- en zeesysteem: deel I: het modelleren van hydrodynamica, slib en chlorofyl-a

In de onderstaande stukken worden de geschatte effecten beschreven van verschillende varianten op basis van modelberekeningen. Voorop dient gesteld te worden dat modelberekeningen hun beperkingen hebben.

5.1 Samenvatting

De resultaten van de modelstudies aan de effecten van een eiland in zee vallen uiteen in twee hoofdgroepen: eiland-ontwerpen met een damverbinding naar de kust en ontwerpen waarbij het eiland met tunnel is verbonden met het vasteland.

De eilanden met dam leiden tot vermindering van slib in de kustzone (zone 1 en 2) door een drietal mechanismen. Het zijn: i) sedimentatie van slib vooral rondom de dam, waardoor het water helderder wordt; ii) vermindering van het dichtheidsgedreven kustwaartse slibtransport waardoor minder slib in de kustzone wordt geconcentreerd; iii) een grotere menging van de kusttrivier met naar verhouding een groter percentage Noordzee-water waardoor het water in de kustzone helderder wordt. Eilanden met tunnel leiden mogelijk tot vermindering van slib in de kustzone alleen als gevolg van een eventuele sedimentatie rond het eiland. In alle gevallen wordt het slibtransport door het Marsdiep naar de Waddenzee verminderd. Bij de damvarianten was de berekende reductie 60%. Bij de tunnelvarianten varieerde de berekende reductie tussen de 0 en 20%.

De groei en produktie van het plantaardig plankton in de kustzone zal door de aanleg van een eiland veranderen. Ten gevolge van de reductie van de slibconcentraties in het water begint de voorjaarsbloei waarschijnlijk eerder. De gezamenlijke primaire produktie in zone 1 en 2 (tot 40 km uit de kust) blijft waarschijnlijk gelijk. Het zomer-minimum en de najaarsbloei verschuiven niet in de tijd. De algenbloei in de zomer zal waarschijnlijk beperkter zijn dan in de huidige situatie (Rozemeijer & de Vlas, in prep.). Deze modelresultaten zijn nader geïnterpreteerd door een expert-panel (zie paragraaf 7.3 en 7.4).

5.2 Introductie

De verschillende mogelijke ontwerpvarianten van het eiland verschillen in: i) afstand uit de kust; ii) positie langs de kust; iii) oeververbinding; iv) grootte van het eiland (tabel 5.1). Om uiteindelijk te kunnen besluiten tot een variant dienen de mogelijke effecten te worden bepaald.

Tabel 5.1. Variabelen die de zoekruimte bepalen. Specifiek ingevulde combinaties vormen de varianten

| Variabelen | Extreem | Gemiddeld | Extreem |
|-----------------------|--------------|-------------|-----------|
| Afstand uit de kust | 10 km | 20 km | 40 km |
| Positie langs de kust | Scheveningen | Noordwijk | Egmond |
| Oeververbinding | tunnel | combinaties | dam |
| Grootte | 3500 ha | 8500 ha | 120000 ha |

Het RIKZ heeft samen met het WL/Delft Hydraulics een drie-stapsmodel benadering ontwikkeld gebaseerd op i) hydrodynamica, ii) slib en iii) fytoplankton. Fytoplankton is dat trofische niveau dat het meest direct door waterbeweging en aanwezigheid van slib beïnvloed wordt. Om het expert-panel een kwantitatieve indicatie te geven van de mogelijke effecten hebben we voor de workshop de volgende modellen gedraaid: het drie dimensionale (3D) hydrodynamica model (TRIWAQ, Kok et al., 1995a,b), a 3D siltransportmodel (SLIB3D, Kok et al., 1995a,b) and a 2D fytoplanktonmodel (GEM, WL/Delft Hydraulics, 1999a,b). De vragen achter de modelkeuze waren:

- Wat is de invloed van een eiland met dam op het Nederlandse kust- en zeesysteem?
- Wat is de invloed van een eiland met dam met gat daarin?
- Wat is de invloed van de afstand uit de kust op het Nederlandse kust- en zeesysteem?

Definitie van slib

In deze studie hanteren we een definitie van slib volgens Joordens et al., 1999: die fractie van het sediment met een afmeting kleiner dan 63 μm dat al dan niet organisch of anorganisch materiaal bevat. Detritus valt hier ook onder. Deze fractie wordt elders vaak aangeduid als SPM (Suspended matter).

5.3 Theoretisch frame: de Nederlandse kustrivier

Stromingen in het Nederlandse kustgebied worden aangedreven door getij, wind en dichtheidsgradiënten, die ontstaan ten gevolge van de instroom van zoetwater in de buurt van Hoek van Holland vanuit de rivieren Rijn en Maas. Het is een energierijk getijgebied, met verschillen in waterhoogten van 1 tot 2 m en maximale snelheden van de getijstroom van meer dan 1,2 m/s. De getijstromen lopen parallel aan de kust. De vloedstroom loopt in noordelijke en noordoostelijke richting en is sterker dan de in zuidelijke en zuidwestelijke richting lopende ebstroom (de Kok, 1996). De jaargemiddelde wind stress loopt ook noordoost en versterkt de getij-gedreven reststroom. Door de afvoer van Rijn en Maas wordt het water langs de hele Nederlandse kust beïnvloed door zoet water. Daarbij horen verschijnselen als zoutstratificatie, sterke dichtheidsgradiënten dwars op de kust met een front aan de zee kant, een frontal jet en een kustwaarts gerichte dichtheidsstroom langs de bodem (de Kok, 1997).

Deze reststroom dichtbij de bodem wordt veroorzaakt door dwars op de kust staande dichtheidsgradiënten en heeft een grootte van enkele cm/s. Hierdoor wordt gesuspendeerd cohesief sediment (SPM; hier aangeduid als slib) naar de kust gebracht, met als resultaat een zeer sterke dwars op de kust staande gradiënt van slibconcentraties in een kuststrook met een breedte van ongeveer 5 km (de Kok, 1992, Visser et al., 1991, zie ook fig 4.3). Zand is te zwaar voor dit type transport. De gemiddelde dwars op de kust staande dichtheidsgradiënt, D_g , kan gedefinieerd worden als het verschil tussen de dichtheid van het water dichtbij de kust, ρ_0 , en de dichtheid van het water

aan de zeekant van het front, ρ_{o_2} gedeeld door de breedte W van het gebied dat wordt beïnvloed door zoet water:

$$Dg = (\rho_{o_1} - \rho_{o_2})/W \quad (1)$$

De dichtheid ρ_{o_2} is vrijwel constant, maar ρ_{o_1} hangt sterk af van de afvoer van de Rijn, de windsnelheid en -richting, en de mengkarakteristieken van het front van de rivierpluim (de Kok, 1997).

Het front van de Rijnpluim ligt gemiddeld 20 km uit de kust, maar kan soms ook over een afstand van nog eens meer dan 20 km naar het westen opschuiven (de Ruyter et al., 1992). In de hele pluim bestaan concentratiegradiënten van slib dwars op de kust, maar binnen de eerste 5 km vanaf de kust zijn deze concentratiegradiënten een aantal malen steiler dan meer zeewaarts. De jaargemiddelde slib concentraties kunnen waarden bereiken van 50 tot 100 mg/l (Groenendijk, 1990). Men kan drie zones onderscheiden met verschillende slib en nutriënt gehalten (fig. 4.3):

- Zone 1: slibrijke, nutriënt rijke zone met meer dan 10% Rijnwater (saliniteiten < 32 PSU); hoge primaire produktie: jaargemiddelde ligging: 0-20 km uit de kust ter hoogte van Noordwijk.
- Zone 2: overgangszone met minder dan 10%, maar meer dan 3% Rijnwater (32 < PSU < 34): lage hoeveelheden slib en hoge hoeveelheden nutriënten; primaire produktie kan licht- dan wel nutriënt-gelimiteerd zijn; jaargemiddelde ligging: 20-40 km uit de kust.
- Zone 3: Noordzeewater; slib en nutriëntenarme zone (PSU>34); lage primaire produktie met nutriënt-limitatie; in de rest van de zuidelijke Noordzee.

De snelheid van de reststroom van de Nederlandse kuststroom ligt gemiddeld tussen 5 en 10 cm/s. De oppervlaktestroom bij het front heeft echter veel hogere snelheden. De kuststroom neemt sediment (zand en gesuspendeerd materiaal) mee in noordoostelijke richting. De transportsnelheid van slib is veel groter dan die van zand, maar wat lager dan de snelheid van de reststroom. Voor slib de geschatte reistijd tussen Hoek van Holland en het Marsdiep onder gemiddelde omstandigheden ongeveer 30 dagen. De hoeveelheid zand die door de kuststroom getransporteerd wordt, is onbekend, maar kan uit de hoeveelheden zand die uit de vaargeulen Maasgeul en IJ-geul gebaggerd wordt afgeleid worden. Voor beide vaargeulen liggen die hoeveelheden rond 1 miljoen ton drooggewicht per jaar.

De schatting van de hoeveelheid fijn cohesief slib dat door de kuststroom vervoerd wordt, ligt tussen 10 en 20 Mton per jaar (van Alphen, 1990). Het bezinkt niet in de diepe vaargeulen op zee, maar dringt binnen in het Rijn estuarium en bezinkt in de havens en vaarwateren landinwaarts. Het sedimenteert ook in de zeehavens van IJmuiden. De afgezette marine sedimenten worden uit de haven gebaggerd en voor het grootste deel in zee gestort, waar ze weer door de kuststroom worden opgenomen. Als gevolg van de zeer hoge slibconcentraties in de kuststrook zijn de slibstromen in deze zone het grootst. Dit heeft tot gevolg dat de uitwisseling met havens, estuaria en zeegaten ook groot is. De netto slibindringing in het Rijn/Maas estuarium b.v. ligt tussen 3 en 4 miljoen ton drooggewicht per jaar (de Kok & van der Meulen, 1997).

Ook bestaat er een grote uitwisseling van water en sediment door de zeegaten van de Waddenzee. Het voornaamste zeegat van de Westelijke Waddenzee is het Marsdiep. Dit zeegat heeft een sterke getij asymmetrie, met zeer hoge stroomsnelheden naar binnen (vloed) en veel lagere

stroomsnelheden naar buiten (eb). Toch is de getij gedreven reststroom zeer klein en sterk afhankelijk van de windrichting.

In de Waddenzee, in de buurt van het Marsdiep, loost de IJssel, een arm van de Rijn, ongeveer 20% van het Rijnwater, wat leidt tot een continue zout- en dichtheidsgradiënt vanaf de Waddenzee door het Marsdiep naar de zee. Deze dichtheidsgradiënt genereert een instromende reststroom over de bodem (de Kok et al., 1995a,b). Zowel de getij asymmetrie als de dichtheidsgradiënten veroorzaken een naar binnenstromende reststroom van slib en zeer hoge slibconcentraties in de Waddenzee, waar de waarden toenemen van 50 mg/l in het westelijke deel tot meer dan 200 mg/l in het oostelijke deel (Maiwald & Verhagen, 1991). Als gevolg van de hoge uitwisselingssnelheden zijn de verblijfstijden in de Westelijke Waddenzee relatief kort met waarden tussen 5 en 10 dagen (Ridderinkhof, 1993). Toch zijn er sterke aanwijzingen dat er een of meer miljoenen ton slib in de Westelijke Waddenzee bezinken, vermengd met zand op de wadplaten of tijdens storm op de kwelders. Het lijkt geen twijfel dat zowel het water als het fijne sediment van de Waddenzee aangevoerd wordt door de Nederlands kuststroom. Daarom zijn de slibconcentraties in deze stroom sterk gekoppeld (zo niet proportioneel) aan troebelheid niveaus en sedimentatiesnelheden van slib in de Waddenzee.

5.4 Methoden

5.4.1 TRIWAQ en SLIB 3D

Voor de model studies werden een viertal eilanden (ruitvormig, 8500 ha) gedefinieerd in het kuststrook model (fig 5.1):

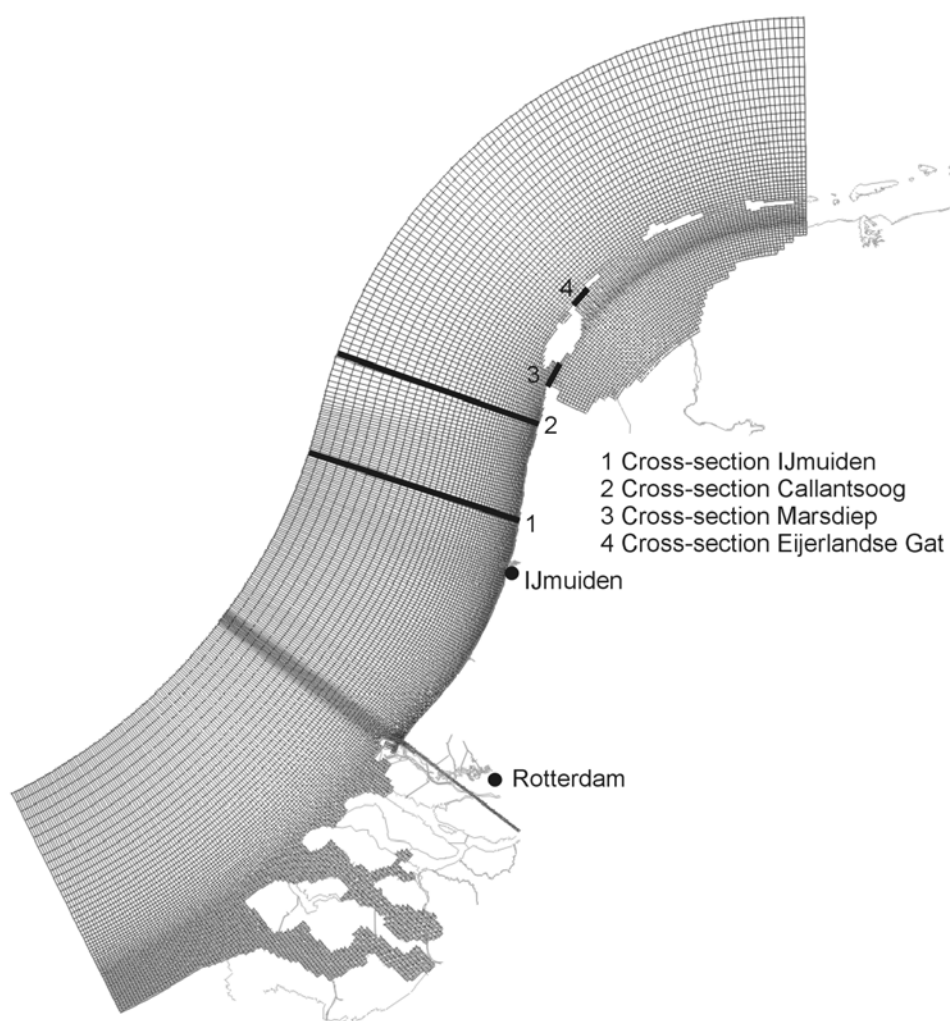
- op 16 km (oostelijke rand) van de kust met gedeeltelijk open oeververbinding haaks op de huidige kustlijn (S01);
- op 16 km van de kust met een volledig gesloten dam (S02);
- op 16 km van de kust verbonden door een tunnel (S03);
- op 10 km van de kust verbonden door een tunnel (S04).

Omdat het transport van slib in het Nederlandse kustgebied gestuurd wordt door drie-dimensionale mechanismen, worden er drie-dimensionale "finite difference" modellen met zes sigma lagen gebruikt voor de hydrodynamica en het transport van slib (Lander et al., 1996, de Kok et al., 1995a,b). Met deze modellen zijn verschillende eilandscenarios doorgerekend en vergeleken met de resultaten van een modelsimulatie van de huidige situatie (T0). Voor elk scenario, inclusief T0, is met het 3D ondiep water model een karakteristieke getijperiode berekend. Dit model is getij oplossend en houdt volledig rekening met de barocliene drukgradiënten t.g.v. de saliniteitsverschillen. Voor de berekening van de turbulente viscositeit en diffusiviteit is een menglengte benadering gebruikt samen met de Munk-Anderson formules voor het dempen van de turbulentie t.g.v. de verticale dichtheidsverschillen (de Kok, 1996).

Het model is gevalideerd met gemeten reststromen in een transect loodrecht op de kust voor Noordwijk. De berekende snelheden van de reststroom weken gemiddeld 10 tot 20% af van het jaargemiddelde van de gemeten waarden (Salden en de Kok, 1994). Een klimatologisch gemiddeld zoutgehalte is als beginvoorwaarde en ook als randvoorwaarde gebruikt. Rivierafvoer en opgelegde wind stress aan het oppervlakte waren constant en gelijk aan het klimatologische gemiddelde. In elk scenario werden 40 dagen gesimuleerd om het zoutgehalte en het snelheidsveld aan te passen aan de gemodelleerde geometrie. De berekende waterniveaus, snelheidsvelden en verticale diffusiviteiten van de laatste getijperiode werden met een tijdstap van 15 minuten opgeslagen op harde schijf om gebruikt te kunnen worden in het slibtransport model.

Het transport van slib werd berekend met een apart drie-dimensionaal model, met dezelfde model geometrie en laagverdeling als het hydrodynamische model. Dit model is gebaseerd op de drie-dimensionale advectie-diffusie vergelijking uitgebreid met een uniforme constante valsnelheid en een extra bodemlaag voor sedimentatie en resuspensie volgens vereenvoudigde formules van Krone (1962) and Partheniades (1965). De numerieke methode staat sterke gradiënten en hogere afgeleiden toe zonder al te veel numerieke dispersie (de Kok , 1992). Randvoorwaarden waren gelijk aan de waargenomen klimatologische gemiddelden. Met het model is een periode van 200 getijden gesimuleerd, met voor elk getij dezelfde hydrodynamica. Deze periode is lang genoeg om de invloed van de beginwaarden te laten verdwijnen. Het T0 scenario is vergeleken met het klimatologische gemiddelde(Thoolen, 1999a,b) en met de resultaten van satelietbeelden (Salden, 1998). Individuele waarden op geïsoleerde plaatsen toonden grote verschillen t.o.v. de gemeten waarden, maar globalere kenmerken, zoals concentratiegradiënten dwars op de kust en langs de kust toonden voldoende overeenkomst (Thoolen,1999a,b).

.....
 figuur 5.1. Het kromlijinig rekenrooster van het TRIWAQ kuststrook model met daarin aangegeven de verschillende raaien en plaatsen, genoemd in de tekst.



Er zijn aanwijzingen dat de belangrijkste fout in het reproduceren van een jaargemiddelde flux veld niet veroorzaakt wordt door fouten in de individuele concentraties, maar door het feit dat er slechts één getijperiode en een constante waarde voor wind stress gebruikt is voor de simulatie van een periode van 100 dagen. Hierdoor worden alle belangrijke niet-lineaire effecten niet meegenomen, zoals die veroorzaakt door hoge rivierafvoeren, stormen en periodes met door golven veroorzaakte resuspensie van slib. Voor een snelle eerste schatting van mogelijke lange termijn effecten is deze methode echter goed bruikbaar, omdat het alleen gaat om relatieve veranderingen in de sedimentstromen en niet om absolute waarden.

De berekende slibconcentraties zijn gemiddeld over het laatst berekende getij en over de verticaal. De berekende snelheidsvelden zijn alleen over de verticaal gemiddeld. Het constante SPM veld en de in de tijd variërende snelheidsvelden (50 velden met een tussentijd van 15 minuten) zijn gebruikt in het 2D model voor de berekening van het transport van nutriënten en de primaire productie.

5.4.2 GEM-modelopzet

Om de effecten van de eiland in zee varianten op de primaire productie te kwantificeren, wordt gebruikt gemaakt van het Generieke Ecologisch Model (GEM). Dit model is recentelijk geoperationaliseerd en gekalibreerd voor de Nederlandse kuststrook en de Waddenzee (WL/DELFT HYDRAULICS, 1999a). Het GEM model berekent op basis van gespecificeerde hydrodynamica, slibpatronen, meteorologische condities en de nutriëntenaanvoer vanuit de rivieren, de primaire productie en de soortensamenstelling in relatie met de nutriënten omzettingen.

De waterbeweging en de slibpatronen zijn berekend met een constante zuidwesten wind van 7 m/s (4 Bfr.). Bij iedere berekening is een volledige jaarcyclus doorgerekend, waarbij temperatuur, lichtinstraling, nutriëntenaanvoer en grootte van slibconcentratie zijn gevarieerd. Teneinde enorme lange rekentijden te voorkomen zijn de oorspronkelijke 3D hydrodynamische- en slib berekeningsresultaten zoals berekend op het fijnmazige kuststrookrooster, ruimtelijk geaggregeerd en over de diepte gemiddeld.

Aangezien de hydrodynamische database slechts vier getijperiodes uur omspant, is gedurende de jaarcyclus de hydrodynamica iedere periode ongewijzigd herhaald. De seizoensdynamiek in de slibconcentraties is tot stand gebracht door in iedere rekencel een cosinus functie rond het gemiddelde toe te passen. De amplitude van deze functie is zodanig gekozen dat in de winterperiode anderhalf keer en in de zomer een half keer de nominale (jaargemiddelde) concentratie wordt gehanteerd. Het resultaat van deze aanpak is dat naast de ruimtelijke tevens de temporele gradiënten in lichtuitdoving ten gevolge van anorganisch materiaal kunnen worden beschreven. Voor zowel de temperatuur als de lichtinstraling zijn daggemiddelde waarden van 1998 gehanteerd. De emissies vanuit de rivieren zijn gebaseerd op 10-daags gemiddelden debieten en nutriëntenconcentraties (eveneens 1998). De setting van de modelcoëfficiënten zoals die uit (WL/Delft Hydraulics, 1999a) is bepaald, is voor deze studie ongewijzigd overgenomen. Voor verdere details met betrekking tot de modelopzet wordt verwezen naar (WL/Delft Hydraulics, 1999b).

5.5 Resultaten en interpretatie

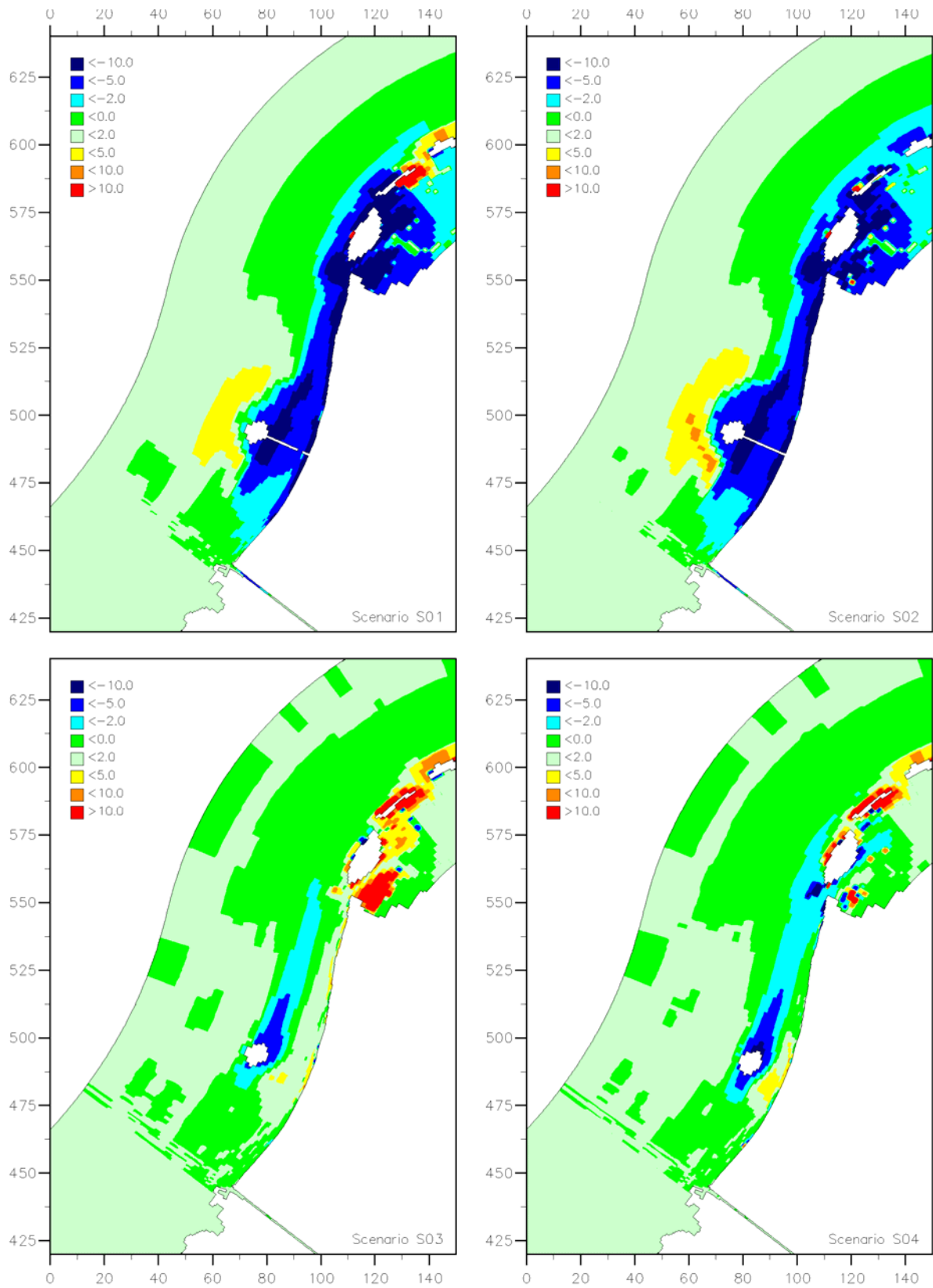
Bij een eerste analyse bleken de resultaten van een eiland met dam en die met een dam en getijcentrale zeer veel op elkaar te lijken. Ook de situaties van eiland op 10 km of 16 km met tunnel leken erg op elkaar. In het vervolg van het artikel zullen de effecten besproken worden als eiland met dam en eiland met tunnel. Alleen als de resultaten voldoende onderscheidend zijn zal een nader onderscheid worden gemaakt.

5.5.1 Hydrodynamica

Eiland met dam: Ten westen van het eiland zullen de getijstroomsnelheden toenemen. Aan beide zijden van de dam ontstaat een stroomluwte waar sedimentatie van zand en slib zal plaatsvinden. Bij de damvariant met opening ontstaan grote stroomsnelheden door de opening, maar ten westen ervan blijft toch een stroomluwte bestaan waar weer sedimentatie van zand en slib plaatsvindt (fig. 5.2, 5.3). De dam heeft als gevolg dat de hoeveelheid water die door de Callantsoog raai loopt met 8 tot 10% verminderd (tabel 5.2).

Eiland met tunnel: In deze situatie zal aan beide zijden van het eiland een versnelling van de getijstromen plaats vinden. Ten noordoosten van het eiland zullen de stroomsnelheden dusdanige zijn dat enige sedimentatie van zand kan plaats vinden (data niet getoond). Dergelijke fenomenen werden ook in berekeningen met andere eiland vormen aangetoond (Smit et al., 1998).

figuur 5.2. Ruimtelijke jaargemiddelde verschillen in slib tussen de T0 en de vier vliegveldvarianten. Voor afkortingen in de figuur: zie de legenda van tabel 5.2.



Menging van de kustrivier: De Nederlandse kustwateren worden gekenmerkt door de "kustrivier". De kustrivier is de zone waarin het rivierwater van de Rijn zich mengt met het Noordzee water (Smit et al., 1998). Door het ontbreken van een echt Rijn estuarium stroomt het Rijnwater geconcentreerd de Noordzee in. Het eiland met dam veroorzaakt een grote toename menging van de kustrivier terwijl het eiland met tunnel dit slechts in beperkte mate doet (tabel 5.2, fig. 5.2). Fig. 5.2 geeft het ruimtelijk beeld van de verandering van de mening van de kustrivier. Het eiland met dam (S01, S02, fig. 5.2) heeft een duidelijke verzouting ten noorden van de dam tot gevolg. Daarentegen heeft het eiland met tunnel (S03, S04, fig. 5.2) nauwelijks enige invloed op het grootschalige saliniteitspatroon. In tabel 5.2 staan de veranderingen van zone 1 en 2 op het transect van IJmuiden (fig. 5.1, in procenten). In de T0 situatie (P13) is zone 1 20 km breed. Het effect van de aanleg van een eiland met dam is een smaller worden van zone 1 en een breder worden van de zone 2 (tabel 5.2). Bij de varianten met tunnel wordt alleen zone 2 breder en blijft zone 1 constant (tabel 5.2). In een transect ter hoogte van Callantsoog worden zones 1 en 2 ieder tussen de 10 en 20% smaller ten opzichte van de T0-situatie (data niet getoond).

Tabel 5.2. Beschrijving van de waterbewegingen (totaal stroom, eb en vloed stroom, in m³/s) en de zoutbewegingen (in kg/d) in de T0-situatie. Daarnaast de procentuele verandering van deze grootheden door de verschillende eilandvarianten. De referentiesituatie is aangegeven met T0. S01 is het eiland op 16 km met halfopen dam (opening 1300 m); S02 is het eiland op 16 km met dichte dam; S03 is het eiland op 16 km met brug of tunnel; S04 is het eiland op 10 km met brug of tunnel.

| | | T0-Waterfluxen ¹ | Eiland met dam | | Eiland met tunnel | |
|------------------|--------------------|-----------------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | | | S01 ² | S02 ² | S03 ² | S04 ² |
| Callantsoog | total flow | -82400 | -8 | -10 | -1 | -1 |
| | pos flow (southw.) | 224000 | -7 | -11 | -1 | -1 |
| | neg flow (northw.) | -307000 | -7 | -10 | -2 | -1 |
| Marsdiep | total flow | 1250 | -1 | 7 | 0 | 0 |
| | pos flow (eastw.) | 22700 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| | neg flow (westw.) | -21500 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Eierlandsche gat | total flow | 157 | -2 | -2 | 1 | -1 |
| | pos. flow (eastw.) | 3250 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | neg. flow (westw.) | -3090 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | | Saliniteit ³ | S01 ² | S02 ² | S03 ² | S04 ² |
| Callantsoog | | 1.97E+08 | -6.8 | -8.0 | -1.1 | -1.0 |
| Marsdiep | | 4.17E+06 | 12.4 | 19.7 | 2.2 | 2.6 |
| Eierlandsche gat | | 3.80E+05 | -0.9 | 0.3 | -1.3 | -1.9 |

¹: in m³/s

²: in procent

³: kg/d

De verstoring strekt zich uit tot in de Waddenzee. In het Marsdiep verandert saliniteitsflux. Bij de damvarianten treedt verzouting op (12% voor S01 en 20% voor S02, tabel 5.3). De tunnel varianten hebben nauwelijks effect.

Kustdwarse saliniteitsgradiënten: Voor het transport van stoffen zijn de breedte van de kustrivier en de daarmee samenhangende dichtheidsgradiënten loodrecht op de kust van belang (kustdwarse saliniteitsgradiënten). De westelijke Waddenzee kent een grote slibimport als gevolg van dit kustwaartse bodemtransport. Vanuit de slibrijke Noord-Hollandse kustzone gaan grote slibfluxen naar het Marsdiep, met als gevolg hoge slibconcentraties in het

Marsdiep zelf (zie 'Theoretische sectie'). Een tweede oorzaak van de grote slibimport in de Waddenzee is de getij- asymmetrie. De hogere maximale vloedstroom-snelheden brengen meer slib dan dat de lagere ebstroomsnelheden afvoeren.

Ter hoogte van IJmuiden worden de kustdwarse zoutgradiënten (eq. 1) kleiner voor zowel de dam-varianten als de tunnel varianten (fig. 5.2, tabel 5.3). Dit is enerzijds het gevolg van het breder worden van zone 2 en anderzijds het afnemen van de zoetwaterconcentratie bij de kust. (Het totale dichtheidsverschil tussen zeewaartse begrenzing van zone 2 en de kust neemt in alle gevallen af.) In het transect ter hoogte van Callantsoog worden zones 1 en 2 ieder tussen de 10 en 20% smaller ten opzichte van de T0-situatie (data niet getoond). De kustdwarse dichtheidsgradiënten blijven echter ongeveer gelijk ten opzichte van de T0-situatie omdat ook hier de zoetwaterconcentraties aan de kust afnemen (eq. 1).

Stratificatie: Er is bij de damvarianten S01 en S02 sprake van een zeer lichte toename van de stratificatie rond de dam. De toename van het verticale saliniteitsverschil ligt in de orde van 0.25 PSU en zal geen significante gevolgen hebben voor verticale menging of zuurstofgehalte (data niet getoond).

Tabel 5.3. De verandering van de verschillende zones van de Nederlandse kusttrivier ter hoogte van IJmuiden (in procenten). Zie de tekst voor uitleg van de verschillende zones. Voor afkortingen, zie de legenda van tabel 5.2.

| | T0-situatie ¹ | Eiland met dam | | Eiland met tunnel | |
|--------|--------------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | | S01 ² | S02 ² | S03 ² | S04 ² |
| Zone 1 | 0-20 | -20 | -40 | 0 | 0 |
| Zone 2 | 20-40 | +85 | +350 | +25 | +25 |

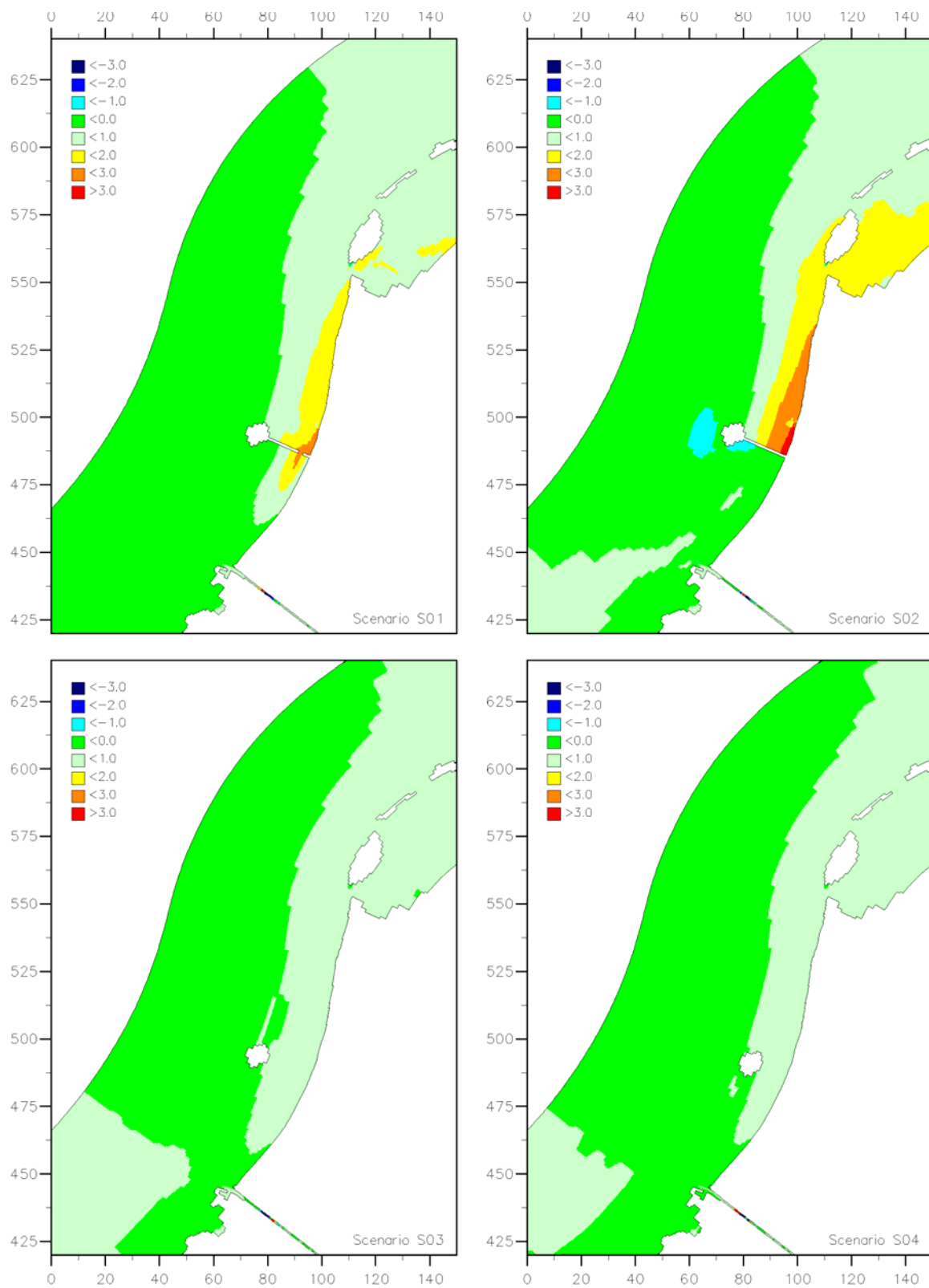
¹: afstand uit de kust in km
²: in procent

Tabel 5.4. Beschrijving van de slibkarakteristieken (gemiddelde slib concentratie over 25 uur, met eb, met vloed in mg/l, en het totale slib transport in kg/25 hrs) in de T0-situatie op verschillende raaien langs de kust (fig 5.1). Daarnaast de procentuele verandering van deze grootheden door de verschillende eilandvarianten. Spm = suspended matter = slib. Voor overige afkortingen: zie de legenda van tabel 5.2.

| | | T0 | Eiland met dam | | Eiland met tunnel | |
|----------------|-----------------------------|------------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | | | S01 ² | S02 ² | S03 ² | S04 ² |
| Callantsoog | Spm conc. averaged 25hrs | 10.4 ¹ | -49 | -51 | -6 | -14 |
| | Spm conc. averaged pos.flow | 10.3 ¹ | -48 | -49 | -6 | -14 |
| | Spm conc. averaged neg.flow | 10.4 ¹ | -50 | -52 | -5 | -13 |
| | total spm transport | -4,60E+07 ³ | -23 | -22 | -8 | -10 |
| Marsdiep | Spm conc. averaged 25hrs | 53.8 ¹ | -41 | -36 | 9 | -9 |
| | Spm conc. averaged pos.flow | 50.2 ¹ | -43 | -40 | 7 | -10 |
| | Spm conc. averaged neg.flow | 57.3 ¹ | -37 | -31 | 11 | -9 |
| | total spm transport | 3,60E+06 ³ | -64 | -66 | -17 | -16 |
| Eierlandse gat | Spm conc. averaged 25hrs | 58.1 ¹ | -21 | -15 | 5 | 2 |
| | Spm conc. averaged pos.flow | 65.8 ¹ | -19 | -12 | 5 | 2 |
| | Spm conc. averaged neg.flow | 50.7 ¹ | -24 | -17 | 3 | 2 |
| | total spm transport | 1,23E+06 ³ | -34 | -35 | -5 | -2 |

¹: in mg/l
²: in procent
³: kg/25 hrs

figuur 5.3. Ruimtelijke jaargemiddelde verschillen in saliniteit weergegeven tussen de T0 en de vier vliegveldvarianten. Voor afkortingen in de figuur: zie de legenda van tabel 5.2.



5.5.2 Slibtransport

Slibfluxen: Het eiland met dam heeft grote gevolgen op de slibfluxen (fig. 5.3, tabellen 5.2, 5.3, 5.4). Het eiland met tunnel heeft beduidend minder effect (fig. 5.3, tabellen 5.2, 5.3, 5.4). De vermindering van de slibconcentraties leidt uiteraard tot een toename van de doorgelaten hoeveelheid licht in de waterkolom en de primaire productie. De lichttoename is niet lineair.

In tabel 5.2 staan de berekende waterfluxen per complete getijcyclus. In tabel 5.4 staan de gegevens van drie transecten: Callantsoog-raai, Marsdiep en Eierlandse gat: slibconcentraties voor de ebfase, vloedfase en getijgemiddeld, evenals de netto slibflux door het transect. Noordelijk en noord-oostelijk gericht transport is hier negatief. Oostelijk en zuid-oostelijk is positief. Voor de T0-situatie zijn de absolute waarden gegeven. Voor de eilandvarianten zijn de relatieve veranderingen in % t.o.v T0 gegeven. Door het Callantsoog-transect gaat in T0 een berekende slibflux van 46000 ton per 25 uur, (± 16 Mton per jaar). Beide berekende fluxen zijn in overeenstemming met de gevestigde ideeën (De Kok et al., 1995a,b).

In alle varianten wordt de slibflux minder. Dit is een gevolg van drie mechanismen:

1. De aanslibbing rond het eiland, die een deel van het slib absorbeert (fig. 5.3). Bij de damvarianten is deze aanslibbing enkele miljoenen tonnen per jaar ($\pm 10\%$ van het totaal). Bij het eiland met tunnel is aanslibbing veel minder.
2. Het kleiner worden van de gemiddelde cross-shore dichtheidsgradiënt tussen 0 en 20 km uit de kust, waardoor er minder slib door kustwaartse dichtheidsgedreven bodemstromingen naar de kust wordt getransporteerd (De Kok et al., 1995a,b).
3. Lokaal wordt de vermindering van de slibconcentratie veroorzaakt door de verbeterde menging van de kustrivier met het Noordzee water. De afname van de flux door de totale raai varieert van 8 (tunnel) tot 22% (dam). Deze afname vindt vooral plaats in de zone tussen 0 en 10 km uit de kust, waar de slibconcentraties flink afnemen (fig. 5.3). Dit mechanisme is sterker voor het eiland met dam dan voor het eiland met tunnel (zie ook hydrodynamica).

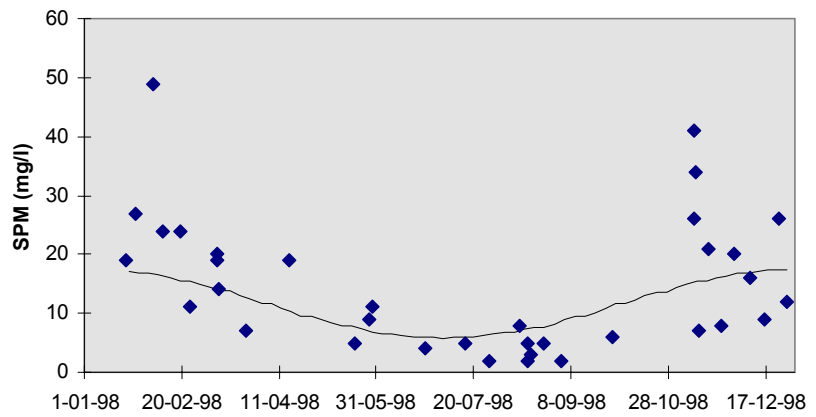
De flux door het Marsdiep neemt veel sterker af (tabel 5.4, fig. 5.3). Bij de dam-varianten is deze afname ongeveer 65%. Bij de tunnel-varianten is deze afname ongeveer 17%. Dit komt doordat deze flux vooral bepaald wordt door de concentraties tussen 0 en 5 km uit de kust tussen Callantsoog en Den Helder (fig. 5.3). Bij het Eierlandse gat is de vermindering nog maar 34% en verder oostelijk minder dan 10% bij de dam-varianten (tabel 5.4). Bij de tunnel-varianten is het effect op slib al nagenoeg verdwenen ter hoogte van het Eierlandse gat.

Bij de dam-varianten verminderen de gemiddelde concentraties in de zeegaten met 20% (Eijerlandse Gat) tot 60% (Marsdiep). Dit kan leiden tot een vergelijkbare vermindering van slibconcentraties, aanslibbing in kwelders en slibgehalten van plaatgebieden in de kombergingsgebieden achter het Marsdiep en het Eierlandse gat.

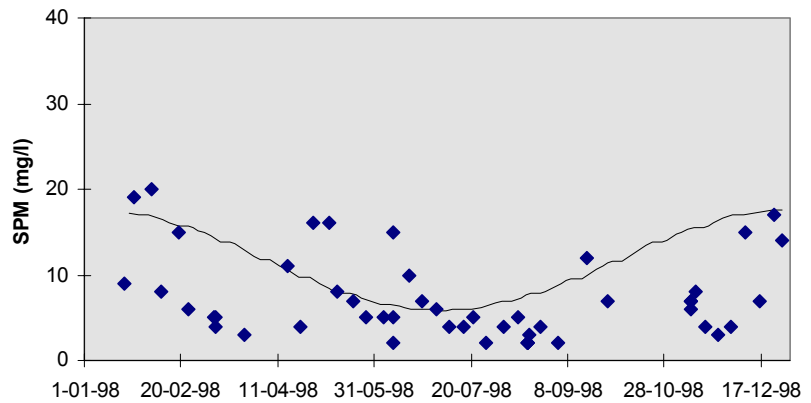
In Thoolen (1999b) werd een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de mate van sedimentatie bij een eiland met tunnel. Daar bleek dat bij een sedimentatie van $0.49 \cdot 10^9$ kg jaar⁻¹ (35% van de sedimentatie van de huidige studie) de slibfluxen door het Marsdiep nagenoeg gelijk waren aan de T0-situatie. De slibsedimentatiefactor van Thoolen (1999b) lijkt een reëlere benadering van de te verwachte situatie dan de slibsedimentatie factor gebruikt in deze studie. Van de drie genoemde mechanismen als oorzaken voor de veranderingen in slibfluxen blijft voor de eiland met tunnel varianten dan alleen de sedimentatie factor over als verklarend mechanisme.

.....
figuur 5.4. Slib gehalte (mg/l) volgens metingen (ruitjes) en volgens het GEM-model (getrokken lijn), gegevens van 2, 10 en 20 km uit de kust bij Noordwijk: T0-situatie.

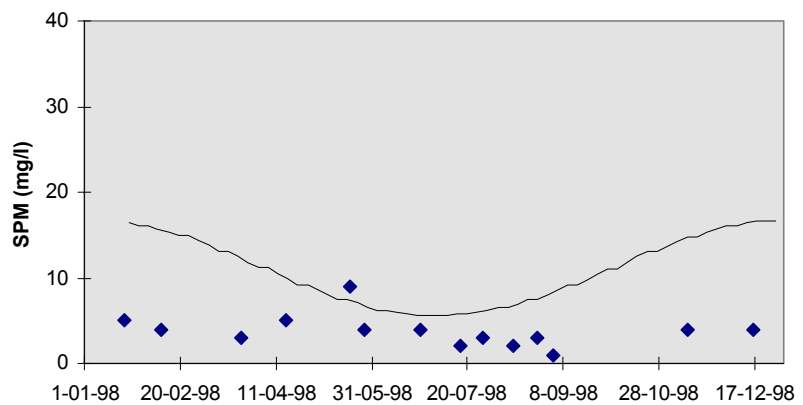
4A: SPM Noordwijk 2 km



4B: SPM Noordwijk 10 km

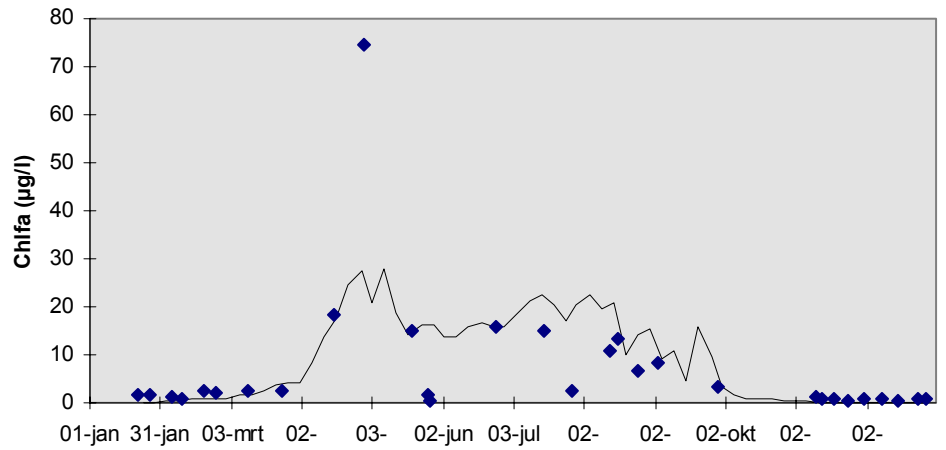


4C: SPM Noordwijk 20 km

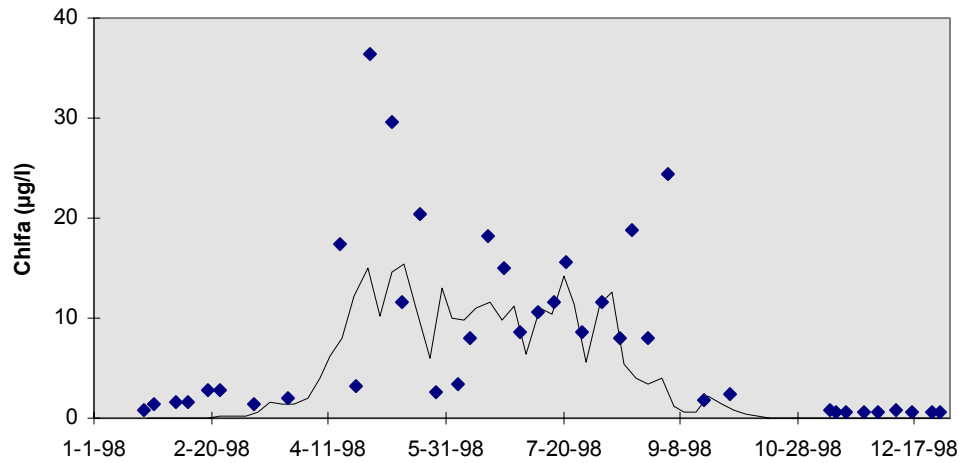


.....
 figuur 5.5. Chlorofyl-a gehalte ($\mu\text{g/l}$) volgens metingen (ruitjes) en volgens het GEM-model (getrokken lijn), gegevens van 2, 10 en 20 km uit de kust bij Noordwijk: T0-situatie.

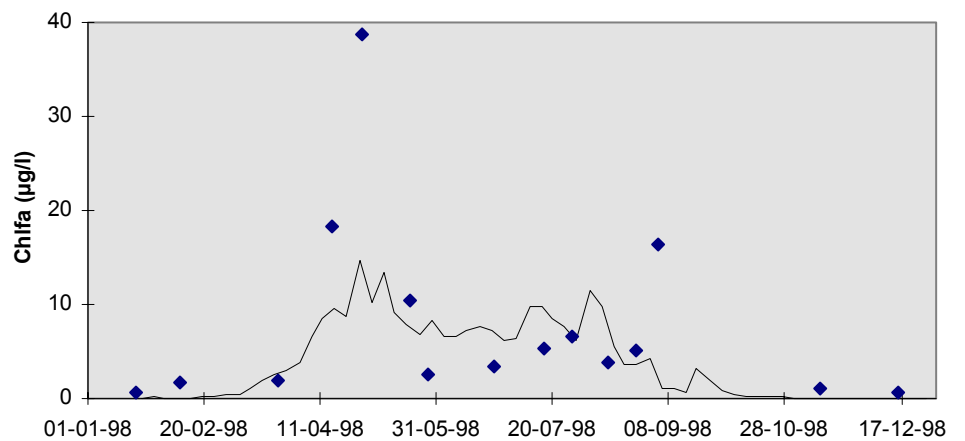
5A: Chlorofyl-a Noordwijk 2 km



5B: Chlorofyl-a Noordwijk 10 km



5C: Chlorofyl-a Noordwijk 20 km



5.5.3 Fytoplankton

T0-situatie: in figs. 5.5 en 5.6 staan de tijdseries van chlorofyl ($\mu\text{g/l}$) op een aantal punten van de raaien van Noordwijk en Callantsoog weergegeven. De T0-situatie in fig. 5.6 heet: P13. In beide gevallen begint de algenbloei vanaf eind april. De algenbloei stijgt naar een duidelijk maximum, gevolgd door een zomerminimum en een nieuwe algenbloei in het najaar (augustus, september oktober). In de kustzone zijn deze fenomenen het meest duidelijk maar ook verder westwaarts vinden ze plaats, zij het minder extreem (figs. 5.5, 5.6). Een dergelijk patroon als figs. 5.5 en 5.6 staat eerder voor een systeem met nutriëntlimitatie (WL/Delft hydraulics, 1999a-c).

Met slib en nutriënt-gegevens van 1990, is men in staat om een modelresultaat voor de kustzone te genereren dat staat voor lichtlimitatie (WL/Delft hydraulics, 1999a). Lichtlimitatie zou zich moeten uiten zich door een algenbestand dat toeneemt met de toenemende lichtinval, gedurende de gehele zomer in een maximum verkeert en in de herfst afneemt. Aanvullend suggereren ook de chlorofyl-a getallen dat de Nederlandse kustzone aan het veranderen is naar een minder nutriëntrijk systeem (fig. 5.5). Klaarblijkelijk hebben de vermindering van nutriënten emissies op de Rijn hun effect.

Op jaargemiddelde basis, heeft de Noordzee chlorofyl-a gehalten tussen de 3 en 5 $\mu\text{g/l}$. Alleen in de eerste 2 km van kustzone komen hogere gehalten voor (tabel 5.5). In de Waddenzee komen gehalten voor van 10 $\mu\text{g/l}$ en hoger voor (data niet vertoond). De primaire productie is hoog ($> 1.0 \text{ g C/m}^2 \text{ d}$) in de Noordzee. In de Waddenzee loopt de range van 0.2 tot 0.8 $\text{g C/m}^2 \text{ d}$ (data niet vertoond).

Tabel 5.5. De netto nutriënt-transportfluxen (kg/d) en jaargemiddelde chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) voor de T0-situatie op verschillende raaien en plakken langs de kust. Daarnaast de procentuele verandering van deze grootheden door de verschillende eilandvarianten. Voor afkortingen, zie de legenda van tabel 5.2. De berekeningen werden uitgevoerd met het GEM-model.

| PO ₄ ²⁻ | | T0 ¹ | Eiland met dam | | Eiland met tunnel | |
|-------------------------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | | | S01 ² | S02 ² | S03 ² | S04 ² |
| | Callantsoog | 6.2E+04 | -18 | -20 | -3 | -4 |
| | Mardiep | 2.6E+03 | -53 | -61 | -6 | -13 |
| | Eierlandsche gat | 3.8E+02 | -42 | -49 | -15 | -16 |
| NO ₃ ⁻ | | T0 ¹ | S01 ² | S02 ² | S03 ² | S04 ² |
| | Callantsoog | 5.8E+05 | -23 | -27 | -4 | -4 |
| | Mardiep | 1.6E+04 | -110 | -140 | -14 | -27 |
| | Eierlandsche gat | 2.1E+03 | -73 | -90 | -30 | -31 |
| | | | | | | |
| Chlfa | | T0 ³ | S01 ² | S02 ² | S03 ² | S04 ² |
| | Noordwijk 2 km | 9.1 | 12 | 36 | -3 | -4 |
| | Noordwijk 10 km | 4.5 | 68 | 66 | 2 | 19 |
| | Noordwijk 20 km | 3.9 | 22 | 35 | 18 | 8 |
| | Callantsoog 2 km | 7.2 | 35 | 27 | -3 | 4 |
| | Callantsoog 10 km | 4.8 | 17 | 7 | 4 | 9 |
| | Callantsoog 20 km | 3.1 | -3 | -3 | 3 | 0 |
| | Marsdiep | 4.7 | 22 | 13 | -2 | 3 |
| | Eierlandse gat | 8.6 | -2 | -10 | -7 | -8 |

¹: kg/d

²: in procent

³: $\mu\text{g/l}$

Effecten van eiland varianten in zee

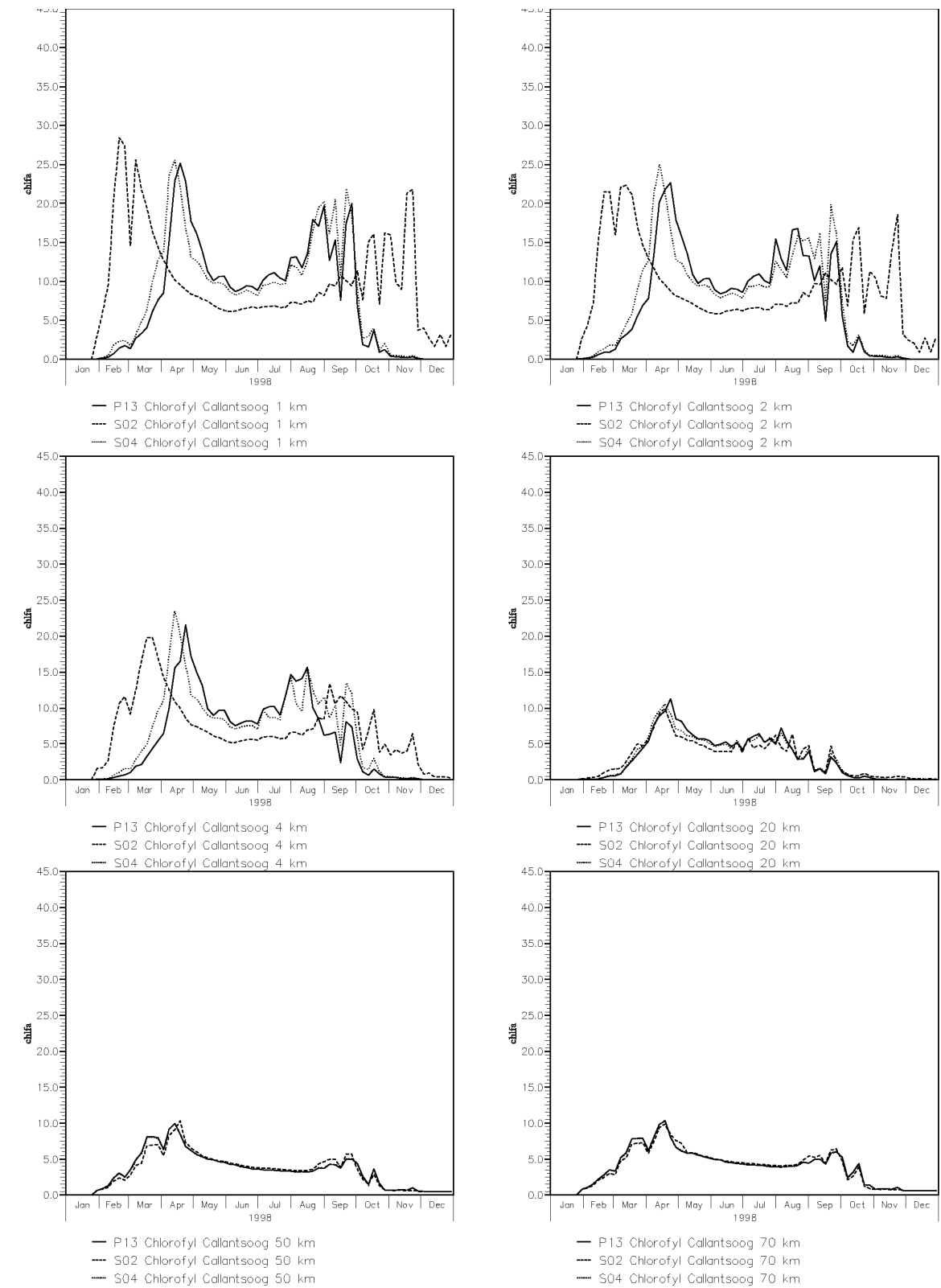
Nutriënten: Voor alle gedefinieerde raaien is een afname in de netto nitraat- en fosfaatfluxen berekend (tabel 5.5). De afname van de nutriëntfluxen door de Waddenzee zeegaten zijn echter aanzienlijk groter dan men op grond van transport (zie saliniteitsfluxen, tabel 5.3) zou verwachten. Saliniteit is een tracer voor de mate van menging van de kusttrivier met Noordzee water. Klaarblijkelijk spelen nog meer processen. Waarschijnlijk is dit het wegvangen en vastleggen van de nutriënten in de algenbiomassa de oorzaak. Door de jaargemiddelde toename van de algengroei voor de Nederlandse kust worden extra nutriënten vastgelegd (tabel 5.5, fig. 5.7).

Chlorofyl/Primaire productie: Zoals eerder vermeld volgt het chlorofylgehalte een specifiek tijdspad met een voorjaarsbloei, een zomerminimum en een najaarsbloei (figs. 5.5, 5.6). Het eiland met dam leidt, met name in de kustzone, tot een vervroegde voorjaarsbloei met een hoger maximum, een diepere zomer dip die ook langer duurt. De najaarsbloei komt vooral later. Op 20 km afstand van de kust is weinig meer te merken van het eiland met dam. Een eiland met tunnelverbinding leidt tot een lichte vervroeging en lichte verhoging van de voorjaarsbloei (fig. 5.6).

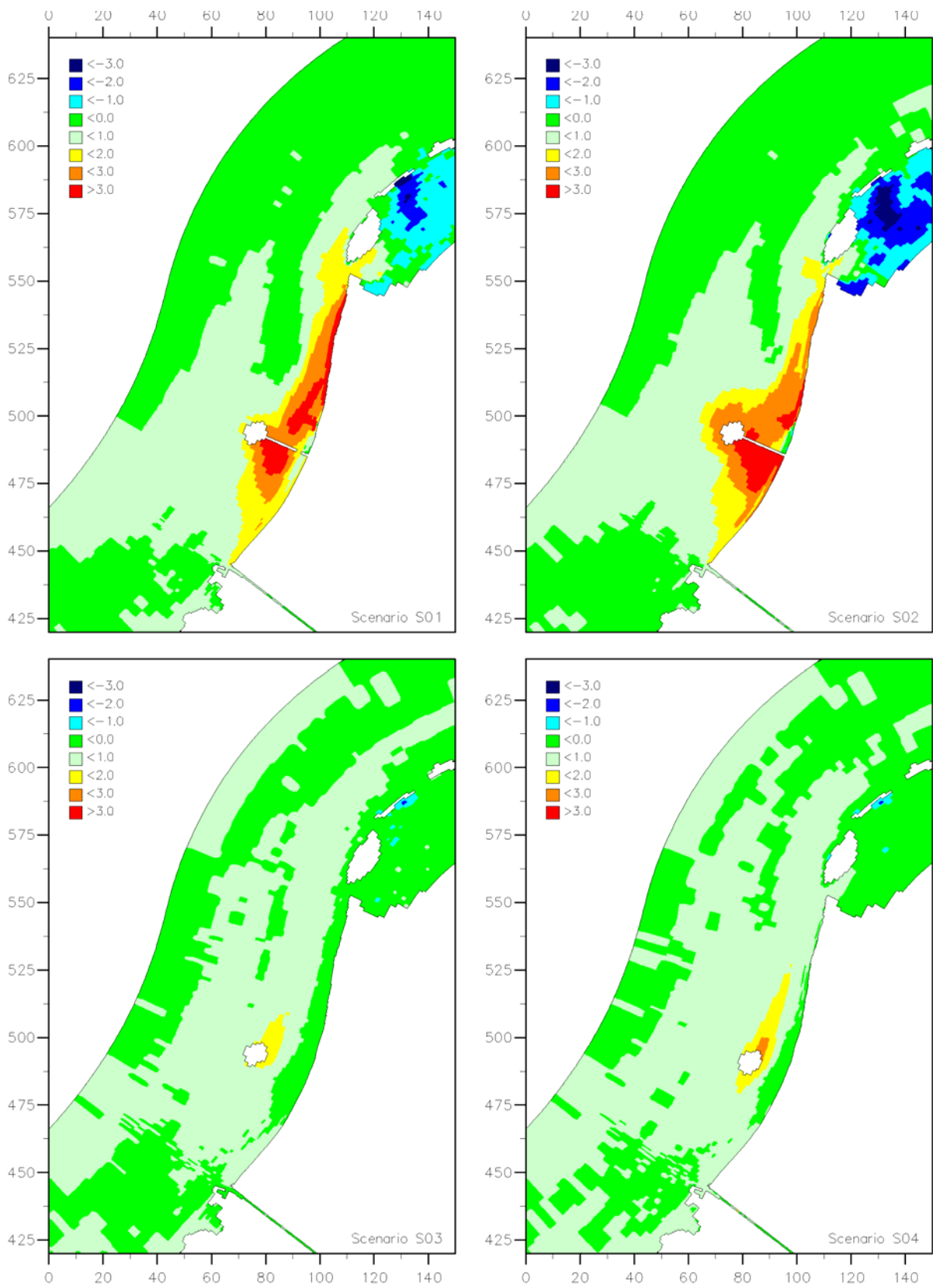
Niet alle veranderingen in het tijdsverloop van de simulaties lijken zeer realistisch, bv de resultaten van het eiland met dam. Met name de uitbreiding van het productieseizoen (februari-november) nabij de kust lijkt sterk overschat. Toch zijn een aantal trends in de resultaten in overeenstemming met wat men kwalitatief kan verwachten in dit systeem.

Waarschijnlijk zijn de vervroegingen van de voorjaarsbloei het gevolg van de verbetering van het lichtklimaat. In fig. 5.7 staan de ruimtelijke jaargemiddelde verschillen in chlorofyl weergegeven tussen de vier vliegveldvarianten met de T0-situatie. Uit de figuren is een duidelijk toename van het chlorofyl gehalte voor de Hollandse kust berekend in die gebieden waar de slibconcentraties zijn verminderd (inverse van de patronen van de slibverschillen, zie fig. 5.3). De jaargemiddelde toename in chlorofyl kan oplopen tot ruim 60% ter hoogte van Noordwijk 10 km (tabel 5.5). Dicht onder de Zuid-Hollandse kust (Noordwijk 2) is er geringe afname in chlorofyl waarneembaar in de tunnelvarianten ten gevolge van de toegenomen slibconcentraties aldaar. In het Eierlandse gat is er voor alle varianten een 5-10% afname in chlorofyl berekend. Door de vermindering van de slibconcentraties, zijn de lichtcondities verbeterd waardoor er een sterke primaire productie plaatsvindt (data niet getoond). In die gebieden waar de slibconcentraties zijn toegenomen (b.v. ten zuidoosten van het eiland in de S02 variant) is juist een afname in de primaire productie te zien. Ten noorden van de Callantsoog raai en in de westelijke Waddenzee zijn in de damvarianten slechts geringe chlorofyl toenames of zelfs een afnames berekend ondanks de verbetering van het lichtklimaat (lagere slibconcentraties). Klaarblijkelijk gaat door de reductie van nutriëntenconcentraties ten noorden van de dam de nutriëntlimitatie een overheersende rol spelen in de primaire productie.

figuur 5.6. Tijdsverloop van de chlorofyl-a concentraties ($\mu\text{g/l}$) op verschillende afstanden uit de kust ter hoogte van Callantssoog. Zowel de T0-situatie (P13) als een eiland met dam (S02) als een eiland met tunnel op 10 km uit de kust zijn weergegeven (S04). De andere eiland scenario's lieten vergelijkbare tijdsreeksen zien.



figuur 5.7. Ruimtelijke jaargemiddelde verschillen in chlorofyl-a tussen de T0 en de vier vliegveldvarianten. Voor afkortingen in de figuur: zie de legenda van tabel 5.2.



5.6 Foutenanalyse van de modelschattingen en validatie

5.6.1 Hydrodynamica

Het dient benadrukt te worden dat de modelberekeningen zijn uitgevoerd voor een situatie met jaargemiddelde externe forcing en met een nauwkeurigheid van zo'n 10% (De Kok et al., 1995a,b). Er zijn geen jaargemiddelde grootheden bepaald, maar min of meer momentane grootheden over een representatief getij en een jaargemiddelde windstress. De resultaten laten zich niet makkelijk vertalen naar mogelijk belangrijke en bepalende extremen als stormsituaties.

5.6.2 Slib

Meerdere bronnen zijn aanwijsbaar als oorzaken voor onnauwkeurigheden. In het algemeen kan men van *in situ* slibconcentratiemetingen zeggen dat zij behept zijn met een onnauwkeurigheid van een factor 2. De meeste schattingen van slibfluxen op basis van metingen zijn niet nauwkeuriger (De Kok et al., 1995a,b). Modelresultaten worden weer afgeregeld op meetresultaten en zijn dus minstens even onnauwkeurig. Dit heeft o.a. te maken met de grote range in korrel- en vloggrootteverdeling van zwevend particulier materiaal. Slib heeft een grootte range van 0.2 tot $63 \cdot 10^{-6}$ m. In het model wordt gerekend met een geschatte gemiddelde korrelgrootteverdeling. Verspreidingspatronen van de kleinere korrelgroottefractie kunnen dus ook weer afwijken van de berekening. In plaats van een actueel weersbeeld worden de lange termijn modelruns gedaan met een constante (zwakke) wind en een constant getij. Dit introduceert een extra onnauwkeurigheid van 30%.

De onzekerheden in het gebruikte modelinstrumentarium, zoals bijvoorbeeld de randvoorwaarden aan de zuidrand leiden tot een onnauwkeurigheid in de berekende slibfluxen van een factor 1.5 (De Kok et al., 1995a,b). Het model is in de zuidelijke helft het meest nauwkeurig. Voor de randvoorwaarden op de zuidrand geldt echter wel een onnauwkeurigheidsmarge van 30%. Deze randvoorwaarden zijn samengesteld uit gemeten klimatologische gemiddelden.

Validatie: Om de SLIB3D (3D SEDIMENT) berekeningen te valideren zijn de met het model berekende fluxen door de Callantsoograai, het Marsdiep en het Eijerlandse gat vergeleken met de algemeen geldende opvattingen over de fluxen (De Kok et al., 1995a,b). De berekende concentraties in deze zeegaten en de geulen erachter waren in overeenstemming in overeenstemming met metingen. In de ondiepe gebieden waren de berekende concentraties te laag (\pm factor 5) (Data niet vertoond). Meer oostelijk in de westelijke Waddenzee (Vlie, Borndiep) klopt het model helemaal niet meer als gevolg van diverse oorzaken, die hier verder buiten beschouwing blijven.

De modelfouten zijn systematisch. Dus als er in de T0-situatie een bepaald resultaat zeg 10% hoger is dan de werkelijkheid, dan zal dat in S01 en S02 etc. in principe ook het geval zijn. De relatieve veranderingen t.o.v. T0 worden dan ook met een grotere nauwkeurigheid berekend dan de absolute modelnauwkeurigheid

5.6.3 Fytoplankton

Er zijn meerdere potentiële foutenbronnen aan te wijzen in het GEM-model. Ten eerste zijn de input-gegevens van het GEM-model resultaten van een tweetraps-model-lijn. Iedere modellaag heeft zijn onzekerheden. Het GEM-resultaat heeft al die onzekerheden in zich. Ten tweede, in deze fase is het GEM-model 2D. De vertaling van de 3D modellen naar 2D is een potentiële bron van onzekerheden (zie 'Methode'). Ten derde rekent het model met een

gemiddelde forcing functions en niet met actuele dynamische forcing functions. Extreme gebeurtenissen als stormen en windstiltes die bepalend zijn voor de biologische reactie van het systeem, zijn niet meegenomen. Ten vierde speelt de depot-werking van het luwte gebied van de dam een rol. Na verloop van tijd zal het potentiële slib-depot gevuld zijn met slib. De consequentie zal zijn dat daarna de slibstromen naar de rest van de Noordzee toenemen. Aan de andere kant zullen stormen van tijd tot tijd het depot legen en zorgen voor piekbelastingen. De onzekerheden in acht nemend dienen de GEM-resultaten vooral indicatief en relatief gebruikt te worden.

Alvorens de effecten van de vliegveld in zee varianten te onderzoeken, is nagegaan in hoeverre de huidige situatie (i.e. jaar 1998) door het GEM-model kunnen worden gereproduceerd. In figs. 5.4 en 5.5 worden de berekende slibgehalten en de berekende chlorofylgehalten weergegeven tezamen met de veldmetingen van meetstation Noordwijk voor het jaar 1998. Voor slib zijn de resultaten van 2 en 10 km redelijk (fig. 5.4). De modellijnen liggen redelijk in de punten wolken. Verder van de kust (Noordwijk 20 km) is de modelschatting minder accuraat. Dit kan komen omdat i) SLIB3D het dichtheid gedreven kustdwarstransport onderschat of omdat ii) het GEM-model de uitwisseling met de Noordzee langs de westranden van het model (fig. 5.1) overschat. Dit laatste gebeurde ook bij het modelleren van de effecten van een potentiële tweede Maasvlakte (WL/Delft hydraulics, 1999c).

Voor de chlorofyl-a gehalten valt op dat het model wel de dynamiek van het chlorofyl gehalte kan modelleren maar dat de extremen van de veldsituatie iedere keer niet gehaald worden (fig. 5.5). Toch suggereert de dynamiek in de modelvoorspelling dat (de dynamiek in) de sturende processen goed benaderd wordt. Het lijken nu vooral alg-fysiologische parameters die afgesteld dienen te worden.

Gegeven de randvoorwaarden dat de hydrodynamica en het zwevende stof bepaald is onder gemiddelde meteorologische condities in combinatie met de aannames van het modelconcept zoals vaste koolstof-chlorofyl ratio's voor de verschillende algentypen, zijn de modelresultaten redelijk in overeenstemming de veldmetingen.

De modellen zijn geschikt gebleken om uitspraken te doen omtrent relatieve veranderingen in bepaalde doelvariabelen zoals primaire productie. Een aantal kanttekeningen dient hierbij gemaakt te worden. Het model rekent met een jaargemiddelde externe forcing. Dit beperkt de mogelijkheden om veldobservaties (bv. timing van primaire productie, gradiënten van de kust naar de zee in concentraties) nauwkeurig te reproduceren. Met name niet-lineaire interacties tussen meteorologische forcing, slibafvoer door rivieren en waterbewegingspatronen worden in het model niet meegerekend. Daarom dienen de resultaten geïnterpreteerd te worden als eerste orde gevolgen van de constructie van een eiland. Afweging van met name de meer subtiele voorspelde effecten dient met grote omzichtigheid te gebeuren.

5.7 Conclusies en evaluaties

De aanleg van een vliegveld in zee heeft een duidelijk effect op de menging van de kusttrivier, de verdeling van slib, het lichtklimaat, nutriënten-fluxen, primaire productie en chlorofyl concentraties voor de Nederlandse kustzone (10-20 km) en in de westelijke Waddenzee. Een eiland met dam leidt tot (in volgorde van belangrijkheid):

- vermindering van het dichtheidsgedreven kustwaartse bodemtransport en daardoor minder slib in de kustzone
- grote sedimentatie van slib rondom de dam en het eiland en daardoor helderder water.
- een grote menging van de kusttrivier met Noordzee water en daardoor helderder water

Een eiland met tunnel leidt tot een vermindering van slib in het kust- en zeesysteem door:

- grote sedimentatie van slib rondom de dam en het eiland en daardoor helderder water.

Minder belangrijk zijn:

- een betere menging van de kusttrivier met Noordzee water en daardoor helderder water (maar niet in die mate als een eiland met dam).
- vermindering van het dichtheidsgedreven kustwaartse bodemtransport en daardoor minder slib in de kustzone.

Ten gevolge van de reductie van de slibconcentraties nemen de chlorofyl concentraties in de kustzone sterk toe, met name in de damvarianten (fig. 5.3). Op grond van de gewijzigde concentraties in slib en nutriënten, is enerzijds de verwachting dat door de afgenomen slibconcentraties in de kustzone er een toename in hoogte en duur van de algenbloei plaatsvindt, met name in de kustzone (figs. 5.6, 5.7). Anderzijds is door de verbreding van de Rijnpluim en hierdoor de toegenomen menging met zeewater, een sterke reductie in nutriëntenconcentraties ten noorden van het eiland (damvarianten) aanwezig waardoor er nutriëntlimitatie kan optreden. Voor het eiland met dam geldt dat deze twee aan elkaar tegengestelde processen resulteren uiteindelijk in een toename van het jaargemiddelde chlorofyl van 25-50% in de kustzone. In de westelijke Waddenzee is een afname van het jaargemiddelde chlorofyl waar te nemen.

Voor de tunnelvarianten is het belangrijk te signaleren dat een afname van de slibfluxen naar de Westelijke Waddenzee wordt berekend (tabel 5.4), maar dat die afname vooral afhangt van de gekozen sedimentatie factor rond het eiland. De sedimentatiefactor van deze studie (Thoolen, 1999a) ($1,19 \cdot 10^9$ kg/jaar) lijkt onrealistischer dan die van Thoolen (1999b) ($0,42 \cdot 10^9$ kg/jaar). In de tweede studie (Thoolen, 1999b) zijn de effecten van het eiland met tunnel op slibfluxen naar de Waddenzee minimaal. Waarschijnlijk zijn de minimale veranderingen in chlorofyl-a die we zien onder invloed van een eiland met tunnel (fig. 5.6) bij een kleinere sedimentatie van slib helemaal verdwenen.

Ten gevolge van de aanleg van een vliegveld in zee is naast een toename in de biomassa tevens een verschuiving in de soortensamenstelling van fytoplankton te verwachten. Namelijk de condities waaronder licht en nutriëntlimitatie optreden zijn gewijzigd. Deze verschuiving van type en aantal is van beleidsmatige relevantie, gelet op de effecten op gebruikersfuncties zoals recreatie en visserij. Het onderzoek is in dit stadium echter nog te prematuur voor een zinvolle beschouwing over de soortensamenstelling. Hierbij dient opgemerkt te worden dat momenteel wisselingen in de algensamenstelling minder betrouwbaar kunnen worden voorspeld, doordat de kennis van bepaalde groepen en hun competitieve eigenschappen onvolledig is. Voor een verantwoorde toepassing van de modellen is het daarom wenselijk de

betrouwbaarheid en de nauwkeurigheid van het modelresultaat te vergroten door een dieper gravende calibratie en validatie in combinatie met een statistische gevoeligheidsanalyse waarin de doorwerking van onzekerheden in emissies, parameters en modelconcepten in het modelresultaat kunnen worden gekwantificeerd.

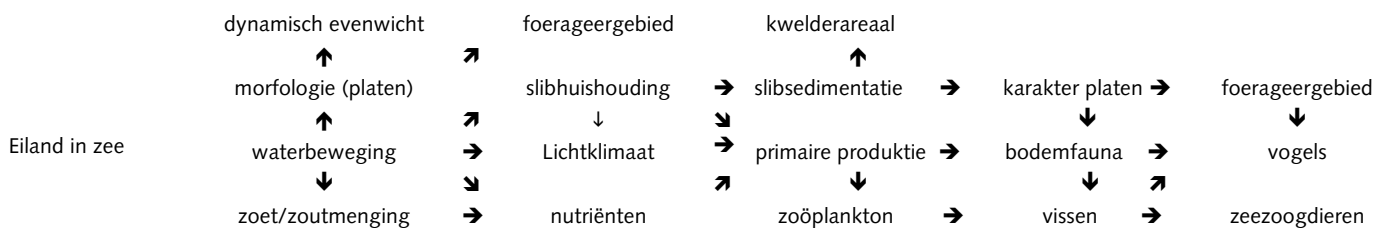
In het algemeen vormen modelberekeningen belangrijke middelen voor het maken en implementeren van beleid. In de hier gebruikte modelstudies bleek het mogelijk om trends in ecosysteem ontwikkeling te genereren als gevolg van de aanwezigheid van een artificieel eiland in zee. Door het gebruik van de modellen waren we in staat om de relatieve veranderingen van bepaalde variabelen als slib gehalten en chlorofyl-a te duiden. De opgeleverde resultaten werden gebruikt als indicaties en richtlijnen voor verdere interpretaties, discussies en evaluaties door expert-panels. Als zodanig hebben ze goed gefunctioneerd.

6 Deel II: de interpretatie en evaluatie van de effecten door expert-panels

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de slibhuishouding, nutriënten (voedingsstoffen) verspreiding en bodemsamenstelling wijzigen en wat zijn de gevolgen van deze veranderingen zijn op het lichtklimaat en primaire productie in Noord- en Waddenzee. Verder wordt een aanzet gegeven voor de doorvertaling hiervan naar de hogere trofische niveaus.

6.1.1 Procesketen



Vooropgesteld kan worden dat, in principe, de effecten van eilanden met dam en de effecten van eilanden met tunnel voor alle trofische niveaus in de Kustzone en Noordzee op elkaar lijken. Bij de eilandvarianten verbonden door een dam zijn de effecten groter. Daarom zullen alleen daar waar de resultaten tussen dam- en tunnelvarianten onderscheidend zijn, de verschillen worden aangegeven.

6.1.2 Ecologische effecten rond het eiland

Rondom het eiland zal het totale scala aan ecotopen toenemen. Door erosie en sedimentatie ontstaan verschillende milieus die verschillende bodemgemeenschappen zullen herbergen. De precieze voorspelling van die verandering in bodemdieren is niet eenvoudig. Veel kennis ontbreekt daar nog. De levensgemeenschappen op de eilanddijken zullen lijken op die gemeenschappen die worden aangetroffen op de Nederlandse dijken en scheepswrakken (van Moorsel et al., 1999).

6.1.3 Ecologische effecten in de hele kustzone

Licht

In de kustzone zal de menging van de kusttrivier (zone 1 en 2) toenemen. De slibconcentratie in zone 1 en 2 neemt af. Dit heeft zijn invloed op het lichtklimaat.

De lichtdoorval en helderheid van het water zijn niet rechtstreeks gekoppeld aan het zwevend-stofgehalte alleen. De verdeling van partikelgrootte speelt zeker een belangrijke rol. Ook opgeloste organische stoffen, die door algengroei worden uitgescheiden, beperken het doorzicht. Maar vermindering van de hoeveelheid anorganisch slib zal zeker tot gevolg hebben dat het water helderder wordt. Helderder water leidt tot een hogere algenproductie, althans voor zover de productie van algen wordt gelimiteerd door de troebelheid van het water en voor zover mogelijk door de aanwezigheid van nutriënten.

Fytoplankton

Bij de modelresultaten staan de effecten beschreven die te verwachten zijn bij algen. Echter niet alle veranderingen in het tijdsverloop van de simulaties lijken even realistisch. Met name de mate van uitbreiding van het productieseizoen (februari-november) in de damsituatie lijkt sterk overschat. Toch is een aantal trends in de resultaten in overeenstemming met wat men kwalitatief kan verwachten in dit kuststelsel. Er zal inderdaad een grotere voorjaarsbloei komen. Daarnaast ontstaat een groot gebied (zone 1+2) waarin de omstandigheden gunstig zijn voor het tot bloei komen van plaagalgen. Plaagalgen hebben een voorkeur voor omstandigheden met veel licht en veel nutriënten.

Zoöplankton

De produktiviteit van het zoöplankton, en daarmee van de planktonvoedselketen, wordt in hoge mate bepaald door de efficiëntie waarmee algenproductie door zoöplankton benut kan worden. Belangrijke factoren hierin zijn:

1. Synchronisatie van de ontwikkeling van het zoöplankton (bepaald door watertemperatuur) met die van de algengroei (bepaald door licht en nutriënten in de kustzone). Deze synchronisatie is een sleutelfactor. Een algenbloei die vroeg plaatsvindt, komt niet ten goede aan het zoöplankton. Het zoöplankton kan dan namelijk niet snel genoeg groeien door de nog lage temperaturen.
2. Voedselconversie: deze is afhankelijk van de begraasbaarheid en verteerbaarheid van de dominante algensoorten.
3. Abiotische omstandigheden: een gunstige saliniteit en temperatuur en zo laag mogelijke concentraties microverontreinigingen hebben een positieve invloed op het zoöplankton (betere ontwikkeling).

Er speelt een aantal elkaar versterkende en tegenwerkende processen:

Negatieve krachten: Een vervroeging van de algengroei (met name grotere vroege voorjaarsproductie) zal niet ten goede komen aan zoöplankton. Een mogelijke ontwikkeling van plaagalgen kan de rol van zoöplankton in algenconsumptie hinderen.

Positieve krachten: Een vermindering van zone 1 (waar verhoogde gehalten van microverontreinigingen en lage zoutgehalten heersen), zal gunstig zijn voor de zoöplankton-productie.

Helderheid van het water zal naar alle waarschijnlijkheid een belangrijke indirecte factor zijn in het succes van het zoöplankton, zeker gezien de grote ruimtelijke schaal van de effecten. De zoöplanktonproductie moet vooral ook worden gezien in het belang voor de groei van (jonge) vis. Ook hierin speelt synchronisatie in ruimte en tijd een belangrijke rol.

Bodemdieren

Vele bodemdieren in de kustzone zijn afhankelijk van organisch materiaal (detritus). Het gradiëntgedreven kustdwarstransport speelt een belangrijke rol in het concentreren van detritus in de kustzone. Bij het breder worden van de kusttrivier als gevolg van een eiland in zee, zal de aanvoer van detritus afnemen. Dat zou kunnen leiden tot een verminderde produktie van de bodemdieren in de kustzone. Anderzijds zullen bij een toename van de primaire produktie bodemdieren daarvan juist profiteren. Het netto-effect is op dit moment niet te voorspellen. Het niet-geconcentreerde detritus zal elders in de Noordzee bezinken, over een zo groot gebied dat de effecten waarschijnlijk niet meetbaar zullen zijn.

Vissen

In de kustzone bestaat de kans dat de draagkracht afneemt (zie bodemdieren). Dit zou kunnen leiden tot een andere ruimtelijke verdeling van de vispopulaties, namelijk minder vis in de relatief kleine kustzone en meer vis in de veel grotere Noordzee. Een voorspelling van de veranderingen in de visbestanden is echter niet eenvoudig. In hoofdstuk 8 wordt het vislarventransport behandeld.

Anadrome en katadrome vissen, zoals zalmachtigen, paling en stekelbaars, zullen misschien door een eiland met dam gehinderd worden in hun migratie.

Zeezoogdieren

Bruinvissen komen niet voor in grote concentraties langs de kust. Er zijn daardoor weinig effecten te verwachten.

Zeehondenpopulaties in het waddengebied staan in contact met die in de Zeeuwse Delta. Eventuele effecten van een dam lijken weg te vallen tegen de normale actie-radius. Daarnaast kan het eiland en het gebied daaromheen extra ruimte bieden voor grijze of gewone zeehonden als ligplaats (zie bv Van Moorsel et al., 1999).

6.2 Effecten in de Waddenzee

De modellen waarmee de effecten van de verschillende eilandvarianten tot nu toe zijn doorberekend (Rozemeijer & de Vlas, in prep.), waren niet geschikt voor het geven van gedetailleerde voorspellingen voor de Waddenzee. De modellen hebben wel duidelijke aanwijzingen opgeleverd over hoe de aanvoer van zand, slib, nutriënten (voedingstoffen) en plankton zouden kunnen veranderen op de hoogte van de zeegaten tussen de Waddeneilanden. Van daaruit kunnen enkele globale uitspraken gedaan worden over mogelijke veranderingen in de Waddenzee.

Zoutgradiënt

- Het zoutgehalte in het Marsdiep neemt vooral bij de damvarianten toe (Rozemeijer & de Vlas, in prep.). De dynamische zoutgradiënt vanaf het IJsselmeer naar buiten zal dus enigszins naar binnen toe verplaatst worden. Gemiddeld neemt het zoutgehalte iets toe. Echter, de zoutgradiënt is extreem dynamisch. De dynamiek is gedreven door het getij en het weer. De gevolgen daarvan voor het ecosysteem zullen naar verwachting niet erg groot zijn, aangezien de meeste organismen van de Waddenzee een grote variatie aan zoutgehaltes aan kunnen.

Nutriënten (voedingszouten)

- Voor wat betreft de nutriënten die de Waddenzee zullen bereiken vanaf de Noordzee is er een duidelijk effect in het geval van een eiland met een dam. In dat geval vermindert de aanvoer van fosfaat en nitraat. De productie van algen in de westelijke Waddenzee zal daardoor afnemen (Rozemeijer & de Vlas, in prep.). Tegelijkertijd zal ook de aanvoer van detritus vanuit de Noordzee verminderen (zie kustdwarstransport). Dat zal een vermindering tot gevolg hebben van de hoeveelheid bodemdieren (Beukema & Cadée, 1997). Ingeval van een eiland zonder dam zijn de uiteindelijke effecten op nutriënten huishouding en dus de bodemfauna beperkt.
- De algen op de bodem, die sterk afhankelijk zijn van nutriënten uit het sediment, zullen waarschijnlijk veel minder sterk reageren op verandering van de nutriëntenconcentraties in het water.

Morfologie en waterbeweging

- In de aanvoer van zand naar de Waddenzee wordt praktisch geen verandering verwacht (zie hoofdstuk 6).
- Er zal een geringe toename plaatsvinden van de getijde-amplitude. Deze zal waarschijnlijk maximaal beperkt blijven tot enkele centimeters (eiland met dam). De invloed van deze toename zal waarschijnlijk marginaal zijn, omdat de verandering ten opzichte van de huidige getijdeamplitude (1,5 á 2 meter) relatief klein is, en de gemiddelde waterstand gelijk blijft. Wanneer een eiland met dam ten noorden van de IJgeul ligt kunnen er mogelijk wel effecten in de Waddenzee optreden. Nader onderzoek hiernaar is noodzakelijk.

Slib en detritus

- De hoeveelheid slib in het water zal verminderen, vooral bij aanleg van een eiland met dam. Voor een deel ontstaat deze vermindering doordat er in de luwte van het eiland en de oeververbinding slib blijft bezinken, totdat er een evenwicht is bereikt. Dit effect zal na enkele decennia (ingeval van een eiland zonder dam) tot wellicht meer dan een eeuw (ingeval van een eiland met een dam) verminderen of verdwijnen. Een blijvend effect is de verbreding van de kusttrivier waardoor ook daarna blijvend minder slib de Waddenzee zal bereiken.
- Tegelijk met de aanvoer van anorganisch slib kan ook de aanvoer van detritus verminderen, hetgeen een vermindering van de hoeveelheid voedsel voor bodemdieren zou inhouden. Ook dit effect speelt vooral in het geval van een eiland met een dam.
- Er is een duidelijk verband tussen slijkigheid van de bodem en de aanwezige bodemfauna. Echter, welke gevolgen er precies te verwachten zijn wanneer de import van slib zou veranderen, is op dit moment niet te voorspellen, want in slikkige gebieden is tegelijkertijd ook altijd sprake van een beschutte ligging. Deze factoren zijn nooit apart onderzocht. Desondanks wordt verwacht dat een sterk verminderde slibaanvoer grote effecten zal hebben op de bodemfauna van de Waddenzee.
- Vermindering van de hoeveelheid slib in het water zou ook een aantal andere effecten kunnen veroorzaken, zoals een toename in de groeimogelijkheden voor zeegrassen en verschuivingen binnen de vis- en vogelfauna. Naar deze aspecten is nog geen onderzoek verricht.
- De verminderde slibtoevoer door een eiland met dam kan mogelijk betekenen dat de totale voorraad slib in de Waddenzee afneemt. Dit kan betekenen dat 's winters tijdens de stormperiodes minder slib op kwelders wordt afgezet.

Bodemdieren

Voor het functioneren van het Waddenzeesysteem neemt de bodemlevensgemeenschap een centrale rol in. Alle foeragerende vogels zijn afhankelijk van voldoende bodemdieren aanbod. Indien het voedselaanbod vermindert, zal dat op kortere of langere termijn invloed hebben op depopulatieomvang van een aantal vogelsoorten. Ook de kinderkamerfunctie voor een groot aantal vissoorten en schaaldieren komt voort uit de aanwezigheid van grote hoeveelheden voedsel (bodemdieren). Wanneer hierin een verandering optreedt werkt dit dus door in het hele ecosysteem. De wijzigingen in nutriënten-, slib- en detritus aanvoer door een eiland met dam hebben waarschijnlijk een verminderde bodemdierproductie tot gevolg. Dit zal zijn weerslag hebben op alle daarvan afhankelijke dieren.

6.3 Conclusie

In hoofdstuk 3 zijn de criteria aangegeven waarop de effecten van een eiland in zee in dit rapport worden getoetst (zie tabel 3.2). In onderstaande tabellen zijn de conclusies van de in dit hoofdstuk behandelde aspecten aan de hand van deze criteria samengevat. De conclusies zijn daarnaast onderscheiden naar de verschillende onderzochte variabelen.

| | Verbinding d.m.v. een dam |
|--|---|
| Plankton en visfauna door lichtbeschikbaarheid en voedsel in Noordzee | |
| ontwikkeling ecosysteem | Door erosie en sedimentatie ontstaan rond het eiland verschillende milieus die verschillende bodemgemeenschappen zullen herbergen, meer dan in de huidige situatie langs de kust. Daarnaast kunnen op grote schaal rustige, min of meer slijkgige bodems ontstaan die van nature in de Hollandse kustzone niet voorkomen (wel elders aan de Nederlandse kust). |
| <i>Primaire produktie zoöplankton bodemfaunagemeenschap visgemeenschap</i> | Door toegenomen helderheid van het kustwater vindt er een toename van de primaire produktie plaats. Daardoor kan ook een toename optreden in het zoöplankton. Voor de bodemfauna in de kustzone zou dat gunstig kunnen zijn, maar in dat gebied overheerst waarschijnlijk de afname van het kustgerichte transport van slib en detritus. Daardoor zou er in de kustzone meetbare een afname van de biomassa van de bodemfauna plaats kunnen vinden, gekoppeld aan een niet meetbare toename in een veel groter gebied verder van de kust. Op dit moment is er nog geen doorvertaling mogelijk naar de structuur en de produktiviteit van de visfauna. |
| Waddensysteem | |
| aard habitat Waddenzee | |
| <i>draagkracht</i> | In de Waddenzee zijn vooral veranderingen te verwachten door de verminderde aanvoer van slib en detritus. Bij een eiland met dam zullen de veranderingen in aanvoer van slib en detritus waarschijnlijk zeer ingrijpend zijn (afname slibtransport door het Marsdiep in de orde van grootte van 60%, duidelijke afname van import van nutriënten). Daardoor zal het water veel helderder worden, maar door een verminderd nutriëntenaanbod zal de algenproduktie waarschijnlijk afnemen. Daardoor, en door een verminderde aanvoer van detritus vanuit de Noordzeekustzone kan de biomassa van de bodemfauna sterk afnemen. In gebieden waar slib een belangrijk bestanddeel van de bodem vormt is verlaging van de bodem en wijziging van de samenstelling van de bodemfauna te verwachten. Aangezien de bodemfauna de belangrijkste voedselbron is voor vissen en vogels zou aanleg van een eiland met een dam dus waarschijnlijk tot een algemene verarming van de westelijke Waddenzee leiden. In kweldergebieden tenslotte zou vermindering van slib aanvoer leiden tot verminderde opslibbing van kwelders. |
| <i>Behoud dynamische evenwicht</i> | Aanleg van een eiland met dam ten noorden van de IJgeul kan leiden tot een vermindering van de mogelijkheid om de zeespiegelstijging bij te houden. Een dam veroorzaakt een vermindering van slib aanvoer waardoor een verminderde opslibbing van kwelders plaats kan vinden. |

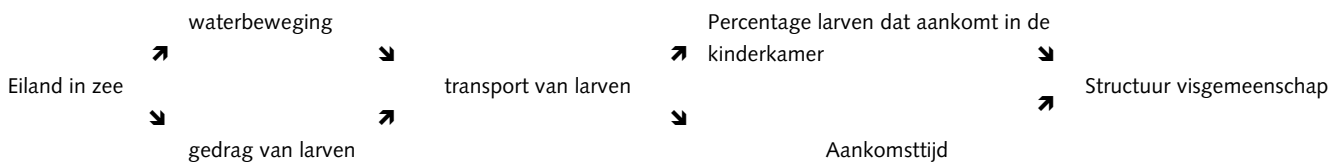
| | afstand tot/positie langs de kust |
|--|--|
| Plankton en visfauna door lichtbeschikbaarheid en voedsel | |
| ontwikkeling ecosysteem | Door erosie en sedimentatie ontstaan rond het eiland verschillende milieus die verschillende bodemgemeenschappen zullen herbergen, meer dan in de huidige situatie langs de kust. |
| <i>Primaire produktie zoöplankton bodemfaunagemeenschap visgemeenschap</i> | De effecten op de structuur op het ecosysteem bij eilanden met een tunnel (of brug) zijn hetzelfde, maar dan in een veel mindere mate, als bij de eilanden met een dam. |
| Waddensysteem | |
| aard habitat Waddenzee | In de Waddenzee zijn vooral veranderingen te verwachten door de verminderde aanvoer van slib en detritus. In het geval van een eiland met een tunnel zullen deze veranderingen relatief gering zijn, maar nadere studie op dit punt is noodzakelijk. |

7 Visfauna

7.1 Inleiding

Dit hoofdstuk is grotendeels gebaseerd op een literatuurstudie naar vislarventransport (Rozemeijer, 1999). In dit hoofdstuk worden de effecten van een eiland in zee op de visfauna als gevolg van effecten op vislarven transport beschreven.

In de levenscyclus van pelagische vissen, maar met name platvissen, zijn verschillende stadia aan te wijzen. Bij iedere fase van de levenscyclus hoort een habitat (fig. 7.1). Bij iedere overgang hoort ook een transport fase. Het succes van larventransport kan bepalen of een vispopulatie groeit of afneemt. In het schema hieronder staat dit aangegeven.



7.2 Het transport van vislarven

Habitats

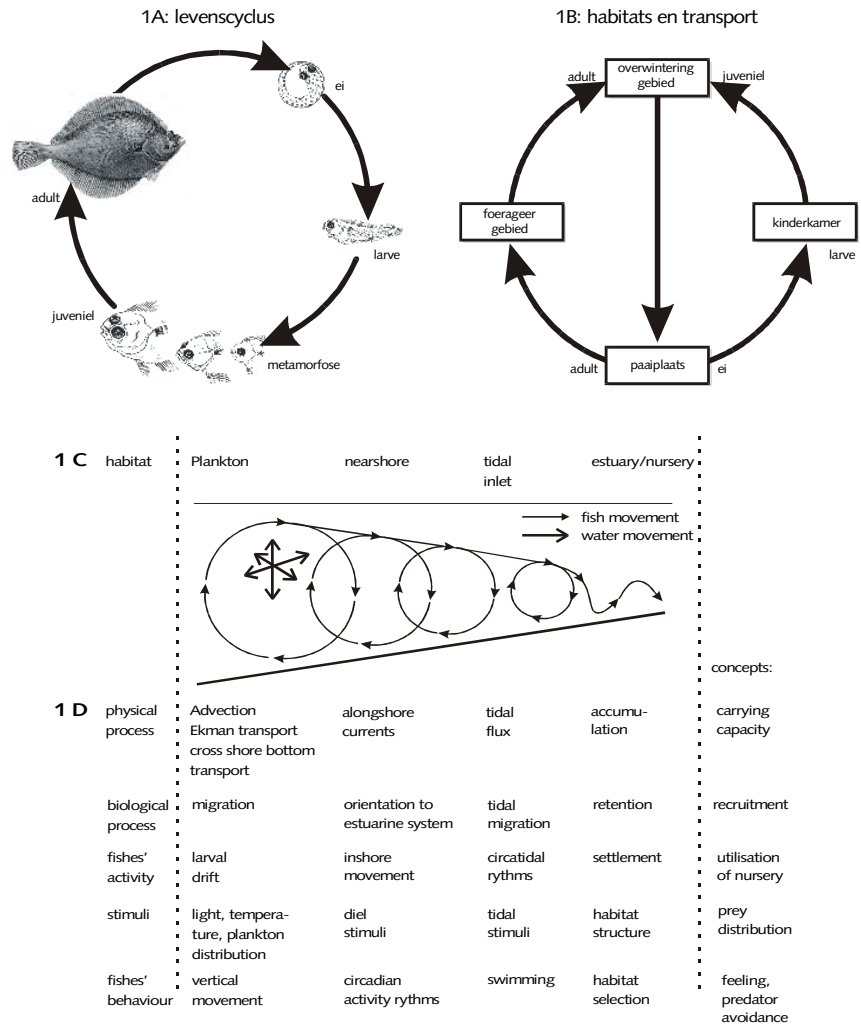
De habitats in de Nederlandse kustzone worden onderscheiden zijn de paaigronden, de transportbanen en de kinderkamers. De paaigronden kunnen zeer verspreid zijn. De schar bv. paait in de hele Nederlandse kust. De schol daarentegen heeft zeer kleine, zeer specifieke gebieden (fig. 7.2). De transportbanen bevinden zich in principe in de gehele Noordzee.

De kinderkamers zijn ondiepe gebieden als estuaria (Ooster- en Westerschelde), de Waddenzee maar ook de gehele Nederlandse kustzone tussen de NAP en NAP -10 meter. Met name het belang van dit laatste gebied wordt meestal over het hoofd gezien. Schol, tong en haring gebruiken zowel de kustzone als de Waddenzee als kinderkamer.

Transport

Voor vislarventransport spelen twee factoren: waterbeweging (advectie) en visgedrag. Viseieren en -larven worden verplaatst door de waterstromingen; het eigen zwemvermogen is zeer gering ten opzichte van de grote waterkrachten. Wel kunnen vislarven invloed uitoefenen op de transportrichting en snelheid door middel van een aantal mechanismen. Vislarven kunnen verticale migratie vertonen, gestuurd door licht (dag/nachtritmiëk). Waterlagen dicht bij de bodem kunnen een ander richting en snelheid hebben dan lagen aan het oppervlak (zoals de kustgerichte bodemstroom langs de Nederlandse kust). Ook kunnen larven zich tegen de bodem drukken om de stroming te ontlopen. Hiermee hebben ze als het ware een aan- en uitzetknop voor de waterkrachten. Het kiezen voor wel of meegenomen te worden door de stroming kan gereguleerd zijn door honger of een ritmiëk. Deze ritmiëk wordt vaak gereguleerd door getij of door een endogene ritmiëk of andere lichamelijke drijfveer.

figuur 7.1. Schematische weergave van de verschillende habitats (1a) en de levensstadia van platvis (1b) en de processen die daarbij een rol spelen (1c,d). Afhankelijk van de soort kan in de verschillende levensfasen actief gebruik gemaakt worden van (endoritmisch) selectief getijstroom transport. De larve vestigt zich na metamorfose in de kinderkamer.



Oriëntering

De verschillende habitats liggen vaak ver uit elkaar. Vissen maken gebruik van een aantal mechanismen om die verschillende gebieden te vinden en te herkennen. In het algemeen bestaan drie verschillende mechanismen:

- Inprinting (bv. zalm)
- Leren van oudere vissen (bv schol)
- Genetisch vastgelegde informatie (bv schol)

Naast de interne, basale mechanismen (die dienen ter grove oriëntering), heeft de vis prikkels en signalen uit de omgeving nodig die aangeven dat een bepaalde habitat bereikt is. Vaak zijn dat exogene prikkels: licht, temperatuur, saliniteit, voedselbeschikbaarheid, stroming en turbulentie of waterdruk.

Waarschijnlijk gebruikt een vis die gradiënt van een willekeurige variabele die het steilst is. Al dient dit genuanceerd te worden opgevat: schol bv gebruikt saliniteit niet als prikkel terwijl er in de kustzone toch een steile saliniteitsgradiënt is. Daarnaast kunnen ook lichaamseigen prikkels een rol spelen.

Kinderkamer

Op een gegeven moment komen de larven aan in een gebied dat mogelijkheden biedt om zich te vestigen en op te groeien. In principe zijn dit gebieden met gunstige condities als ondiepe gedeeltes, veel voedsel, weinig voedselconcurrenten en weinig predatoren. Vaak stellen juvenielen strikte eisen aan

hun kinderkamers. Voor schollarven lijkt de keuze van een bepaald gebied bepaald te worden door de aanwezigheid van voedsel, de afwezigheid van predatoren en voedselconcurrenten en een relatief constante temperatuur. Voor tonglarven spelen sedimentkarakteristieken een rol. Tonglarven kiezen vaak voor slibrijke condities. Dit zou natuurlijk ook een keuze voor de typisch grotere voedselrijkdom van slibrijke gebieden kunnen zijn. Windowpane larven kiezen weer eerder voor zanderige sedimenten. Voor bot lijkt verandering in saliniteit een belangrijke prikkel.

De schol gebruikt de estuaria (Oosterschelde, Westerschelde), de Nederlandse kustzone en de Waddenzee als kinderkamer. Bot heeft zijn kinderkamers in de relatief brakke gedeelten van het estuarium (bv Eems-Dollard). Het aantal larven dat aankomt in de kinderkamer is sterk variabel. Voor schol bv kan dit van jaar tot jaar variëren tussen de 100 en 1000 individuen per duizend m² Waddenzee-bodem. Deze enorme variatie wordt veroorzaakt door de grote variabiliteit in temperatuur en zeestromingen. Temperatuur bepaalt vooral de sterfte (overleving) van de larven tijdens het transport. Zeestromingen bepalen vooral de concentratie aan larven in de kustzone. Deze twee factoren samen bepalen voor de meeste soorten de jaarklassterkte van de vispopulaties.

Bij het aankomen in de kinderkamer zullen de vislarven een bepaalde rol vervullen in het ecosysteem. Ze zullen zowel prooi als predator zijn. Het een en ander kan geïllustreerd worden aan de schol. Schollarven (< 30 mm totale lengte) zijn prooi voor kreeftachtigen als de garnaal en de strandkrab. Grotere schollarven worden prooi voor grote vissen als kabeljauw en paling. De garnaal is dan echter een voedselconcurrent en niet meer een potentieel predator.

Het voedsel van schollarven in de kinderkamers bestaat uit levende dieren als kleine kreeftachtigen, kleine wormen en delen van schelpdieren. Concurrentie om voedsel met andere vislarven kan worden vermeden door andere prooidieren te kiezen of op een ander tijdstip van de dag te foerageren. Dit blijkt vaak van plek tot plek te verschillen en wordt vooral door factoren als voedselbeschikbaarheid en populatie-groottes van beide concurrenten bepaald.

Case-studie van de schol

Schollen verzamelen zich op de paaigronden, die in de zuidelijke Noordzee en het Kanaal zijn gelegen (zie fig. 7.2). Na het loslaten en bevruchten van de eieren, verspreiden de eieren zich in een grote diffuse wolk vanaf de paaigronden (fig. 7.3). Door de waterbewegingen worden ze over een grote afstand verspreid, ver uit de kust. De eieren komen uit en ontwikkelen zich tot larven. De larven metamorfoserende van een waterfase larve naar een bodem georiënteerde larve. Naarmate de dieren dicht bij het metamorfose stadium komen, zoeken ze meer en meer de onderste lagen op. Uiteindelijk worden ze richting de kust getransporteerd. Na de metamorfose vestigen de larven zich zo snel mogelijk op de bodem om te foerageren. Afhankelijk van de aanwezigheid van voedsel zullen de larven zich definitief in de kustzone vestigen of verder noordwaarts trekken naar bv. de Waddenzee.

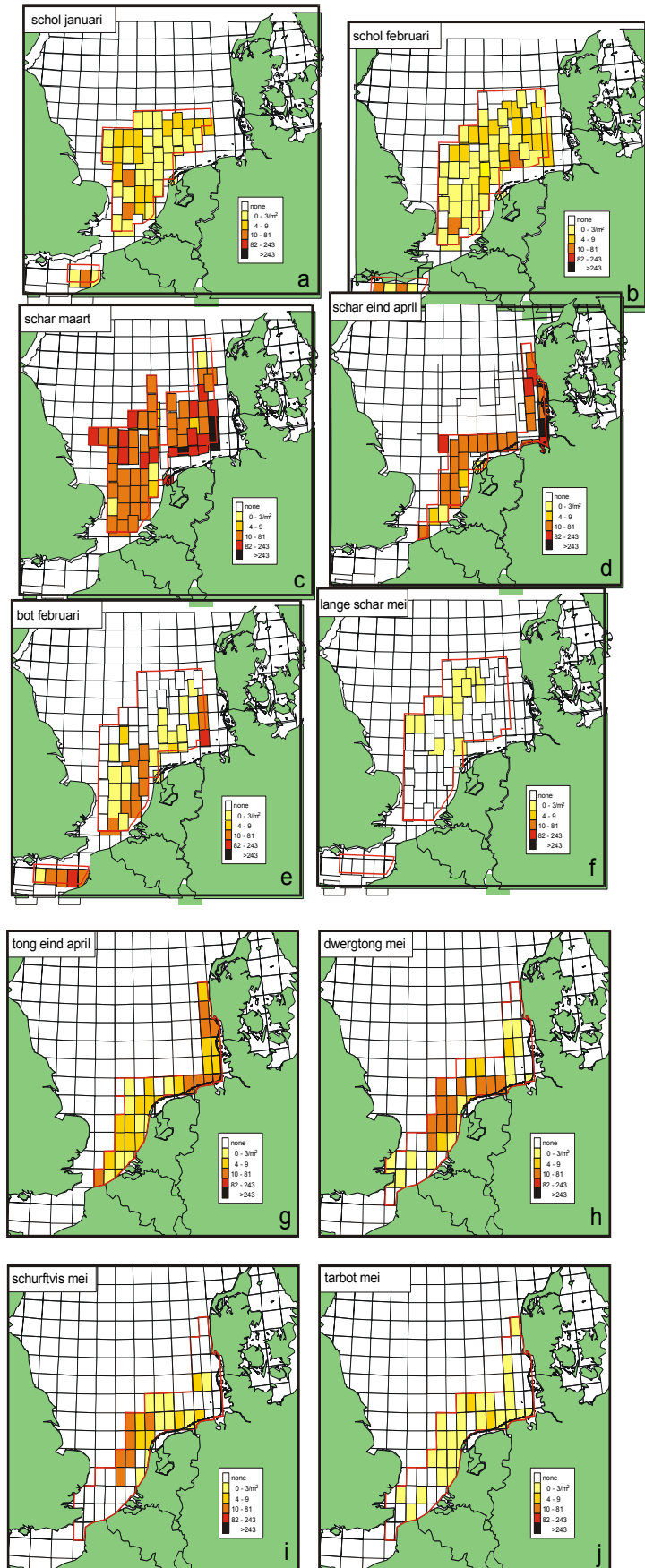
7.3 Effecten

Onderstaande effecten zijn vooral gebaseerd op de schol.

Eiland met tunnel

Een eiland met tunnel is een barrière waar het water omheen moet stromen. Op lokale schaal verandert de waterbeweging. Echter, de wolk met vislarven heeft een veel grotere schaal (fig. 7.3) dan de verandering in waterbeweging door een eiland met tunnel. Daarnaast is de natuurlijke variabiliteit veroorzaakt

figuur 7.2. Distributie van eieren van verschillende platvissoorten in verschillende maanden (aangepast naar Van der Land, 1991).



door watertemperatuur en zeestromingen zeer groot. Slechts een klein deel van de wolk van vislarven zal in de invloedssfeer van de veranderde waterbeweging liggen. Het deel van de larven dat wel beïnvloed wordt, bevindt zich al in de kustzone. Omdat de kustzone ook een potentiële kinderkamer is zal een deel van de larven zich hier vestigen. De vislarven die nog in de waterfase verblijven kunnen ongehinderd richting Waddenzee getransporteerd worden. Een eiland met tunnel heeft daarom waarschijnlijk geen grote gevolgen op de opgroeimogelijkheden van deze vislarven. Op vispopulatie niveau zijn daarom weinig effecten te verwachten.

Eiland met dam

Een eiland met dam heeft wel veel effecten op de waterbeweging. Hier lijken de effecten een significante schaal te hebben ten opzichte van de dimensies van het vislarven transport. Dit kan effecten hebben op aankomsttijd en aankomstpercentage van de larven van verschillende soorten. Wat echter een groter effect zal hebben is het blokkeren van het noord-zuid transport van larven die reeds gevestigd zijn in de directe kustzone. Na vestiging in de kustzone worden bv schollarven naar het noorden getransporteerd, langs de Hollandse kustzone richting de Waddenzee. Een damvariant kan een gedeelte van deze input wel verstoren. Schollarven kunnen hierachter blijven hangen. Daarnaast kunnen ze door de dam verder naar zee worden geleid dan normaal. Ze kunnen door beide mechanismen mogelijk niet de gunstige omstandigheden van de Waddenzee bereiken. Mogelijk vertaalt dit zich in effecten op vispopulatie niveau.

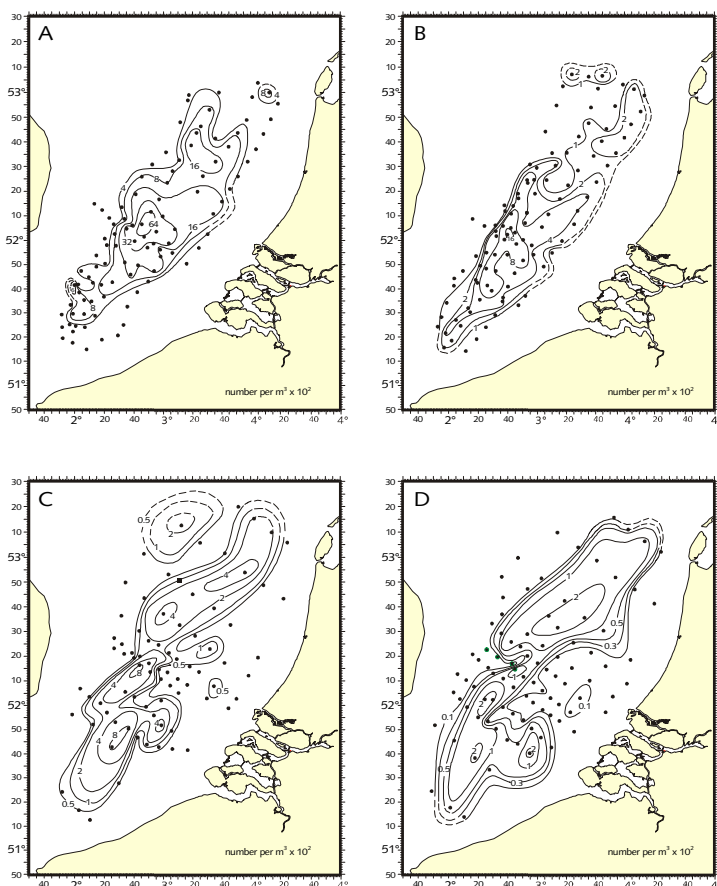
.....
 figuur 7.3. De verdeling van scholeieren en -
 larven twee tot drie weken na de paaitijd
 verschillende maanden (aangepast naar naar
 Talbot, 1978): Van der Land, 1991).

A: stadium 5 eieren, 5-10 februari 1962; ±12
 dagen na de paai.

B: stadium 1 larven, 14-20 februari 1962;
 ±21 dagen na de paai, 9 dagen na A.

C: stadium 4 eieren, 4-6 februari 1969; ±10
 dagen na de paai.

D: stadium 1 larven, 12-14 februari 1969;
 ±18 dagen na de paai, 8 dagen na C.



7.4 Conclusie

Al met al lijken de gevolgen van een eiland met tunnel niet groot. Ook op de omvang en structuur van de betrokken vispopulaties valt dan geen duidelijk effect te verwachten. Een eiland met dam zou een negatieve invloed kunnen hebben op de trek van vislarven naar gunstige condities. Dit zou kunnen doorwerken op vispopulatie niveau.

In hoofdstuk 3 zijn de criteria aangegeven waarop de effecten van een eiland in zee in dit rapport worden getoetst (zie tabel 2.1). In onderstaande tabel is de conclusies van het in dit hoofdstuk behandelde criterium samengevat.

| | Positie langs/ afstand tot de kust |
|-----------------------|--|
| Grootte vispopulaties | Het vislarven transport vindt plaats op een grote schaal. De effecten van een eiland met tunnel hebben een veel kleinere schaal. Waarschijnlijk zal slechts een beperkt deel van de totale aantal vislarven in de Noordzee beïnvloed worden door een eiland met tunnel. Echter dat deel van de vislarven dat beïnvloed wordt door een eiland met tunnel bevindt zich dan al in de kustzone. De kustzone functioneert als kinderkamer. Waarschijnlijk heeft een eiland met tunnel daarom geen effect op de grootte van de vispopulatie. |
| | Verbinding d.m.v. een dam |
| Grootte vispopulaties | De dam vormt een barrière voor al het transport in de directe kustzone. Sommige vislarven gebruiken de kustzone als transport route naar gunstigere omstandigheden. Een dam zou deze transportfase kunnen belemmeren. De vislarven kunnen daardoor in ongunstige omstandigheden terecht komen. Dit zou mogelijk kunnen resulteren in een kleiner wordende vispopulatie. |

8 Vogels

8.1 Inleiding

De vogels die op het Nederlands Continentaal Plat voorkomen, zijn grofweg in drie groepen te onderscheiden. Pelagische zeevogels zijn vogelsoorten die zich buiten het broedseizoen gewoonlijk ver uit de kust op volle zee bevinden (onder andere stormvogels, alkachtigen en jagers). Kustvogels zijn vogels die ook buiten het broedseizoen gebonden zijn aan de kustzone of het vasteland. Voedsel wordt voor een groot deel op zee gezocht (meeuwen, sterns, aalscholvers, duikers, zee-eenden), maar ook in intergetijdgebieden (steltlopers), in de duinen en in het binnenland. Trekvogels tenslotte vliegen in zeer grote aantallen over en langs de Noordzeekust.

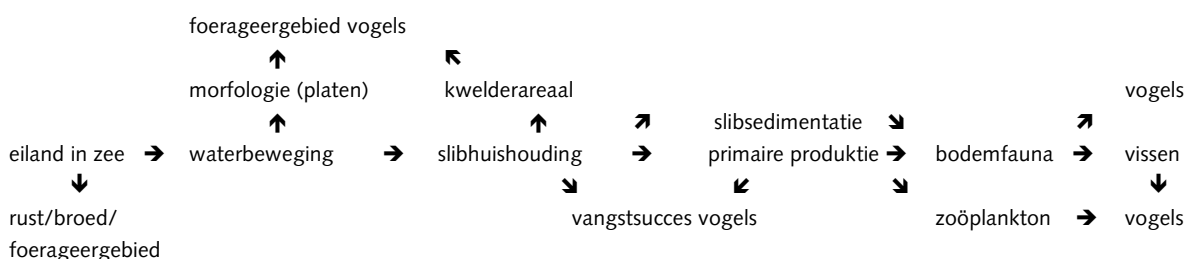
8.2 Huidige situatie

Kust- en zeevogels komen niet egaal verspreid voor over de Noordzee. De verspreiding wordt bepaald door abiotische factoren als diepte (bereikbaarheid van voedsel) en afstand tot de kust en de aanwezigheid en kwaliteit van voedsel. Visserij-activiteiten bv. trekken grote aantallen meeuwen aan. Per seizoen verandert de behoefte en daarmee de verspreiding van een vogel. Tijdens het broedseizoen wordt de verspreiding tevens bepaald door de aanwezigheid van geschikt broedgebied. Op dit moment is het Hollandse duingebied minder geschikt als broedgebied voor kustvogels onder andere door de aanwezigheid van predatoren.

In het afgelopen jaar zijn verspreidingsgegevens gerelateerd aan de diepte op het NCP. Hieruit blijkt dat de dichtheid aan vogels vlak onder de kust vrijwel het gehele jaar, maar met name in de zomerperiode, veel hoger is dan de dichtheid voorbij de 20 meter dieptelijn. Deze dieptelijn ligt gemiddeld gezien op 10 tot 15 km uit de kust (Witte & Berrevoets, 1999).

In het najaar is de dichtheid aan vogels vanaf het strand tot de 40 meter dieptelijn vergelijkbaar met de zomerperiode. Echter, de dichtheid voorbij de 40 meter dieptelijn is dan 1,5 tot 2 maal zo hoog. Deze zone ligt op het noordelijk deel van het NCP en ver buiten het onderzoeksgebied van ONL. Verder wordt een concentratie aan vogels gezien rondom fronten die optreden waar het water van de Noordzee en van de kustrivier mengt. Er bestaat discussie of de verspreiding van vogels wordt bepaald door de afstand tot de kust of door het habitat (waaronder de diepte, maar ook de aanwezigheid en samenstelling van de kustrivier). Waarschijnlijk is het een combinatie van deze aspecten.

8.2.1 Procesketen



8.3 Wat zijn de consequenties van een eiland voor de verspreiding van vogels?

Een eiland in de Noordzee geeft allereerst een verandering in de verspreidingspatronen van vogels. Enerzijds zullen pelagische zeevogels over het algemeen het eiland mijden, anderzijds kunnen kustvogels hun actieradius op de Noordzee vergroten, doordat er gelegenheid tot rusten en slapen op het eiland verschijnt. Nieuwe voedselgebieden verder op zee (o.a. visserij-activiteiten) kunnen dan bereikt worden. Ook op het eiland zelf zullen vogels gaan foerageren op de vegetatie, insecten, afval, etcetera. De vooroevers van het eiland zullen eveneens voedsel bieden in de vorm van bodemdieren, vis, etcetera (van Moorsel et al., 1999).

Veel vogels zullen een eiland bovendien gaan gebruiken om te broeden. Vooral in de eerste jaren, wanneer grondpredatoren (vossen, ratten) hun weg naar het eiland nog niet hebben gevonden, zal de vogelpopulatie op het eiland explosief kunnen toenemen.

Rondom het eiland zal de situatie ook veranderen. Wanneer de leefomgeving verandert, enerzijds in kwaliteit, anderzijds in geografische positie, zullen vogel-soorten van de kustzone, zoals duikers, eenden, meeuwen en sterns hun verspreidingsgebied aanpassen. Wanneer de kusttrivier helderder wordt, zullen hierop zichtjagers afkomen, zoals de Jan van Gent.

Een damverbinding zal sterke aanzandingen tot gevolg hebben. Wanneer hier ondiepe gebieden ontstaan, zullen deze voor veel vogelsoorten, met name steltlopers, extra voedsel bieden. Ook de dam zelf zal rust- en foerageergebied worden voor soorten als aalscholvers en meeuwen.

Bij een damverbinding zal het risico zeer groot zijn dat de biomassa van de bodemdieren in de Waddenzee afneemt. De daar foeragerende vogels zijn gedurende het hele jaar afhankelijk van een voldoende aanbod aan bodem-dieren. Indien dat vermindert, zal de vogelstand in de Waddenzee ook afnemen, en de kans bestaat dat sommige soorten (bijvoorbeeld Eidereenden) zullen uitwijken naar de kustzone van de Noordzee of de Voordelta.

In welke mate het eiland zal worden gebruikt door trekvogels en in welke aantallen valt buiten het onderzoek van het RIKZ. Directie Noordzee zal de hele trekvogelproblematiek behandelen, inclusief de invloed van een eiland op de trekvogelpopulaties. In de internationale expertmeeting bleek dat er geen nadelige invloeden worden verwacht van het eiland op trekvogels (Bijnsdorp Communicatie bv, 1999).

8.4 Conclusie

In hoofdstuk 3 zijn de criteria aangegeven waarop de effecten van een eiland in zee in dit rapport worden getoetst (zie tabel 3.2). In onderstaande tabellen zijn de conclusies van de in dit hoofdstuk behandelde aspecten aan de hand van deze criteria samengevat. De conclusies zijn daarnaast onderscheiden naar de verschillende onderzochte variabelen.

| | Alle varianten |
|--------------|---|
| aantallen | Met name in de eerste jaren zal de vogelpopulatie op het eiland explosief kunnen toenemen. |
| soorten | Het eiland zal aantrekkelijk zijn voor kustvogels. Met name meeuwen en sterns zullen op het eiland gaan broeden. Pelagische zeevogels zullen het eiland mijden. Wanneer de kusttrivier helderder wordt zullen zachtjagers (Aalscholver, Jan van Gent) hierop afkomen. |
| verspreiding | Het eiland vergroot het verspreidingsgebied van kustvogels. Het eiland kan gaan fungeren als broed-, rust- en foerageerplaats. Door verandering van de kusttrivier zullen vogels die hier hun voedsel zoeken, zoals duikers, hun verspreidingsgebied aanpassen. |

| | Afstand tot de kust |
|-----------|---|
| aantallen | Hoe dicht het eiland bij de kust ligt hoe hoger de aantallen vogels |

| | Verbinding d.m.v. een dam. |
|--------------|--|
| aantallen | Grotere aantallen vogels rond het eiland dan bij een verbinding met een tunnel |
| soorten | De ondiepe gebieden die voor de kust ontstaan bij een damverbinding zullen voor veel vogelsoorten, met name steltlopers, extra voedsel bieden. De dam zelf zal rust- en foerageergebied worden voor soorten als aalscholers en meeuwen |
| verspreiding | Bij een damverbinding is het risico groot op ingrijpende wijzigingen in de Waddenzee. Wanneer hierdoor het voedselaanbod vermindert zullen vogels elders hun voedsel proberen te vinden. |

9 Literatuur

- Beets et al., 1995. Holocene ontwikkeling van de Nederlandse Kust, RGD Rapport 40.016.
- Beukema, J.J. en G.C. Cadée, 1997. Local differences on macrozoobenthic response to enhanced food supply caused by mild eutrophication in a Wadden Sea area: food is only locally a limiting factor: *Limnol. Oceanogr.* 42: 1424-1435.
- Bijnsdorp Communicatie bv, 1999. Report and results of the international workshop "Estimation of bird numbers on a new island in the Northsea".
- De Kok, J.M., 1992. A 3-D finite difference model for the computation of near- and far-field transport near a river mouth. *Cont. Shelf Res.*, 12: 625-642.
- De Kok, J.M., 1996. A two-layer model of the Rhine plume. *J. Mar. Syst.* 8 : 269-284.
- De Kok, J.M., 1997. Baroclinic eddy formation in a Rhine plume model. *J. Mar. Syst.* 12 : 35-52.
- De Kok, J.M. & A. van der Meulen, 1997. A silt supply model for the Rotterdam harbour entrance. In: *Computer Modelling of Seas and Coastal Regions III*, p 401-411. Computational Mechanics Publications.
- De Kok, J.M., Salden, R.M. & I.D.M. Rozendaal, 1995a. Drie-dimensionale modellering van het transport van zwevend stof in de Nederlandse kustwateren. RIKZ-report, RIKZ-95.019, Rijkswaterstaat, The Hague.
- De Kok, J.M., Salden, R.M., Rozendaal, I.D.M. & P. Blokland, 1995b. Transport paths of suspended matter along the Dutch coast. In : *Computer modelling of seas and coastal regions II*, p 75-86. Computational Mechanics Publications.
- De Ruijter, W.P.M., Van der Giessen, A. & F.C. Groenendijk, 1992. Current and density structure in the Dutch coastal zone. In: Prandle (ed.): *Dynamics and exchanges in Estuaries and the Coastal Zone*. Am. Geoph. Union.
- Groenendijk, F.C., 1990. CTD, Oxygen and turbidity observations in the Dutch coastal zone. IMO report R 90-4. University of Utrecht.
- Joordens, J., Van Wetten, J. & M. Kriesch, 1999. Een verkenning naar de ecologische rol van slib in de Nederlandse kustzone. AIDEnvironment rapport: 38 pp.
- Krone, R.B., 1962. Plume studies of the transport of SPM in estuarine shoaling processes. University of California, Berkely.
- Lander, J.W.M., Blokland, P.A. & J.M. De Kok, 1996. The three-dimensional shallow water model TRIWAQ with a flexible vertical grid definition. Report RIKZ-96.104x. Rijkswaterstaat, The Hague.
- Maiwald, K.D. & J.H.G. Verhagen, 1991. Trendanalyse van zwevend stof gegevens van de Wadden Sea over de periode 1773-1990. Delft Hydraulics report, T 753.
- Partheniades, E., 1965. Erosion and deposition of cohesive soils. *ASCE, Journal of the Hydraulics Division*, 19,p 105-139.

-
- Ridderinkhof, H., 1993. Residual currents and mixing in the Wadden Sea. Ph.D. Thesis, University of Utrecht.
- Rozemeijer, M.J.C., 1999. Van ei en kinderkamerbewoner, werkdocument RIKZ/AB-99.135x.
- Rozemeijer, M.J.C., J. de Vlas, J.M. de Kok en J. Boon, in prep. Towards the assessment of the effects of artificial islands on the Dutch coastal system; part 1: modelling hydrodynamics, suspended particulate matter and chlorophyll-a, in prep.
- Salden, R.M. 1998. Een model voor het transport van slib in de Nederlandse kustzone : een hulpmiddel bij scenario studies naar kustuitbreidingsplannen : rapportage van SILTMAN deelprojecten 11 & 14. RIKZ report OS-98.119X, Rijkswaterstaat, The Hague.
- Salden, R.M. & J.M. De Kok, 1994. Afregeling van het 3D kuststrookmodel ten behoeve van slibtransport. RIKZ report OS-94.105x, Rijkswaterstaat, The Hague.
- Smit, M.J., Borup, I., Lourens, J.M. & P. Van Vessem, 1998. Landen op zee 2. Report RIKZ-98.025, Rijkswaterstaat, The Hague.
- Talbot, J.W., 1978. Changes in plaice larval dispersal in the last fifteen years. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer. 172: 114-123.
- Thoolen, P.M.C., 1999a. Suspended sedimenttransport in the Dutch coastal zone. Delft Hydraulics report Z 2696.
- Thoolen, P.M.C., 1999b. Suspended sedimenttransport in the Dutch coastal zone, phase 2. Delft Hydraulics report Z 2784.
- Van Alphen, J.S.L.J., 1990. A mud balance for the Belgian-Dutch coastal waters between 1969 and 1986. Neth. J. Sea Res., 25 p 19-30.
- Van der Land, M.A., 1991. Distribution of flatfish eggs in the 1989 egg surveys in the southeastern North Sea, and mortality of plaice and sole eggs. Neth. J. Sea Res. 27: 277-286.
- Van Moorsel G.W.N.M, Steyn R.C., Van der Winden, J. & S. Dirksen, 1999. Designing island shores and ecotopes in relation to marine and bird communities. Options for an airport in sea. Rapport Bureau Waardenburg 99.52: 108 pp.
- Van Rijn, L.C., 1995. Sand budget and coastline changes of the Central Dutch Coast. Rapport H2129, WL/ Delft Hydraulics.
- Visser, M., De Ruijter, W.P.M. & L. Postma, 1991. The distribution of suspended matter in the Dutch coastal zone. Neth. J. Sea Res., 27: 127-143.
- Witte, R.H. & C.M. Berrevoets, 1999. Monitoring van zeevogels en zeehonden op het NCP 1997/98, Een exploratieve data analyse, Werkdocument RIKZ/IT-99-852x.
- WL/Delft hydraulics, 1999a. Toepassing GEM kuststrook en Waddenzee. Delft Hydraulics report , Z2556.
- WL/Delft hydraulics, 1999b. Grootchalige effecten van een vliegveld in zee op de nutriënt- en chlorofylgehalten in de Noordzee. Delft Hydraulics report , Z2766.
- WL/Delft hydraulics, 1999c. Grootchalige effecten van een tweede Maasvlakte op de nutriënt- en chlorofylgehalten in de Noordzee. Delft Hydraulics report , Z2632.

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 152

Bestellen: Ministerie van Verkeer en Waterstaat
telefoon: 070 - 351 7086
telefax: 070 - 351 6111