

952.444



Effecten van Maasvlakte 2 op de Waddenzee en

Noordzeekustzone. Spoor 1, resultaten gedetailleerd modellenonderzoek

Basisrapport bij de Passende Beoordeling Landaanwinning

Deelrapport speciale beschermingszones Waddenzee en Noordzeekustzone *afgeprint*



ROYAL HASKONING

**KONINKLIJKE HASKONING GROEP B.V.
RUIMTELIJKE ONTWIKKELING**

Barbarossastraat 35
Postbus 151
6500 AD Nijmegen
+31 (0)24 328 42 84 Telefoon
024 360 Fax
info@nijmegen.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoning.com Internet
Arnhem 10024875 KvK

Documenttitel	Effecten van Maasvlakte 2 op de Waddenzee en Noordzee kustzone Spoor 1 Gedetailleerd Modellenonderzoek
Verkorte documenttitel	Effecten Maasvlakte 2 op de Waddenzee - Spoor 1
Status	Definitieve rapportage
Datum	18 november 2005
Projectnaam	Passende Beoordeling Waddenzee
Projectnummer	9R2847.A0
Opdrachtgever	Havenbedrijf Rotterdam N.V. & Rijksinstituut voor Kust en Zee
Referentie	9R2847.A0/R001/MVLED/Nijm

Auteur(s)	Dr.ir. M. van Ledden e.a.
Collegiale toets	Ir. J.G. de Ronde, dr. J.M. de Kok (RWS/RIKZ)
Datum/paraaf	18 november 2005
Vrijgegeven door	Ir. M. van Zanten
Datum/paraaf	18 november 2005

INHOUDSOPGAVE

	Blz.
1 INLEIDING	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Doel onderzoek	1
1.3 Opbouw rapportage	2
2 MOGELIJKE IMPACT VAN MAASVLAKTE 2 OP DE WADDENZEE	3
2.1 Inleiding	3
2.2 Afbakening van de aspecten	4
2.3 Waterbeweging	5
2.3.1 Huidige situatie	5
2.3.2 Impact van Maasvlakte 2	6
2.4 Slibtransport	7
2.4.1 Huidige situatie	7
2.4.2 Impact van Maasvlakte 2	8
2.5 Nutriënten en primaire productie	9
2.5.1 Huidige situatie	9
2.5.2 Impact van Maasvlakte 2	10
2.6 Vislarven	11
2.6.1 Huidige situatie	11
2.6.2 Impact van Maasvlakte 2	11
2.7 Overzicht	12
3 MODELONDERZOEK	13
3.1 Waterbeweging	15
3.2 Slibtransport	18
3.3 Nutriënten en primaire productie	20
3.4 Vislarven	23
4 DISCUSSIE	28
4.1 Inleiding	28
4.2 Wetenschappelijke vooruitgang	28
4.3 Beperkingen en onzekerheden in het modelonderzoek	28
4.3.1 Algemeen	29
4.3.2 Hydrodynamica	30
4.3.3 Slibtransport	31
4.3.4 Nutriënten/primaire productie	31
4.3.5 Vislarven	32
4.4 Evaluatie	32
5 CONCLUSIE	34
6 VERANTWOORDING	36

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Deze rapportage geeft een overzicht van het onderzoek naar de gevolgen op slib, nutriënten en vislarven van Maasvlakte 2 in het kader van de Passende Beoordeling Waddenzee. Aanleiding voor dit onderzoek is het oordeel van de Raad van State dat *"...niet valt uit te sluiten dat landaanwinning gevolgen heeft voor het vislarven- en slibtransport langs de kust in noordelijke richting en dat deze significante gevolgen kan hebben voor de Waddenzee, die op grond van Europese regels beschermd natuurgebied is"*. Daarnaast concludeert de Raad dat *"... niet aannemelijk (is) gemaakt dat nader onderzoek niet zou kunnen bijdragen aan het verkrijgen van meer duidelijkheid over de omvang en de gevolgen van een verminderde slib- en vislarventoevoer voor de te beschermen waarden van de Waddenzee in het licht van de instandhoudingsdoelstellingen"*.

De landaanwinning bij de haven van Rotterdam, Maasvlakte 2, is gesitueerd aan de zeezijde van de huidige Maasvlakte. In de afgelopen jaren hebben diverse varianten van de landaanwinning een rol gespeeld. Deze zijn samengevat in Figuur 1. In de PKB stonden de Referentieontwerpen I en II centraal. Deze zijn ook aangeduid als GAN en GAB. Belangrijk verschil is dat Referentieontwerp II (GAB) een eigen haventoeegang heeft inclusief een verlenging van de havendammen, terwijl in Referentieontwerp I (GAN) de toegang tot de landaanwinning voor zee- en binnenlandse scheepvaart gerealiseerd wordt door uitbreiding en verbreding van de in de huidige Maasvlakte gelegen haven. Het huidige ontwerp is de Doorsteekvariant. Deze lijkt qua geometrie sterk op Referentieontwerp I (GAN), maar is iets kleiner vanwege de afgeknotte vorm aan de zuidwestzijde.

In het kader van Project Mainport Rotterdam (PMR) zijn diverse studies uitgevoerd om de gevolgen van Maasvlakte 2 in kaart te brengen. Om uitspraken over de gevolgen te onderbouwen met de huidige kennisstand is in het kader van de Passende Beoordeling een nieuw onderzoek gestart. De Passende Beoordeling heeft betrekking op de Waddenzee en de Noordzee kustzone ten noorden van Petten langs de Noord-Hollandse kust en Waddenkust die in het kader van de Europese Vogel- en Habitatrichtlijnen beschermd zijn. Deze gebieden worden in deze rapportage aangeduid met Waddenzee respectievelijk Noordzee kustzone.

1.2 Doel onderzoek

Doelstelling van dit onderzoek is het kwantificeren en verklaren van de effecten op slib, nutriënten en vislarven ten gevolge van Maasvlakte 2 voor deze gebieden met alle beschikbare kennis en de meest geavanceerde hulpmiddelen. Hiervoor is de gehele zuidelijke Noordzee vanaf Het Kanaal tot en met de Duitse bocht als studiegebied gekozen. Voor de gevolgen van Maasvlakte 2 is het specifieke interessegebied de Noordzee kustzone en de westelijke Waddenzee tot ongeveer het wantij van Ameland. Uit eerdere studies volgt dat de effecten van de aanleg van Maasvlakte 2 rondom het wantij ten zuiden van Ameland en in het oostelijk deel van de Waddenzee verwaarloosbaar zijn.

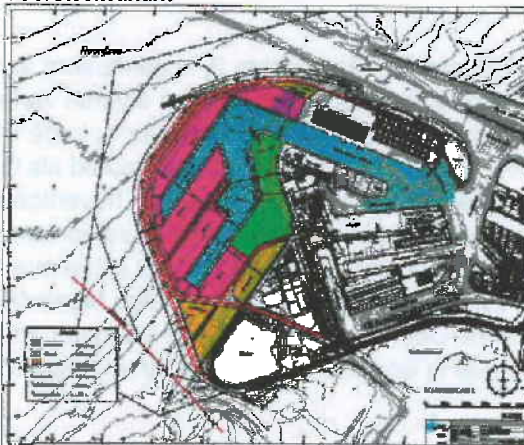
Referentiealternatief I ('GAN')



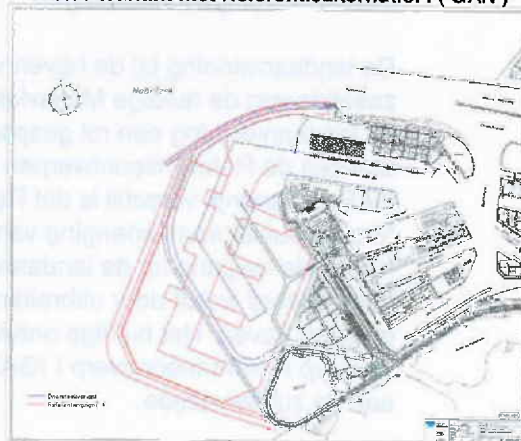
Referentiealternatief II ('GAB')



Doorsteekvariant



Doorsteekvariant met Referentiealternatief I ('GAN')



Figuur 1: Landaanwinningvarianten van Maasvlakte 2.

1.3 Opbouw rapportage

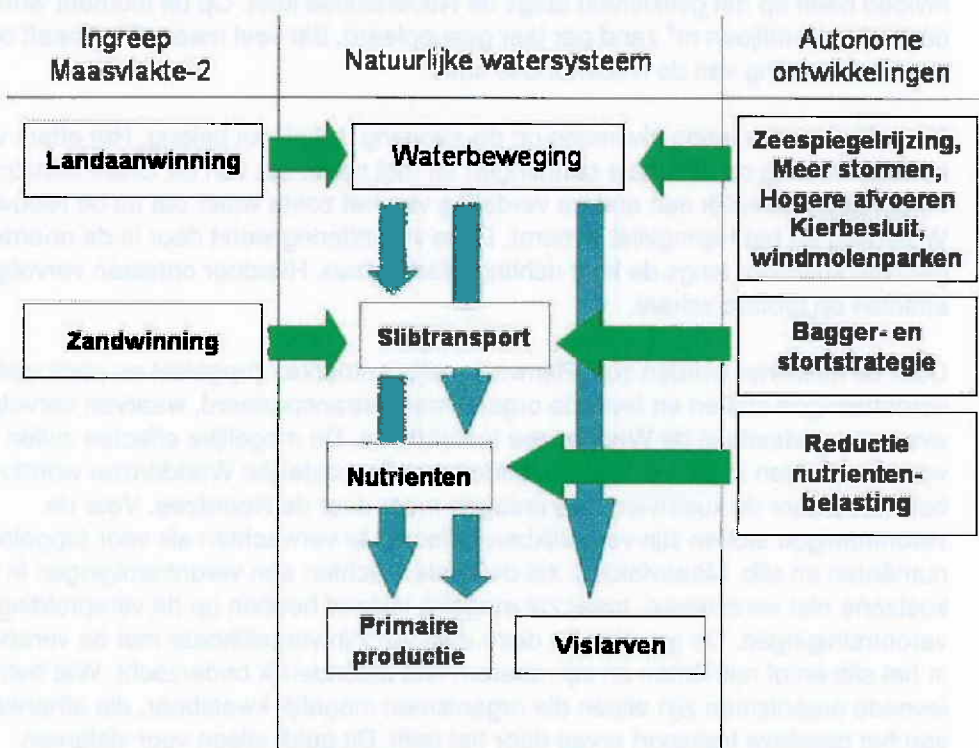
De opbouw van deze rapportage is als volgt:

- In de probleemanalyse staat de vraag centraal welke impact Maasvlakte 2 heeft op de huidige transportprocessen van slib, nutriënten en vislarven in de Noordzee kustzone, en hoe deze effecten doorwerken richting de Waddenzee. Per aspect wordt een overzicht gegeven van de grootte van deze effecten op basis van bestaande studies van PMR (2).
- Daarna volgt een beschrijving van het recente modelonderzoek (3) waarbij aandacht wordt besteed aan de gebruikte modellen en aannamen die ten grondslag liggen aan dit onderzoek en de effecten op slib, nutriënten en vislarven. Tevens wordt beschreven hoe deze effecten zich verhouden tot het eerder uitgevoerde onderzoek zoals beschreven in (2).
- Tenslotte volgt een terugblik op de gekozen modelaanpak en de resultaten in dit onderzoek (4). Hierbij komt aan de orde wat de sterke en zwakke punten zijn van het uitgevoerde onderzoek. Tevens volgt een discussie welke invloed de onzekerheden in de aanpak en de resultaten hebben op de effectbeoordeling van Maasvlakte 2.
- Deze rapportage besluit met conclusies (5).

2 MOGELIJKE IMPACT VAN MAASVLAKTE 2 OP DE WADDENZEE

2.1 Inleiding

De aanleg van Maasvlakte 2 bestaat uit twee hoofdactiviteiten: de winning van zand op de Noordzee en de landaanwinning ter hoogte van de toegang van de haven van Rotterdam. Deze activiteiten zullen naast allerlei autonome ontwikkelingen (zoals zeespiegelstijging) invloed hebben op het omliggende watersysteem (zie Figuur 2). De *landaanwinning* verandert de waterbeweging (stroming en waterstanden) rondom de Rijn-Maasmonding.



Figuur 2: Relaties tussen de ingreep van Maasvlakte 2 en het natuurlijke watersysteem. Tevens zijn de autonome ontwikkelingen aangegeven die ook een impact hebben op het natuurlijke systeem.

In dit hoofdstuk wordt de mogelijke impact van Maasvlakte 2 op de Waddenzee besproken. Eerst wordt ingegaan op de vraag voor welke aspecten logischerwijs geen effecten te verwachten zijn en welke aspecten wel nader onderzoek behoeven (2.2). Vervolgens wordt voor de te onderzoeken aspecten (waterbeweging, slib, nutriënten/primaire productie en vislarven) een beschrijving van de huidige situatie op basis van de beschikbare kennis gegeven. Tevens wordt per aspect aangegeven wat de mogelijke impact is van Maasvlakte 2 op basis van eerdere studies (2.3 t/m 2.6). Gelet op de omvang van de literatuur worden alleen de essentiële zaken hier opgenomen waarbij specifiek wordt gekeken naar de situatie rondom Maasvlakte 2 in relatie tot de Waddenzee. Afsluitend wordt een overzicht gegeven van de aspecten en de mogelijke effecten op basis van het reeds uitgevoerde onderzoek (2.7).

2.2

Afbakening van de aspecten

Het primaire effect van de aanwezigheid van Maasvlakte 2 is de beïnvloeding van de waterbeweging (stroming en waterstanden) rondom de Rijn-Maasmonding. De verwachte effecten op *waterstanden* ten gevolge van de landaanwinning en de zandwinning zijn minder dan een centimeter en spelen verder geen rol; ze zullen geen verandering in getijamplitude teweeg brengen. Wat betreft de zandtransporten kan geconcludeerd worden dat de effecten op het Waddenzeegebied te verwaarlozen zijn. Het gemiddelde langtransport van zand langs de Nederlandse kust bedraagt 0,2 à 0,5 miljoen m³ per jaar. Dit transport is grotendeels golfgedreven en wordt alleen maar zeer lokaal beïnvloed door de uitbreiding van de Maasvlakte aangezien de uitbreiding geen invloed heeft op het golfklimaat langs de Nederlandse kust. Op dit moment wordt ongeveer 12 miljoen m³ zand per jaar gesuppleerd, dat veel meer effect heeft op de zandhuishouding van de Nederlandse kust.

Het effect van de landaanwinning op de *stroming* is wel van belang. Het effect van de landaanwinning op de lokale stromingen en met name dat van de lokale reststromingen veroorzaakt namelijk een andere verdeling van het zoete water dat uit de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet stroomt. Deze verandering werkt door in de noordwaarts gerichte kustrivier langs de kust richting Waddenzee. Hierdoor ontstaan vervolgens effecten op grotere schaal.

Door de kustrivier worden zoet Rijnwater, slib, nutriënten (opgelost en particulier), algen, verontreinigde stoffen en levende organismen getransporteerd, waarvan vervolgens weer een gedeelte in de Waddenzee terechtkomt. De mogelijke effecten zullen zich vooral voordoen in de westelijke Waddenzee. De oostelijke Waddenzee wordt minder beïnvloed door de kustrivier, daarentegen meer door de Noordzee. Voor de verontreinigde stoffen zijn vergelijkbare effecten te verwachten als voor (opgeloste) nutriënten en slib. Maasvlakte 2 zal de totale vrachten aan verontreinigingen in de kustzone niet veranderen, maar zal mogelijk invloed hebben op de verspreiding van verontreinigingen. De grootte van deze effecten zijn vergelijkbaar met de veranderingen in het slib en/of nutriënten en zijn daarom niet afzonderlijk onderzocht. Wat betreft de levende organismen zijn alleen die organismen mogelijk kwetsbaar, die afhankelijk zijn van het passieve transport ervan door het getij. Dit geldt alleen voor vislarven.

Het moet bedacht worden dat het Rijnwater en het slib in de kustzone verschillende verspreidingspatronen hebben. Hierdoor zijn ook de effecten van Maasvlakte 2 op deze verspreidingspatronen verschillend. Hetzelfde geldt voor opgeloste stoffen en voor aan slib gehechte stoffen. Hiervoor zijn de effecten verschillend. Nutriënten kunnen vanuit oplossing aan slib geadsorbeerd worden of door algen worden geconsumeerd, waardoor ze meer het verspreidingspatroon van zwevende stoffen gaan volgen. Andersom kunnen ze door desorptie en door het afsterven van algen weer van de particulaire naar de opgeloste fase teruggaan. Hierdoor hebben nutriënten een specifiek verspreidingspatroon dat verschilt van het zoete Rijnwater en ook van het slib in de kustzone.

Gevolgen voor de verspreiding van verontreinigingen die gebonden zijn aan zwevend materiaal worden ook niet verwacht. De geloosde vrachten wijzigen niet als gevolg van Maasvlakte 2. De hoeveelheid aan zwevend materiaal gebonden verontreiniging in de Waddenzee zal evenredig met de reductie van slib in de Waddenzee afnemen. Dit behoeft niet nader uitgezocht te worden.

De zandwinning zorgt tijdelijk voor verhoging van het slibgehalte in het water door het baggerproces. De lokale verandering van de zeebodem ten gevolge van de zandwinning zal ook het stromingspatroon veranderen maar dit is een dergelijk lokaal fenomeen dat dit voor het Waddenzeegebied niet belangrijk is.

2.3 Waterbeweging

2.3.1 Huidige situatie

De aanwezigheid van de kustrivier tussen de Rijn-Maasmonding (Nieuwe Waterweg en Haringvliet) en Den Helder speelt een centrale rol in de mogelijke invloed van Maasvlakte 2 op de Waddenzee. Dit is een smalle strook van 20 – 30 kilometer langs de Hollandse kust met noordwaarts gericht transport van relatief zoet Rijnwater, rijk aan slib, nutriënten, en vislarven, en fungeert hiermee als een bron voor de Waddenzee.

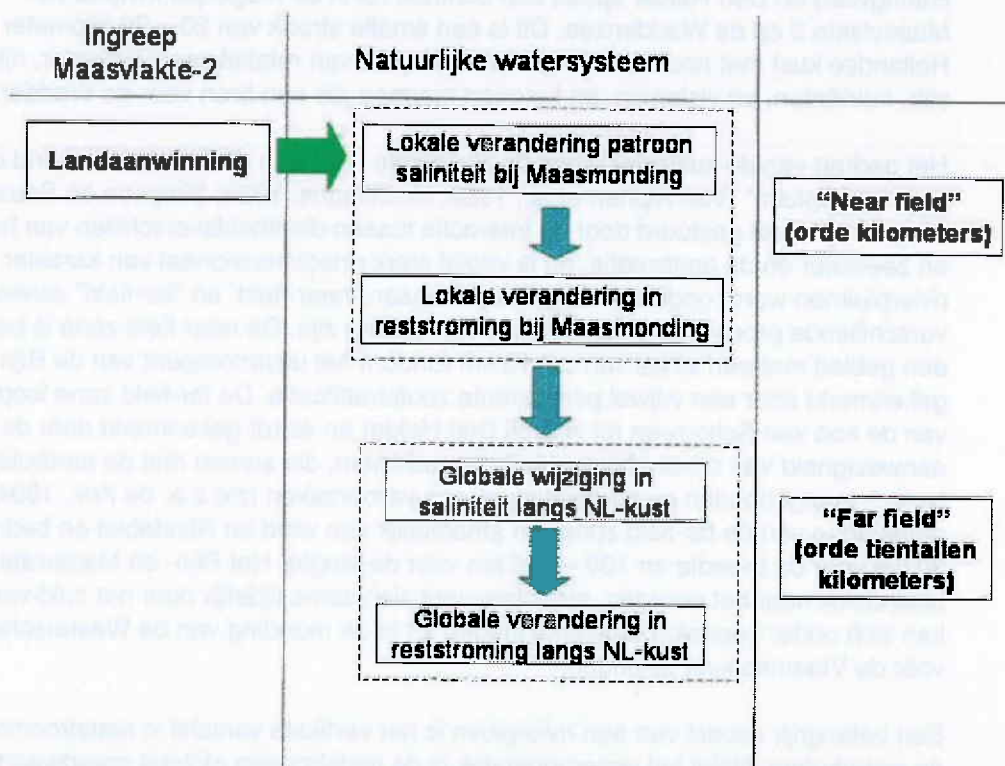
Het gedrag van de kustrivier langs de Hollandse kust is in de literatuur bekend onder de term "rivierpluim" (Van Alphen et al., 1988; McClimans, 1988; Simpson en Souza, 1995). Dit gedrag wordt gestuurd door de interactie tussen dichtheidsverschillen van het rivier- en zeewater en de aardrotatie, en is veelal sterk driedimensionaal van karakter. Bij rivierpluimen wordt onderscheid gemaakt tussen "near-field" en "far-field" zones waarin verschillende processen en tijdschalen van belang zijn. De near-field zone is beperkt tot een gebied met een straal van ca. 10 km rondom het uitstroompunt van de Rijn en wordt gekenmerkt door een vrijwel permanente zoutstratificatie. De far-field zone loopt globaal van de kop van Schouwen tot voorbij Den Helder en wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van cross-shore saliniteitsgradiënten, die samen met de aardrotatie een typisch kustgebonden reststromingspatroon veroorzaken (zie o.a. de Kok, 1994). De afmetingen van de far-field zone zijn afhankelijk van wind en Rijndebiet en bedragen 20-30 km voor de breedte en 100 – 150 km voor de lengte. Het Rijn- en Maaswater stroomt uiteindelijk naar het noorden, maar beweegt zich soms tijdelijk naar het zuid westen. Het kan zich onder bepaalde omstandigheden tot in de monding van de Westerschelde en voor de Vlaamse kust bevinden.

Een belangrijk aspect van een rivierpluim is het verticale verschil in reststroomrichting in de waterkolom. Nabij het wateroppervlak is de reststroming globaal noordwaarts gericht parallel aan de kustlijn, maar met een kustdwarse component van de kust af gericht. Nabij de bodem heeft de reststroming een dwarscomponent in de richting van de kust. Dit heeft belangrijke gevolgen voor het slib dat zijn hoogste concentratie bij de bodem heeft. Hierdoor wordt het slib gevangen in een relatief smalle band langs de kust met hoge concentraties (zie ook paragraaf 2.3). Een gedeelte van de nutriënten wordt met het slib meegevoerd. Ook sommige soorten vislarven maken handig gebruik van de kustgerichte reststroming om geschikte kinderkamergebieden te kunnen bereiken.

Naast de stroming op de Noordzee zijn ook golven van invloed op het gedrag van opgeloste en zwevende stoffen richting de Waddenzee. Het effect van golven is met name van belang in de nabije kustzone vanwege de geringe waterdiepte en uit zich op twee manieren. Enerzijds is er sprake van verhoogde schuifspanning aan de bodem ten gevolge van golven. Anderzijds is er in de nabije kustzone sprake van golfgedreven transport van water, en daarmee ook van zwevende en opgeloste stoffen.

2.3.2 Impact van Maasvlakte 2

In het kort beschreven is het effect van de landaanwinning op de waterbeweging als volgt (zie Figuur 3): de uitbouw van de Maasvlakte verbreedt de near-field zone van de rivierpluim. Door de geometrie van het mondingsgebied gaat dit gepaard met een sterkere horizontale menging met het omringende zeewater. Hierdoor nemen de cross-shore saliniteitsgradiënten af, zowel in het near-field als in het far-field met als gevolg in de hele Rijnpluim een afname van de kustwaarts gerichte reststroming nabij de bodem. Ook de kustlangsgerichte reststroom aan het oppervlak wordt kleiner, omdat deze in geostrofisch evenwicht zijn met de cross-shore dichtheidsgradiënten. De beschreven effecten zijn in lijn met berekeningen uit eerdere impactstudies van Maasvlakte 2.



Figuur 3: ingreep-effect relaties voor de waterbeweging als gevolg van de landaanwinning Maasvlakte 2.

Een veel gestelde vraag is waarom een relatief kleine geometrische verandering nabij de Maasvlakte tot bij het Marsdiep invloed kan hebben. Daarbij moet bedacht worden dat de situatie in de far-field zone deels bepaald wordt door de situatie in de near-field zone. Garvine (2001) laat bijvoorbeeld zien dat effecten in de far-field zone kunnen optreden door kleine lokale geometrische veranderingen in de near-field zone nabij de uitstroom van de rivier, terwijl alle overige parameters van de pluim (bijv. aanvoer van hoeveelheid zoet water en slib) gelijk blijven. Zoals eerder is opgemerkt strekt de far-field zone van de Rijnpluim zich uit tot voorbij Den Helder. Mogelijke gevolgen tot bij en zelfs in de Waddenzee zijn dus op voorhand niet uit te sluiten.

De verandering in geometrie van de kustlijn door Maasvlakte 2 betekent een zogenaamde verbreding van de kustrivier waardoor de hoeveelheden zwevende en

opgeloste stoffen over een grotere breedte langs de kust worden verdeeld. Hierdoor komen er mogelijk minder van deze stoffen in het Waddenzeegebied terecht. Daarbij is het belangrijk te realiseren dat er niet minder zwevende en opgeloste stoffen in transport zullen zijn, maar dat ze zich over een groter oppervlak verspreiden.

2.4 Slibtransport

2.4.1 Huidige situatie

Op grote schaal wordt het slibaanbod langs de Nederlandse kust gestuurd door het noordwaarts gerichte restdebiet door Het Kanaal (jaargemiddeld 50.000 – 150.000 m³/s), en de slibaanvoer vanuit de Kanaalzone en vanaf de Vlaamse kust (De Kok, 2004). Het slib blijft grotendeels in de waterkolom van de Noordzee, en de netto slibsedimentatie in de Zuidelijke Noordzee is zeer beperkt vanwege de relatief hoge stroomsnelheden. Alleen in de diverse havens langs de Noordzeekust (bijv. Zeebrugge, Rotterdam) en in de mondingsgebieden van de vroegere zeearmen van de Zeeuwse delta (Haringvliet, Grevelingen) en in de Waddenzee vindt netto slibsedimentatie plaats. Het slib uit de havens wordt weggebaggerd en grotendeels weer teruggestort in zee waardoor netto het slib in het systeem blijft.

Uit directe metingen en uit satellietbeelden blijkt dat de slibconcentratie in de kustrivier hoog is (ca. 50 – 100 mg/l), terwijl deze verder zeewaarts ca. 5 – 10 mg/l is (Suijlen&Duin, 2002). Deze ophoping van slib in de kustzone komt door het reststroomp patroon van de kustrivier. Nabij het wateroppervlak heeft de reststroming een kustdwarse component van de kust af gericht. Nabij de bodem staat de reststroming hoofdzakelijk in de richting van de kust. Omdat het meeste slib zich nabij de bodem bevindt, wordt dus netto slib naar de kust toe getransporteerd en ontstaat een relatief smalle zone met hoge concentraties. In de richting langs de kust is de reststroming en dus ook het slibtransport netto noordwaarts gericht. De jaarlijks gemiddelde netto slibflux langs de Hollandse kust wordt geschat op 10 - 25 miljoen ton/jaar (De Kok, 2004).

Satellietbeelden kunnen een indruk geven van de ruimtelijke verdeling van zwevende stof in de kustzone (Figuur 4). Tevens geven deze beelden ook de sterke seizoensafhankelijkheid van de slibconcentratie aan: in de winter met relatief zware weersomstandigheden zijn de slibconcentraties hoger dan in de zomer met relatief kalm weer. De gemeten variaties zijn groot en variëren van enkele mg/l tijdens rustige omstandigheden tot honderden mg/l tijdens ruwe omstandigheden.

Voor de Hollandse kustzone tonen berekeningen aan dat het golfgedreven slibtransport langs de kust ongeveer 2 à 3 maal zo groot is als het stroomgedreven slibtransport in de brandingszone (Torønga, 2002). Voor de totale slibflux langs de Nederlandse kust betekent dit dat de bijdrage van het golfgedreven transport minimaal 10% is. Mogelijk is deze bijdrage veel groter aangezien er weinig bekend is over de slibconcentraties en – fluxen tijdens stormen. Juist in die periode is de bijdrage van het golfgedreven transport zeer groot.



Figuur 4: Satellietopname van de Zuidelijke Noordzee. De bruine patronen geven gebieden aan met relatief hoge slibconcentraties in het water. De kustrivier langs de Nederlandse kust met hoge slibconcentraties is goed zichtbaar.

2.4.2 Impact van Maasvlakte 2

In diverse projecten is gekeken naar de invloed van de Referentieontwerpen I (GAN) en II (GAB) van Maasvlakte 2 op het slibtransport langs de Hollandse kust en richting de Waddenzee. De uitgevoerde studies laten in kwalitatieve zin het volgende beeld zien met betrekking tot het effect van Maasvlakte 2 (De Kok, 1999; Thoolen et al., 2001; Boon et al., 2001):

- De invloed van Maasvlakte 2 strekt zich uit over een relatief grote afstand langs de Hollandse kust tot voorbij Callantsoog,
- De kustrivier wordt breder ten gevolge van de aanleg van Maasvlakte 2. Dit resulteert in een lagere slibconcentratie en slibflux bij de kust ter hoogte van Callantsoog en iets hogere concentraties op grotere afstand uit de kust.

De persistentie van deze conclusies in de studies is des te opmerkelijker gelet op de grote verschillen in de gebruikte modellen, rekengrids, schematiseringen van forceringen en formuleringen voor het slibtransport.

Bovengenoemde effecten op het slib zijn begrijpelijk in het licht van de effecten op de waterbeweging (zie 2.2). De minder sterke reststroming in kustdwarse richting veroorzaakt een afname van het netto kustwaarts gerichte slibtransport. Dit heeft tot gevolg een verlaging van de slibconcentratie in de kustnabije zone en een verhoging iets verder zeewaarts. De veranderingen in de kustdwarse richting hebben effect op het

transport in langsrichting. In de kustnabije zone neemt het transport van slib af, en verder zeewaarts is sprake van een toename.

In kwantitatieve zin laten de resultaten van de eerdere studies een grote bandbreedte zien in de afname van de slibflux ten gevolge van Maasvlakte 2. De berekende afname van de netto slibflux ter hoogte van Callantsoog varieert van 5 – 25% in deze studies. Daarbij moet wel worden aangetekend dat het hier gaat om studies met verschillende uitgangspunten met betrekking tot de rekengrids, layouts van Maasvlakte 2 en forcering. Bovendien is de netto slibflux zeer gevoelig voor de gekozen forcering en representatieve periode. De netto slibflux is het verschil tussen het bruto noordwaartse en zuidwaartse slibtransport, en bedraagt veelal minder dan 10% van het bruto transport. De relatieve effecten van Maasvlakte 2 op bruto transporten zijn kleiner dan op netto transporten.

2.5 Nutriënten en primaire productie

2.5.1 Huidige situatie

Bij de start van de studie naar het vliegveld in zee ("Flyland") heeft Los (2000) een overzicht gegeven van de toenmalige situatie met betrekking tot zwevende stof, nutriënten en primaire productie en de invloed van mogelijke autonome ontwikkelingen. Tevens wordt een uitgebreid overzicht gegeven van het bij WL | Delft Hydraulics uitgevoerde onderzoek naar nutriënten en primaire productie op de Noordzee in de afgelopen tientallen jaren. In deze rapportage staan ook veel referenties naar onderliggend onderzoek. In recentere jaren zijn de resultaten van de Flyland studie beschikbaar gekomen (Mare, 2001) en is modelonderzoek uitgevoerd naar de effecten van een extra spuumiddel in de Afsluitdijk (WL | Delft Hydraulics, 2003) en naar de respons van primaire productie en phytoplankton in de Noordzee op lagere nutriëntenaanvoer vanuit de rivieren (WL | Delft Hydraulics, 2004).

Kort samengevat zijn – anders dan bij slib het geval is – de rivieren de belangrijkste bron van nutriënten voor de Hollandse kustzone, in het bijzonder het Haringvliet en de Nieuwe Waterweg. Vanaf de jaren 1950 tot de jaren 1980 is de aanvoer van nutriënten via rivieren toegenomen, waarna door diverse milieumaatregelen de belasting is afgenomen. De N/P-ratio is sinds 1988 toegenomen, doordat de afname fosfaatbelasting groter was dan de afname stikstofbelasting. Voor de westelijke Waddenzee is de toevoer van nutriënten vanuit het IJsselmeer qua orde van grootte vergelijkbaar met de toevoer vanaf de Noordzee (Laane, 2005). Naast aanvoer van nutriënten uit de rivieren en het IJsselmeer speelt ook atmosferische depositie voor de Noordzee en Waddenzee een rol (Laane, 2005).

Net als bij slib vormt de kustrivier een belangrijke transportweg van nutriënten vanaf de rivieren richting de Waddenzee. De nutriëntenconcentraties zijn hoger in een smalle band langs de kust. De totaal-nutriëntconcentraties zijn ruwweg evenredig met het zoetwatergehalte en daardoor erg gevoelig voor de menging van het rivierwater in de Noordzee.

De zeebodem speelt een belangrijke rol in de nutriëntendynamiek, vooral in de Waddenzee, omdat de bodem als een permanente of tijdelijke opslag van nutriënten fungeert. De variatie in ruimte en tijd van de nutriëntenconcentratie is sterk gerelateerd

aan de primaire productie die in de Noordzee varieert van 45 tot 572 gC.m⁻².j⁻¹. In een smalle strook langs de Hollandse kustzone wordt primaire productie vooral door de beschikbaarheid van licht gelimiteerd. Iets verder uit de kust zijn nutriënten (met name fosfaat) vaak limiterend. Doordat fosfaat in de zomer uit de zeebodem vrijkomt, neemt de fosfaatlimitatie in de zomer over het algemeen af.

Naast nutriënten is de slibconcentratie een zeer belangrijke factor voor primaire productie. Bij een hoge slibconcentratie is er te weinig licht voor primaire productie. Dicht bij de Hollandse kust waar de slibconcentraties het hoogst zijn, is de primaire productie dan ook lager dan verder uit de kust. Een verandering in de slibconcentratie zal direct resulteren in een gewijzigd ruimtelijk en tijdsafhankelijk patroon van de primaire productie. Primaire productie zal gemiddeld over de gehele Noordzee waarschijnlijk gelijk blijven, maar er zal op de ene plek meer en op een andere plek minder primaire productie optreden.

2.5.2 Impact van Maasvlakte 2

Ten gevolge van Maasvlakte 2 zal het stromingspatroon en het slibtransport langs de Hollandse kust mogelijk wijzigen. Beide beïnvloeden de primaire productie ofwel door een gewijzigd transport van nutriënten ofwel door gewijzigde slibconcentraties. Een gewijzigde N/P-ratio kan bovendien resulteren in een gewijzigde algensamenstelling inclusief het voorkomen van plaagalg.

In het kader van het Project Mainportontwikkeling Rotterdam is een studie verricht om bovengenoemde effecten te kwantificeren (WL | Delft Hydraulics, 1999). Een samenvatting van deze modelstudie is overgenomen uit Los (2000) en hieronder weergegeven:

Samenvatting "Grootschalige effecten van een tweede Maasvlakte op nutriënt- en chlorofylgehaltes in de kustzone" (WL|Delft Hydraulics, 1999)

Om de effecten van de aanleg van Maasvlakte 2 op de primaire productie te kwantificeren, is gebruik gemaakt van het Generieke Estuarium Model (GEM). Er is één GEM-berekening gemaakt voor de situatie zonder Maasvlakte 2 en één berekening voor de situatie met een noordelijke variant van Maasvlakte 2 die circa 5,5 km verder in zee steekt dan de huidige Maasvlakte. Bij beide berekeningen is uitgegaan van een gewijzigd lozingsprogramma van de Haringvlietsluizen, het zogenaamde Getemd Getij programma. De waterbeweging en de slibpatronen zijn berekend met een constante zuidwesten wind van 7 m/s (4 Bf). Bij iedere berekening is een volledige jaarcyclus doorgerekend, waarbij temperatuur, lichtinstraling, nutriëntenaanvoer en grootte van slibconcentratie zijn gevarieerd. Gedurende de jaarcyclus wordt de hydrodynamica iedere getijperiode ongewijzigd herhaald en blijven de horizontale slibconcentratiepatronen constant.

Uit deze modelstudie blijkt dat als gevolg van het gewijzigde stromingsregime in een circa 15 kilometer brede strook de slib- en nutriëntenconcentraties afnemen. Binnen enkele kilometers vanaf de kust bedragen de afnamepercentages voor de kust van Zuid-Holland ruim 40 % voor zowel slib als nutriënten, en voor de kust van Noord-Holland bij Callantsoog circa 30 % voor slib en circa 5 % voor nutriënten. Aangezien de gezamenlijke aanvoer van stofvrachten vanuit de Nieuwe Waterweg en Het Haringvliet onveranderd blijft, vindt buiten de 15 kilometer kuststrook een geringe concentratietoename plaats, met name voor nutriënten.

Recentere berekeningen met het Flyland instrumentarium geven een afname van 0 – 15% nutriënten richting de Waddenzee met uitbreiding van de Maasvlakte. Het gaat hier wel om het Referentieontwerp II (zie Figuur 1), dat volgens de modelstudies uit 2005 een veel groter effect heeft dan de Doorsteekvariant. Het effect op nutriënten wordt in belangrijke mate veroorzaakt door de verandering in slibgehalten. Dit resultaat laat zien dat de aanleg van Maasvlakte 2 een aanzienlijk effect kan hebben op de fytoplankton-biomassa en soortensamenstelling in de directe kustzone.

2.6 Vislarven

2.6.1 Huidige situatie

De kustzone van de Noordzee en de Waddenzee staan bekend om hun essentiële rol als opgroeigebied voor vissen zoals tong, schol en haring (Zijlstra, 1972; Van Beek et al., 1989; Asjes et al., 2004). In dit ondiepe gebied is sprake van een grote voedselrijkdom en een relatief beschermde omgeving. De paaigronden van deze vissoorten bevinden zich op de diepere delen van de Noordzee en het Kanaal. Het transport van (eieren en) larven vanaf de paaigronden naar de 'kinderkamers' vindt grotendeels plaats door de stroming en wordt deels bepaald door de gedragskenmerken van de larven. Cruciaal hierin zijn de restcirculaties in de Noordzee ten gevolge van getij, wind en de uitstroom van rivierwater. Langs de Nederlands kust speelt – net als bij slib en nutriënten – de kustrivier ook bij het transport van vislarven richting Waddenzee een belangrijke rol. Deze kinderkamer-vissoorten vormen een belangrijke bron van voedsel voor het ecosysteem. Succesvolle rekrutering naar de adulte populaties is van belang voor de commerciële visserij.

2.6.2 Impact van Maasvlakte 2

De basisgedachte achter de beïnvloeding van de aanleg van Maasvlakte 2 in relatie tot vislarven is dat het stromingspatroon (richting en snelheid) en de zoutgradiënten op de Noordzee in het algemeen en de kustrivier in het bijzonder zullen veranderen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee verschillende effecten. Enerzijds kunnen de stroomrichting en de kustwaartse component hierin veranderen. Deze veranderingen kunnen van invloed zijn op de *hoeveelheid* vislarven die de Waddenzee bereiken. Anderzijds kan de reststroomsnelheid van het vislarventransport veranderen. De snelheid bepaalt de *duur* van de transportfase naar de Waddenzee en daarmee ook het moment ("timing") waarop de larven de Waddenzee kunnen bereiken. Veranderingen in de zoutgradiënten kunnen zowel invloed hebben op de grootte als op de duur van het transport richting de Waddenzee.

Veranderingen in de hoeveelheid en duur van het vislarventransport kunnen gezamenlijk van invloed zijn op het uiteindelijke transportsucces van larven naar de kinderkamers. Een verminderde aanvoer van larven naar de kinderkamers kan vervolgens invloed hebben op de rekrutering naar de adulte populaties. Bij haring en schol is aangetoond dat de jaarklassterkte bepaald wordt in de (ei- en) larvale stadia (Brander & Houghton, 1982; Zijlstra et al., 1982; Van der Veer et al., 2000) en dat transport naar de kinderkamers hierbij een rol kan spelen (Van der Veer, 1998).

Indertijd is in het kader van de PKB voor Maasvlakte 2 beredeneerd dat de invloed van Maasvlakte 2 op het transport van vislarven beperkt zou zijn (Goderie e.a., 1999). De genoemde effecten van de aanleg van Maasvlakte 2 op het transport van vislarven zijn echter tot op heden niet gekwantificeerd. In het kader van het modelonderzoek voor de Passende Beoordeling zijn deze effecten kwantitatief geschat met behulp van waterbewegingsmodellen in combinatie met gedragsmodellen voor vislarven (zie hoofdstuk 4).

2.7 Overzicht

In de voorgaande paragrafen is een beknopte samenvatting gegeven van de huidige kennis rondom slib, nutriënten en vislarven in de Hollandse kustzone in het algemeen. Tevens is ingegaan op de vraag welke effecten verwacht worden, afgaande op de beschikbare kennis en modelstudies van voor de Passende Beoordeling. Op basis van deze paragrafen kan het volgende geconcludeerd worden ten aanzien van de effecten van de landaanwinning van Maasvlakte 2 op de Waddenzee:

- **Slib:** De studies naar de effecten van Maasvlakte 2 op het slibtransport richting Waddenzee laten allemaal een afname zien variërend van ca. 5 – 25%, o.a. afhankelijk van de gekozen variant (GAB of GAN). De bandbreedte van de resultaten is echter groot.
- **Nutriënten:** Een eerdere modelstudie laat een afname zien voor de totale nutriëntgehalten in de eerste kilometers voor de kust van Noord-Holland bij Callantsoog van circa 0 - 15%. Aangezien de gezamenlijke aanvoer van stofvrachten vanuit de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet onveranderd blijft, vindt buiten de 15 kilometer kuststrook een geringe concentratietoename plaats.
- **Vislarven:** Het effect van de aanleg van Maasvlakte 2 op het transport van vislarven is nog niet eerder gekwantificeerd met behulp van modelberekeningen. In eerder onderzoek is kwalitatief aannemelijk gemaakt dat – gelet op de beperkte verstoring van de grootschalige waterbeweging en het resttransport in de Zuidelijke Noordzee door Maasvlakte 2 – het effect gering is.

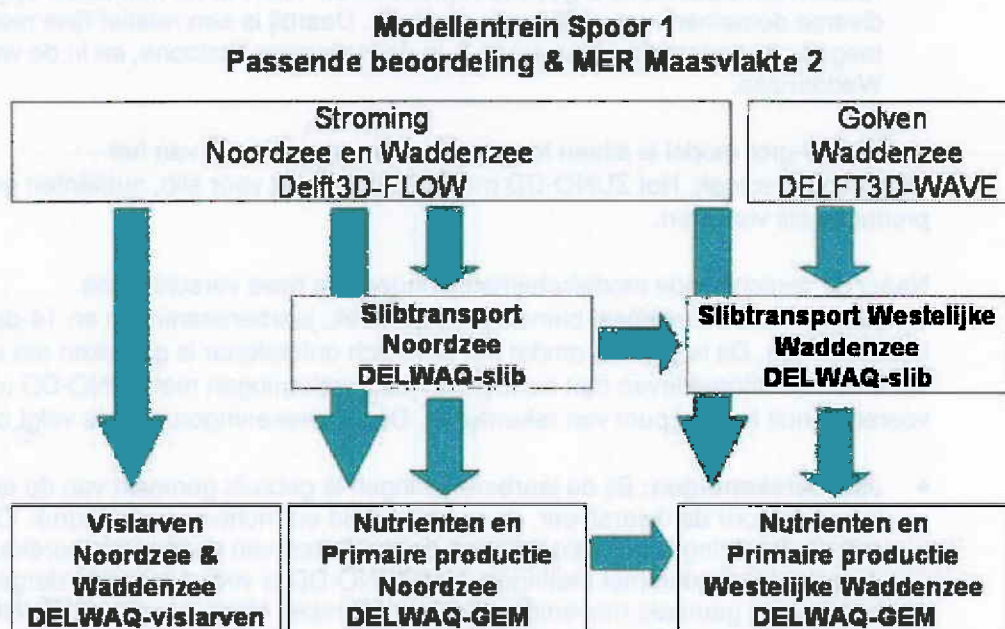
Bovengenoemde effecten voor slib en nutriënten zijn met veel onzekerheden omgeven. In de modelstudies zijn allerlei aannamen gedaan met betrekking tot de gebruikte forcering en de gemodelleerde processen. Ook voor vislarven geldt dat alleen een kwalitatieve beoordeling is gemaakt en dat - afhankelijk van de mate waarin de waterbeweging wordt beïnvloed - ook invloed zou kunnen hebben op het larventransport naar de Waddenzee. Dit geldt in het bijzonder voor de platvissen (schol, tong) die gebruik maken van een kustgerichte stromingscomponent om de kinderkamers te bereiken.

In het kader van deze Passende Beoordeling zijn in het modelonderzoek van spoor 1 de effecten naar slib, nutriënten en vislarven zo goed mogelijk gekwantificeerd met de state-of-the-art modellen. Hier wordt in het volgende hoofdstuk nader op ingegaan.

3 MODELONDERZOEK

3.1 Opzet

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van een aantal modellen voor het kwantificeren van de effecten op slib, nutriënten en primaire productie en vislarven. In de onderstaande figuur is de "modellentrein" samengevat en zijn ook de relaties weergegeven tussen deze modellen. De basis wordt gevormd door de beschrijving van de waterbeweging. De resultaten van de stroming worden gebruikt als input voor het vislarvenmodel en het slibtransportmodel. De resultaten van zowel de waterbeweging als het slibtransport vormen beide ingangsgegevens voor het modelleren van de nutriënten en de primaire productie.



Figuur 5: Overzicht en onderlinge relaties van de toegepaste modellen.

Een belangrijke aanname in dit onderzoek is dat alleen het lange-termijn effect van golven is meegenomen voor de Noordzee middels de gekozen waarden voor de kritische schuifspanningen van erosie en sedimentatie. Het korte-termijn effect van opslag van slib in de bodem en resuspensie door golfwerking (intermitterend) is niet meegenomen. Reden van deze keuze is dat het meenemen van golven te rekenintensief is voor de gehele Noordzee, gegeven het tijdschema in dit project. Het is bekend dat golven een (veel) beperktere rol spelen in de verspreiding van zwevende en opgeloste stoffen dan de stroming ten gevolge van het getij, de wind en de rivierafvoer. Echter, het effect van golven op de Noordzee is niet verwaarloosbaar en zal bij de interpretatie van de resultaten aandacht moeten krijgen. In de ondiepe westelijke Waddenzee daarentegen is de golfwerking cruciaal voor het gedrag van slib en daardoor ook voor nutriënten en de primaire productie. Daarom is ervoor gekozen om voor dit gebied de golfwerking wel mee te nemen (zie ook Figuur 5).

Binnen dit onderzoek is gebruik gemaakt van twee verschillende modelschematiseringen van de Zuidelijke Noordzee en de Waddenzee:

- **ZUNO-grof:** Deze modelschematisering bestond reeds, en is diverse keren toegepast in eerdere studies (o.a. Maasvlakte 2 en Flyland). Vergelijkingen met metingen hebben aangetoond dat dit model de grootschalige waterstandsfluctuaties, stroomsnelheden en zoet-zoutpatronen ten gevolge van het getij, de wind, en de rivierafvoer op de Noordzee goed reproduceert.
- **ZUNO-DD:** Deze modelschematisering is nieuw gemaakt, omdat de roosterresolutie van ZUNO-grof niet voldoende fijn is om de lokale verandering van de geometrie rondom de Maasvlakte 2 goed te reproduceren. Hiervoor is het model opgeknipt in diverse domeinen met variërende resolutie. Daarbij is een relatief fijne resolutie toegepast rondom de Maasvlakte 2, in de Hollandse kustzone, en in de westelijke Waddenzee.

Het ZUNO-grof model is alleen toegepast voor een gedeelte van het vislarvenonderzoek. Het ZUNO-DD model is toegepast voor slib, nutriënten en primaire productie als vislarven.

Naast de verschillende modelschematiseringen zijn twee verschillende simulatieperioden toegepast binnen dit onderzoek: jaarberekeningen en 14-daagse berekeningen. Dit is gedaan omdat het praktisch onhaalbaar is gebleken om alle varianten en alternatieven met behulp van jaarberekeningen met ZUNO-DD uit te voeren vanuit het oogpunt van rekentijden. Deze berekeningen zijn als volgt opgezet:

- **Jaarberekeningen:** Bij de jaarberekeningen is gebruik gemaakt van de actuele forcering voor de rivierafvoer, de windsnelheid en -richting en luchtdruk. Omdat de actuele forcering is gebruikt, kunnen de resultaten van deze modelberekeningen vergeleken worden met metingen. Met ZUNO-DD is voor 1 jaar een dergelijke berekening gemaakt (november 1988 – november 1989), terwijl met ZUNO-grof voor 9 jaren dergelijke berekeningen zijn gemaakt. Naast metingen geven deze berekeningen een indruk van de variabiliteit van het systeem.
- **14-daagse berekeningen:** Bij deze berekeningen is gebruik gemaakt van gemiddelde rivierafvoeren, en een representatief windklimaat. Deze berekening is zodanig opgezet dat daarmee de "lange-termijn gemiddelde" situatie wordt gesimuleerd.

In de onderstaande tabel is samengevat welke berekeningen voor welk aspect zijn gebruikt inclusief het doel van deze berekeningen.

Modelschematisering	ZUNO-grof	ZUNO-DD	
	Jaarberekeningen (9 jaren)	Jaarberekeningen (1988-1989)	14 daagse berekeningen (representatieve periode)
Waterbeweging	Variabiliteit	Controle effecten	Effecten Maasvlakte 2
Slib	-	Variabiliteit en controle effecten	Effecten Maasvlakte 2
Nutriënten	-	Variabiliteit en controle effecten	Effecten Maasvlakte 2
Vislarven	Variabiliteit en gevoeligheidsanalyses	Effecten Maasvlakte 2 en vergelijking met ZUNO-grof	-

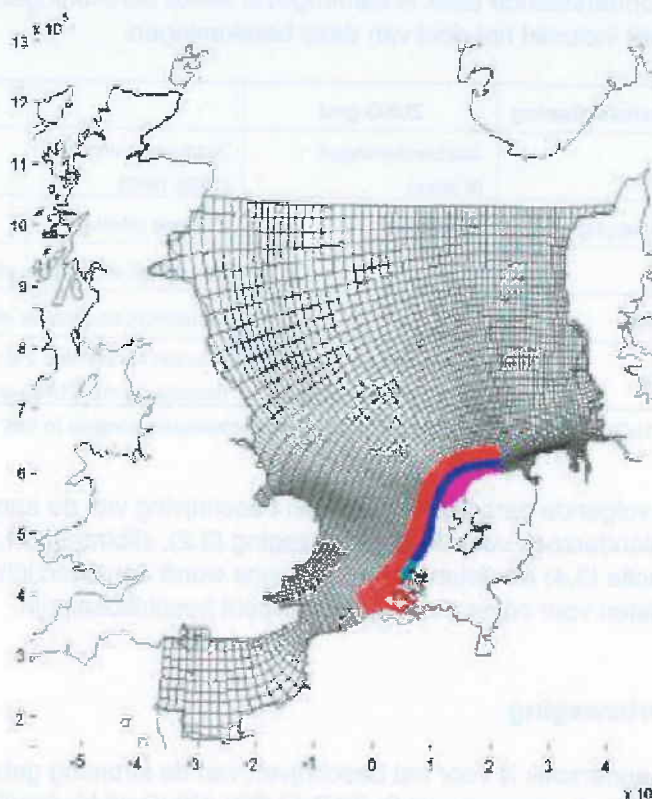
Tabel 1: Overzicht van de inzet van de modelschematiseringen in het modelonderzoek.

In de volgende paragrafen volgt een beschrijving van de aanpak en aannamen in het modelonderzoek voor de waterbeweging (3.2), slibtransport (3.3), nutriënten en primaire productie (3.4) en vislarven (3.5). Tevens wordt een overzicht gegeven van de recente resultaten voor zover deze op dit moment beschikbaar zijn.

3.1 Waterbeweging

In dit onderzoek is voor het beschrijven van de stroming gebruik gemaakt van het state-of-the-art stromingsmodel Delft3D-FLOW (WL|Delft Hydraulics, 2001). Dit model beschrijft de driedimensionale waterbeweging op basis van de ondiepwater-vergelijkingen in combinatie met een $k-\epsilon$ model voor turbulentie. Het model maakt gebruik van een curvilineair rooster om veranderingen in de geometrie zo goed mogelijk te volgen. Tevens is het mogelijk om met behulp van domeindecompositie op bepaalde plaatsen in het rooster een hogere resolutie te hanteren. In de onderstaande figuur is het curvilineaire rooster van het ZUNO-DD model voor de zuidelijke Noordzee weergegeven inclusief de domeinen langs de Nederlandse kust met een hogere resolutie. Een reeks van modelstudies voor verschillende gebieden wijst uit dat dit model in staat is om de complexe driedimensionale patronen van de stroming en de zoet-zoutverdeling ten gevolge van het getij, de rivierafvoer en de wind adequaat te beschrijven voor een heel scala van condities.

Naast de stroming wordt voor de westelijke Waddenzee ook de golfwerking gemodelleerd. Hiervoor wordt Delft3D-WAVE toegepast (i.e. SWAN) (WL|Delft Hydraulics, 2000). Dit model bevat de huidige stand van de kennis met betrekking tot de groei, voortplanting en dissipatie van golven in ondiep water. Het model berekent de veranderingen in de golfkarakteristieken (bijv. golfhoogte, golfperiode) op basis van een energiebalansbenadering waarin processen zoals windgroei, refractie, breking, whitecapping, en golf-golf-interactie (triads, quadruplets) een rol spelen.



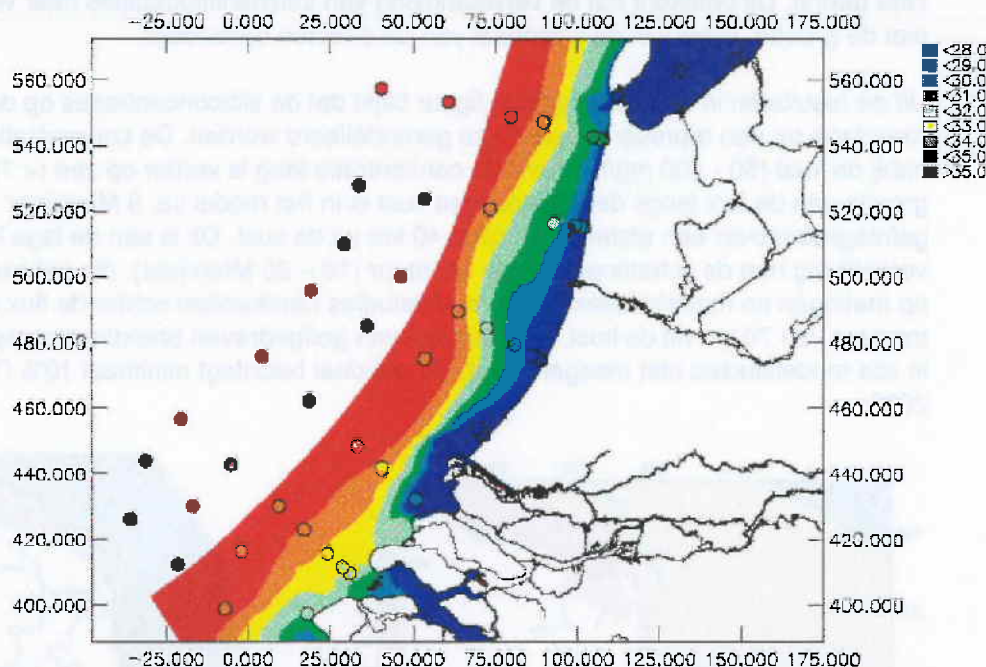
Figuur 6: Curvilineair rooster van het Zuidelijke Noordzee model langs de Nederlandse kust met domein decompositie (ZUNO-DD).

De resultaten van de representatieve 14-daagse berekening en de jaarberekening met ZUNO-DD voor de huidige situatie geven het volgende beeld:

- **Getijvoortplanting:** De getijvoortplanting langs de Nederlandse kust en in de Waddenzee wordt door het model goed gereproduceerd. De fout in de amplitude en fase van de belangrijkste componenten (M_2 , S_2 , N_2 , O_1 en M_4) is beperkt. Bij de M_2 -component is de rms-waarden van amplitudedefout 2 cm (1%) voor de Hollandse kustzone en 5 cm (3%) voor de Waddenzee.
- **Zoet/zout patronen:** Het grootschalige zoet/zoutpatroon komt redelijk goed overeen met de lange-termijn gemiddelde situatie voor de Hollandse kust op basis van metingen (zie Figuur 7). Zowel voor de 14-daagse als voor de jaarberekening voorspelt het model een iets te laag zoutgehalte voor de Hollandse kust (ca. 1 ppt).
- **Restdebieten:** In de jaarberekening is het restdebiet door Het Kanaal ca. 70.000 m^3/s . Het netto restdebiet door Het Kanaal in de 14-daagse berekening is ca. 170.000 m^3/s . Dit laatste resultaat is relatief hoog in vergelijking met schattingen op basis van metingen, terwijl de jaarsom binnen de range van de metingen valt (50.000 – 150.000 m^3/s). Het restdebiet door het Marsdiep wijkt af van de metingen in zowel de jaarsom als de 14-daagse berekening. De langjarige metingen laten een export zien van ca. -2500 m^3/s . Het model geeft een verwaarloosbaar restdebiet bij de 14-daagse berekening en een restdebiet van ca. -500 m^3/s bij de jaarsom van 1988/1989.

- **Reststroming:** In een raai bij Noordwijk zijn de reststroomsnelheden in detail vergeleken met metingen. De grootte en de richting van deze snelheden nabij het wateroppervlak en nabij de bodem komen goed met elkaar overeen. Langs de Hollandse kust is de netto stroming noordoostwaarts gericht met een reststroomsnelheid van 5 – 10 cm/s. Nabij de bodem is de stroming naar de kust toe gericht en ca. 0 – 5 cm/s groot.

Samengevat kan geconcludeerd worden dat zowel de jaarberekening als de representatieve 14-daagse berekening de waterbewegingskarakteristieken goed reproduceert. Met name het netto restdebiet door het Marsdiep in de 14-daagse berekening is een punt van zorg. Dit heeft geen consequenties voor de effectberekeningen op de Noordzee, en vermoedelijk zijn de gevolgen voor het transport van slib en nutriënten richting de Waddenzee ook beperkt. Om deze vermoedens te onderbouwen worden de gevolgen van deze fout voor de resultaten in de Waddenzee voor slib en nutriënten nader onderzocht. Voor vislarven heeft de fout in het restdebiet geen consequenties omdat hiervoor alleen jaarberekeningen gebruikt worden.



Figuur 7: Vergelijking tussen saliniteit nabij het oppervlak op basis van het model en de meting. De meting is weergegeven met de bolletjes. Het modelresultaat betreft een gemiddelde over een volledige doodtij-springtij cyclus.

Met betrekking tot de effecten van de landaanwinning Maasvlakte 2 blijkt uit de 14-daagse effectberekeningen het volgende. De effecten op het saliniteitsgehalte langs de Noordzee kustzone zijn zeer klein voor zowel het Referentieontwerp II (GAB) als de Doorsteekvariant. De verhogingen/verlagingen zijn maximaal ca. 1 ppt ten opzichte van een achtergrondsaliniteit van ca. 25 - 35 ppt.

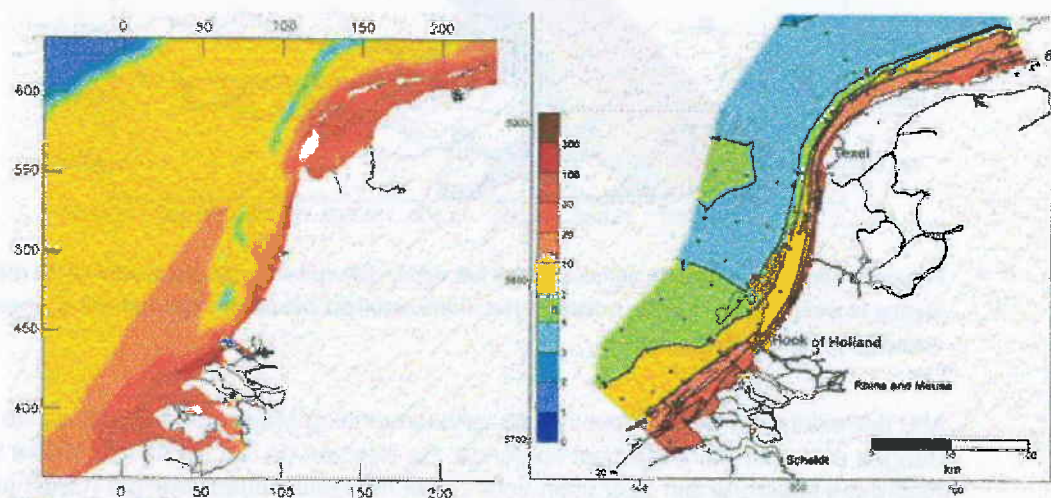
3.2

Slibtransport

Voor het slibtransport is gebruik gemaakt van DELWAQ-SED. Dit model simuleert het driedimensionale gedrag van het slib in de waterkolom en op de bodem. Sediment transportprocessen, zoals verticale menging in de waterkolom en de uitwisseling van sediment met de bodem worden in rekening gebracht. Typische processen zoals flocculatie en consolidatie worden niet expliciet in rekening gebracht, maar zijn empirisch meegenomen via de kalibratieparameters.

Een belangrijke aanname in de slibmodellering is dat het effect van de water-bodemuitwisseling ten gevolge van seizoensvariaties niet is meegenomen. De kennis over deze tijdelijke berging en opwoeling van slib uit de bodem is beperkt en de huidige modellen zijn nog niet in staat deze uitwisselingsprocessen op een goede manier te beschrijven. Uit diverse slibstudies is bekend dat in de werkelijkheid het slib soms tijdelijk geborgen wordt in de Noordzee, maar dat bij stormen deze slibhoeveelheden weer vrij komen voor transport. De netto sedimentatie van slib op de Noordzee bodem is zeer gering. Dit betekent dat de verwaarlozing van seizoensfluctuaties naar verwachting niet de grootte, maar wel de tijdschaal van de effecten beïnvloedt.

Uit de resultaten in de onderstaande figuur blijkt dat de slibconcentraties op de Noordzee op een representatieve wijze gemodelleerd worden. De concentratie is hoog nabij de kust (50 - 100 mg/l), terwijl de concentratie laag is verder op zee (< 10 mg/l). De grootte van de flux langs de Nederlandse kust is in het model ca. 8 Mton/jaar geïntegreerd over een afstand van circa 40 km uit de kust. Dit is aan de lage kant in vergelijking met de schattingen uit de literatuur (10 – 25 Mton/jaar), die gebaseerd zijn op metingen en modelstudies. Deze modelstudies berekenden echter de flux over een transect van 70 km uit de kust. Het aandeel van golfgedreven brandingstransport wordt in alle modelstudies niet meegenomen. Dit aandeel bedraagt minimaal 10% (Torenga, 2002).



Figuur 8: Lange-termijn gemiddelde slibconcentraties op basis van de metingen (rechts) en op basis van de modelresultaten (links).

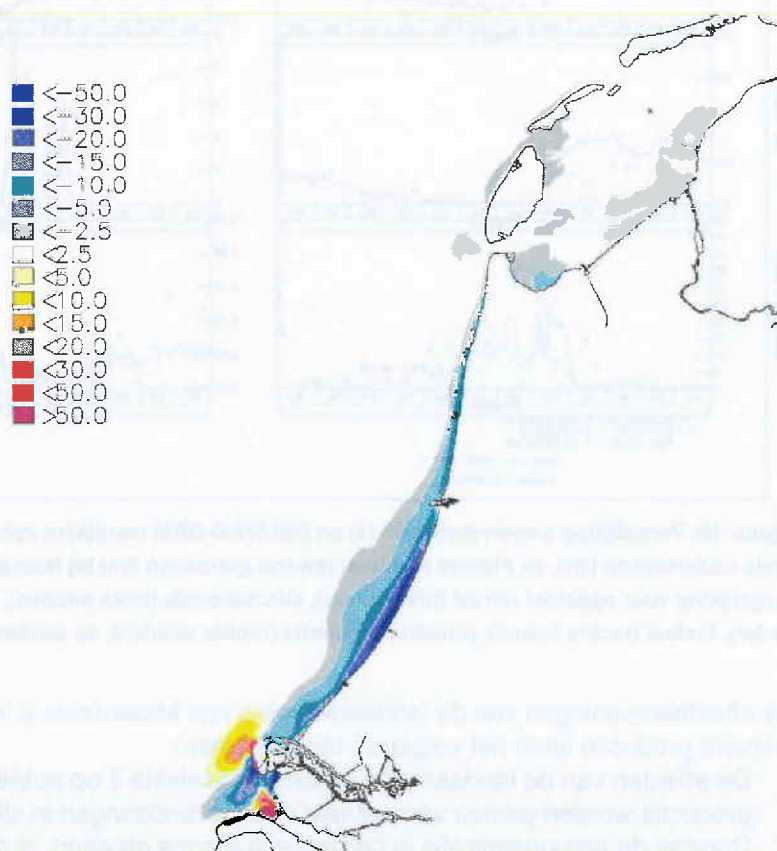
De resultaten van de effecten van de landaanwinning van Maasvlakte 2 voor slib laten het volgende beeld zien (zie ook Figuur 9 voor de Doorsteekvariant):

- De effecten van de landaanwinning van het Referentieontwerp II (GAB) zijn over een relatief grote afstand zichtbaar tot in de westelijke Waddenzee. In de westelijke Waddenzee neemt de gemiddelde slibconcentratie af met 7 mg/l. Ten opzichte van de gemiddelde slibconcentratie voor de autonome situatie van 40 mg/l is dit een afname van 17%. Voor de Noordzeekustzone is deze afname 13%. Deze afnames liggen binnen de door de PKB genoemde afname van 5 – 25%.
- De effecten van de Doorsteekvariant zijn veel beperkter dan die van het Referentieontwerp II (GAB). De berekende concentratieafname in de westelijke Waddenzee bedraagt 3 mg/l. Relatief gezien is dit een afname van 8%. Voor de Noordzeekustzone is de afname in de slibconcentratie 10%.

Nauwkeurigheid van bovengenoemde getallen wordt door experts ingeschat op +/- 50%.

De effecten van landaanwinning bij Maasvlakte 2 zijn conform de verwachting. Er is sprake van een verlaging van de slibconcentraties nabij de kust door de verbreding van de kusttrivier. Door deze verlaging vindt ook een verlaging van de flux plaats naar het noorden in de kustnabije zone (ca. 15 km). Dit wordt gedeeltelijk gecompenseerd door een hogere slibflux verder uit de kust. De verlaging van de slibflux heeft een afname van de slibconcentratie in de westelijke Waddenzee tot gevolg.

De modelresultaten laten zien dat de zandwinning ten opzichte van de landaanwinning een tegengesteld effect heeft in de Noordzeekustzone en de westelijke Waddenzee. De effecten van de landwinning zullen dus in ieder geval niet door de zandwinning versterkt worden.



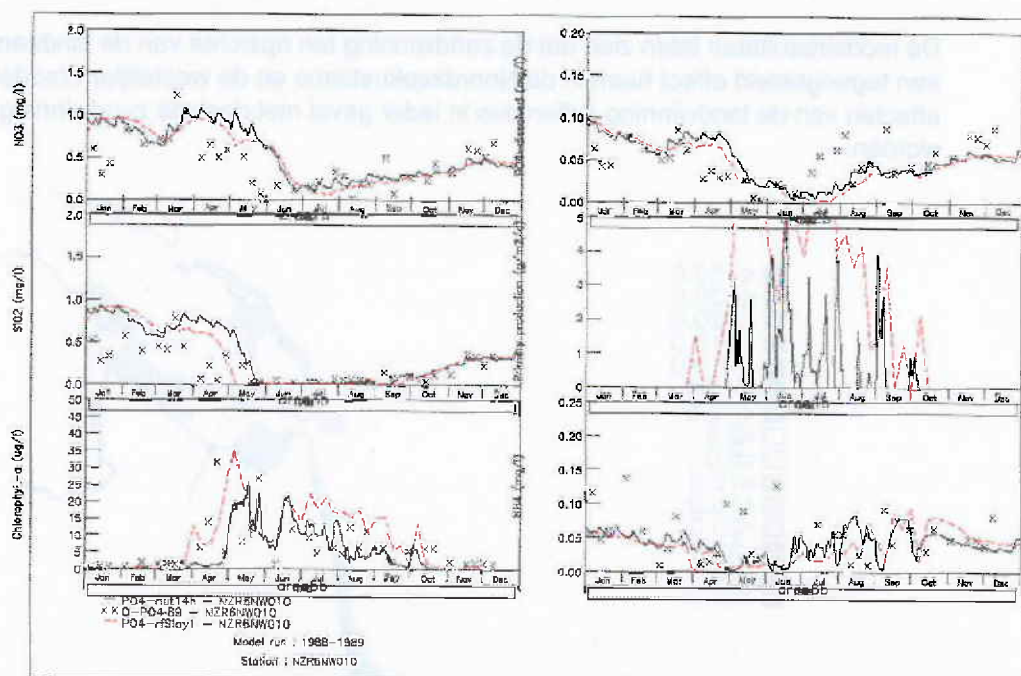
Figuur 9: Effecten van de Doorsteekvariant op de slibconcentraties in mg/l op basis van de

jaarberekening 1988-1989.

3.3 Nutriënten en primaire productie

Voor nutriënten en primaire productie wordt in dit onderzoek gebruik gemaakt van DELWAQ-GEM. Dit is een ecologisch model voor de cycli van koolstof, stikstof, fosfaat, silicaat en zuurstof inclusief primaire productie. Belangrijke processen zijn groei, sterfte, respiratie en sedimentatie van fytoplankton, mineralisatie, nitrificatie, denitrificatie, adsorptie en het begraven van organisch materiaal. De berekende fytoplanktonbiomassa en -samenstelling bestaan uit verschillende soorten en houdt rekening met variaties in interne N/P-ratio's.

Op dit moment zijn de kalibratie en validatie van het model afgerond. Uit de resultaten blijkt dat het model de variaties in de metingen goed reproduceert (zie onderstaande figuur). Uit dit figuur blijkt ook dat de resultaten van het model in lijn zijn met de metingen en de eerdere resultaten van Flyland.



Figuur 10: Vergelijking tussen metingen (x) en DELWAQ-GEM resultaten van modelrun ZUNO-DD (rode onderbroken lijn), en Flyland resultaat (zwarte getrokken lijn) bij Noordwijk 10. Het betreft een vergelijking voor opgelost nitraat (linksboven), siliciumoxide (links midden), chlorophyll-a (links onder), fosfaat (rechts boven), primaire productie (rechts midden), en ammonium (rechtsonder).

De effectberekeningen van de landaanwinning van Maasvlakte 2 voor nutriënten en primaire productie laten het volgende resultaat zien:

- De effecten van de landaanwinning van Maasvlakte 2 op nutriënten en primaire productie worden primair veroorzaakt door veranderingen in slibconcentraties. Doordat de slibconcentratie in de nabije kustzone afneemt, is er in deze zone sprake van minder lichtlimitatie. In het voorjaar wanneer door het lengen van de dagen de hoeveelheid licht toeneemt, leidt dit tot een kleine verschuiving in de tijd van de

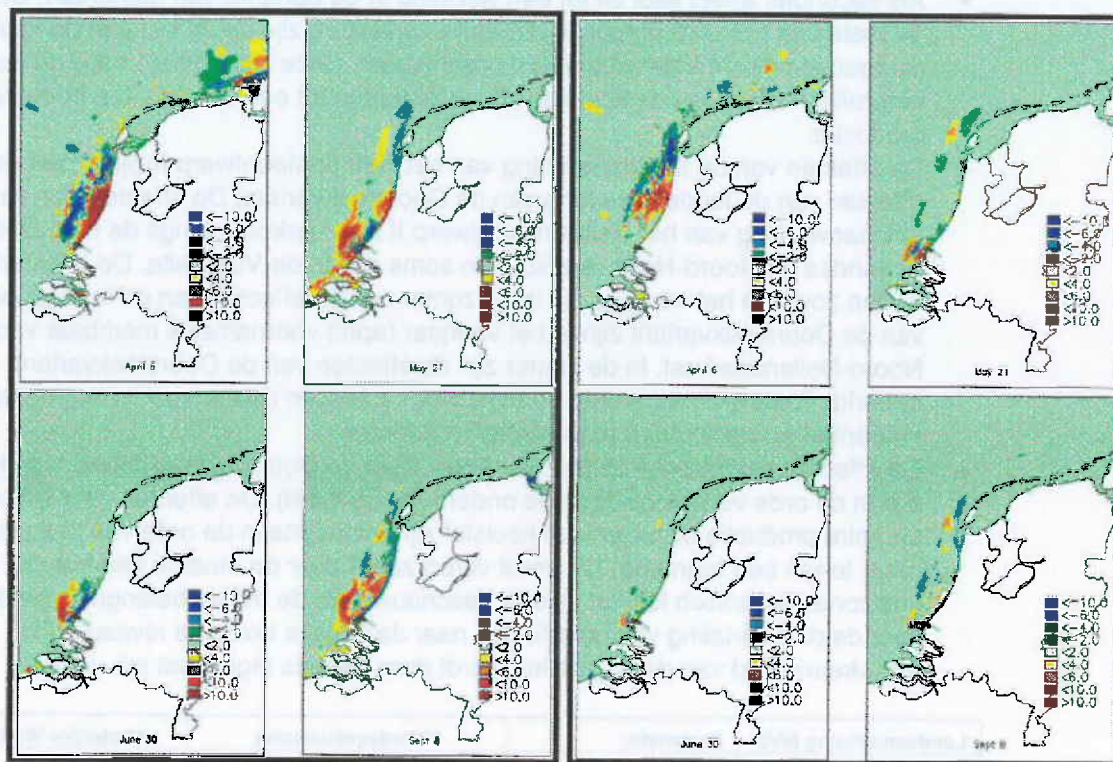
voorjaarsbloei. Op locaties waar minder slib is, is er vroeger in het jaar voldoende licht beschikbaar om de voorjaarsbloei te initiëren.

- Als secundair effect leidt dit tot een wijziging in de opname van nutriënten. Doordat de mate van primaire productie ruimtelijk verandert, zijn op verder van de kust gelegen locaties minder nutriënten beschikbaar. Deze zijn immers nabij de kust al verbruikt. Verder van de kust kan dit lokaal leiden tot een afname van primaire productie.
- De effecten van de landaanwinning van het Referentieontwerp II zijn groter dan de effecten van de landaanwinning van de Doorsteekvariant. De effecten van de landaanwinning van het Referentieontwerp II zijn merkbaar langs de hele Zuid-Hollandse en Noord-Hollandse kust en soms ook in de Voordelta. De effecten treden zowel in het voorjaar als in de zomer op. De effecten van de landaanwinning van de Doorsteekvariant zijn in het voorjaar (april) voornamelijk merkbaar voor de Noord-Hollandse kust. In de zomer zijn de effecten van de Doorsteekvariant beperkt. Tevens treedt er een verschuiving op tussen de aanvoer in opgeloste nutriënten en particuliere (organische) nutriënten.
- De effecten van zowel Referentieontwerp II als de Doorsteekvariant op nutriënten zijn in de orde van procenten (zie onderstaande tabel). De effecten voor Chlorofyl-a, primaire productie en organisch koolstof zijn eveneens in de orde van procenten maar tonen een toename. Dit wordt veroorzaakt door de afname van het slib in de kustzone. Organisch koolstof wordt beschouwd als de meest belangrijke parameter voor de doorvertaling van de effecten naar de hogere trofische niveau's. De nauwkeurigheid van deze getallen wordt door experts ingeschat op +/- 50%.

Landaanwinning MV2	Parameter	Noordzeekustzone	Westelijke Waddenzee
Referentieontwerp II	Totaal fosfor	-1%	-3%
	Totaal stikstof	-3%	-2%
	Chlorofyl-a	+8%	+2%
	Primaire productie	+5%	+5%
	Organisch koolstof	+4%	+4%
Doorsteekvariant	Totaal fosfor	-1%	-2%
	Totaal stikstof	-2%	-1%
	Chlorofyl-a	+2%	0%
	Primaire productie	+5%	+1%
	Organisch koolstof	+2%	+1%

Tabel 2: Jaargemiddelde relatieve veranderingen in de Noordzeekustzone en de westelijke Waddenzee voor totaal fosfaat, totaal nitraat, chlorofyl-a, primaire productie en organisch koolstof ten gevolge van landaanwinning Maasvlakte 2.

Momenteel wordt gewerkt aan een verdere kwantificering en kwalificatie van de effecten van de zandwinning ten behoeve van Maasvlakte 2 op nutriënten en primaire productie. De eerste modelresultaten laten zien dat de zandwinning een tegengesteld effect heeft ten opzichte van de landaanwinning in de Noordzeekustzone en westelijke Waddenzee. De effecten van de landwinning zullen dus in ieder geval niet door de zandwinning versterkt worden.



Referentieontwerp II

Doorsteekvariant

Figuur 11: Effect van de landaanwinning van het Referentieontwerp II en van de Doorsteekvariant op chlorofyl-a. Per kader wordt het momentane verschil van de chlorofyl-a-concentratie (in $\mu\text{g/l}$) op vier verschillende tijdstippen getoond. Een negatieve waarde geeft aan dat chlorofyl-a in de situatie met de betreffende landaanwinning afneemt ten opzichte van de situatie zonder de landaanwinning. Een positieve waarde geeft aan dat chlorofyl-a juist toeneemt.

3.4 Vislarven

In dit onderzoek wordt voor vislarven gebruik gemaakt van het modelinstrumentarium Delft3D-WAQ. In een speciale modelapplicatie "vislarvenmodel" wordt het larvale transport van haring, tong en schol berekend op basis van fysische (bijv. getijstrooming, realistische windforcering) en biologische mechanismen (bijv. soort-specifiek, getij-gerelateerd gedrag). Een eenvoudige versie van deze modelapplicatie bestond reeds, maar is drastisch uitgebreid in deze studie. Hiervoor is gebruik gemaakt van de nieuwste inzichten in de literatuur en bij experts, recent uitgewerkte veldgegevens (o.a. van RIVO-surveys, Balgzand-NIOZ-data), nieuwe modelleringstechnieken met realistische windforcering in het hydrodynamisch model, en het beschouwen van jaarlijkse variaties.

In het kader van het modelonderzoek is een uitgebreid literatuuronderzoek uitgevoerd naar haring als onderbouwing voor het model voor haringlarven (Dicky-Collas, 2005). De onderstaande tekst is overgenomen uit deze rapportage en geeft een samenvatting van dit literatuuronderzoek. Het transport van haringlarven is, na een korte demersale (yolk-sac) fase, passief pelagisch, al migreren de larven wel op en neer (vertikaal) met een dag-nacht ritmiek. Veldstudies hebben aangetoond dat deze verticale migraties gerelateerd zijn aan de verspreiding van het zoöplankton. De amplitude van de verticale migraties neemt toe naarmate de larven groter worden, en de groeisnelheid van larven wordt door temperatuur bepaald. In het model is het verticale migratiegedrag en de verandering hierin t.g.v. groei opgenomen. De paaiplaatsen in de zuidelijke Noordzee zijn in het model zo realistisch mogelijk nagebootst.

Samenvatting "Desk study on the transport of larval herring in the Southern North Sea (Downs herring)"

De huidige kennis over de driftpatronen en het gedrag van larvale haring is onderzocht, waarbij gekeken is naar kanaalharing (Downs herring) en het ontwikkelen van een model om larvale driftpatronen te beschrijven. Kanaalharing is het deel van de Noordzee haringpopulatie dat in het zuidelijk deel van de Noordzee en het Kanaal paait. Over het algemeen drijven larvale kanaalharingen oostelijk richting de Duitse Bocht en het Skagerrak, maar dit is afhankelijk van de zeestromen. Het is mogelijk om het algemene traject te modelleren dat larvale kanaalharing afleggen, maar jaarlijkse variaties hierin zijn moeilijk te modelleren. In sommige jaren komen de larven en post-larven dicht bij de Nederlandse kust (gegevens afkomstig van surveys). Gedurende deze levensfase (metamorfose van larve naar jonge haring) wordt de jaarklassterkte bepaald. De larven vertonen verticale migratie gedurende de groei en beginnen na de metamorfose met samscholen. In de wetenschappelijke literatuur is geen bewijs gevonden dat gerichte bewegingen van larven worden veroorzaakt door bepaald gedrag ten gevolge van omgevingsfactoren als zoutgehalte of diepte. Op dit moment is in de literatuur geen werk beschikbaar over veranderingen in de larvale driftpatronen door menselijk ingrijpen en de gevolgen hiervan op de productiviteit van kanaalharing en op de visserij.

De eieren en vroege larvale stadia van tong en schol worden passief pelagisch getransporteerd. De late larvale en vroege juveniele stadia vertonen waarschijnlijke verticale migraties gerelateerd aan de tijfase. Dit zogenaamde STST-gedrag ("selective tidal stream transport") wordt vermoedelijk getriggerd door saliniteitsverschillen en diepte. Zowel het mechanisme als de triggers zijn in het vislarvenmodel geïmplementeerd. Omdat sommige experts van mening zijn dat platvislarven een fase kennen met passief demersaal transport in plaats van STST zijn beide opties afzonderlijk gemodelleerd zodat een vergelijking mogelijk is. De duur van de

verschillende stadia is temperatuur-afhankelijk, hetgeen ook opgenomen is in het model. De groeiparameters zijn gekalibreerd met otolietgegevens van Balgzand.

Met het vislarvenmodel zijn diverse gevoeligheidsanalyses uitgevoerd met ZUNO-grof. Uit de berekeningen blijkt dat natuurlijke jaar-tot-jaar variaties in de waterbeweging op de Noordzee een forse impact hebben op het transport van larven richting de Waddenzee. In sommige jaren bereiken relatief veel larven de Waddenzee, terwijl in andere jaren er nauwelijks larven de Waddenzee bereiken. Verder blijkt uit de berekeningen van de huidige situatie dat het percentage haring- en tonglarven dat in de Nederlandse Waddenzee en de aangrenzende kustzone komt klein is ten opzichte van de totale populatie in de Noordzee (orde 0.5-7%). Van de Zuidelijke Bocht paaipopulatie van schol bereikt in sommige jaren een relatief groot deel van de larven de Waddenzee (22-30%).

Bij de analyse van de effectberekeningen wordt gekeken naar twee parameters:

- "Delivery rate": dit percentage geeft aan hoeveel larven van de totale populatie na de transport fase daadwerkelijk de kinderkamers hebben bereikt. Daarbij wordt in de analyse van de resultaten onderscheid gemaakt tussen een aantal deelgebieden (bijv. Noordzee kustzone, westelijke Waddenzee etc.).
- "Timing": de timing geeft aan op welk moment de larven een bepaald gebied bereiken. Net als bij de vorige parameter kan dit, waar dat wenselijk is, voor elk deelgebied afzonderlijk bepaald worden.

Met behulp van deze twee parameters kan een goed beeld gevormd worden welke effecten de landaanwinning heeft op het larventransport.

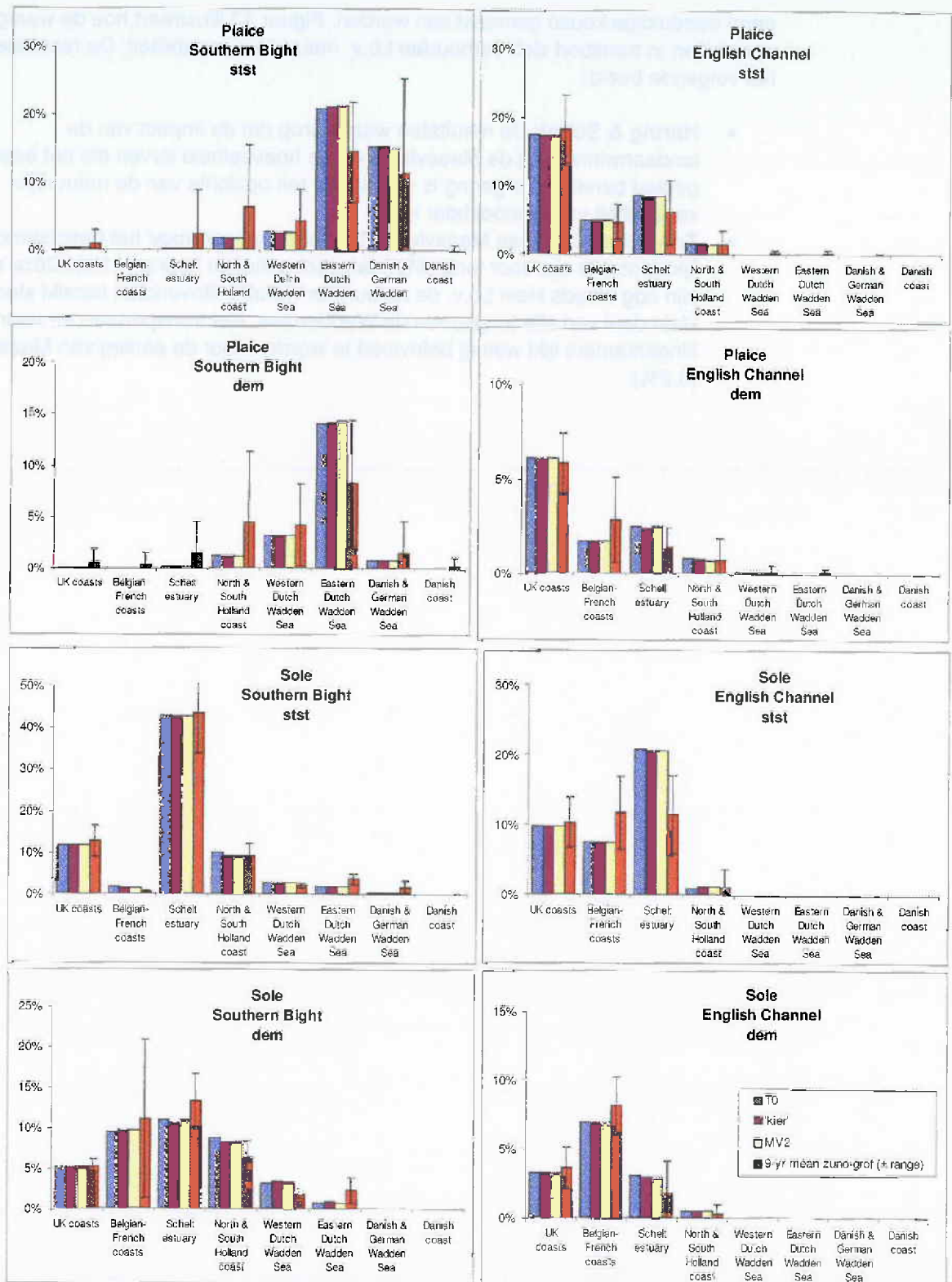
Vislarven	Natuurlijke jaar-tot-jaar variabiliteit	Huidige situatie	"Kier"	"Kier met MV2"	Effect MV2 in vergelijking met "Kier"	Jaarlijkse variatie
Haring	0.5 - 7%	1.2%	1.2%	1.2%	-1%	170%
Schol (STST gedrag)	3 - 15%	11.7%	11.8%	11.9%	0%	126%
Schol (Demersal gedrag)	2 - 11%	8.9%	8.8%	8.9%	1%	138%
Tong (STST gedrag)	1.2 - 2.3%	1.4%	1.4%	1.34%	-6%	58%
Tong (demersaal gedrag)	0.7 - 2.0%	1.4%	1.4%	1.34%	-6%	93%

Tabel 3: Delivery rates van vislarven naar het beschermde gebied in de huidige situatie (T0), bij autonome ontwikkeling zonder ('kier') en met Doorsteekvariant (MV2). Bij tong en schol is onderscheid gemaakt tussen de situatie met selectief getijden transport ('stst') en passief demersaal gedrag ('dem'). Voor alle soorten zijn deze berekeningen gebaseerd op de zuidelijke paaipopulaties (Engelse Kanaal en Zuidelijke Bocht).

In Tabel 3 is de hoeveelheid vislarven die het beschermde gebied bereikt weergegeven zonder en met de Doorsteekvariant. Voor tong en schol is onderscheid gemaakt tussen de situatie met en zonder STST-gedrag om op basis van de wetenschappelijke literatuur

geen eenduidige keuze gemaakt kan worden. Figuur 12 illustreert hoe de waargenomen verschillen in transport zich verhouden t.o.v. natuurlijke variabiliteit. De resultaten geven het volgende beeld:

- **Haring & Schol:** De resultaten wijzen erop dat de impact van de landaanwinning bij de Maasvlakte op de hoeveelheid larven die het beschermde gebied bereikt zeer gering is (< 1%), en ten opzichte van de natuurlijke variabiliteit verwaarloosbaar is.
- **Tong:** Het effect van Maasvlakte 2 op het transport naar het beschermde gebied lijkt groter te zijn voor tong (6%) dan voor schol en haring (<1%). Deze effecten zijn nog steeds klein t.o.v. de natuurlijke variatie. Bovendien bereikt slechts een klein deel van alle tonglarven de Waddenzee. Het transportsucces naar alle kinderkamers lijkt weinig beïnvloed te worden door de aanleg van Maasvlakte 2 (0.2%).



Figuur 12: Delivery rates van schof- en tonglarven naar verschillende gebieden in de huidige situatie (T0), bij autonome ontwikkeling zonder ('kier') en met Maasvlakte 2 (MV2), en gemiddeld ($\pm$ range) voor 9 jaren. De larven zijn afkomstig van de Engelse Kanaal paaigronden of de Zuidelijke Bocht paaigronden. Er is ook onderscheid gemaakt tussen de situatie met selectief getijdentransport ('stst') en met passief demersaal transport ('dem').

De "timing" van intrek in de Waddenzee is bekeken op een aantal locaties (o.a. Marsdiep). In sommige gevallen verschilt de hoogte van de piek in de intrek van larven enigszins, maar de timing van de piek verschilt weinig tussen de scenario's. Samenvattend kan geconcludeerd worden dat de impact van de Doorsteekvariant op de hoeveelheid vislarven die de Noordzeekustzone en Waddenzee bereikt en het moment dat de vislarven in deze gebieden arriveren, verwaarloosbaar is.

Bovenstaande effecten zijn doorgerekend voor de Doorsteekvariant en daarmee vergelijkbaar met Referentieontwerp I ('GAN'), zie Figuur 1. Voor Referentieontwerp II ('GAB') zijn geen modelresultaten beschikbaar. Uit de modelsimulaties van de Doorsteekvariant komt naar voren dat het transport van vislarven richting de Waddenzee sterk wordt gestuurd door het Kanaaldebiet en grotendeels plaatsvindt buiten de kustrivier. Aangezien de landaanwinning van Maasvlakte 2 alleen de lokale waterbeweging rondom de Rijn-Maasmonding verstoort, en op grotere schaal de waterbeweging dicht langs de Hollandse kust beïnvloed, is het aannemelijk dat de effecten van Referentieontwerp II ('GAB') op het transport van vislarven ook verwaarloosbaar zijn. Daarnaast is de verwachting dat zandwinning geen effect heeft op vislarven omdat de grootschalige waterbeweging in de zuidelijke Noordzee niet beïnvloed wordt door deze activiteit.

4 DISCUSSIE

4.1 Inleiding

In de vorige hoofdstukken is de aanpak en de resultaten van de effectbepaling besproken op het gedrag van slib, nutriënten/primaire productie en vislarven ten gevolge van Maasvlakte 2. Dit modelonderzoek is uitgevoerd in het kader van de Passende beoordeling Waddenzee met state-of-the-art modellen. Dit hoofdstuk geeft een terugblik op dit onderzoek en identificeert de geboekte vooruitgang en de bestaande onzekerheden in de onderzoeksaanpak en de resultaten.

4.2 Wetenschappelijke vooruitgang

In het onderzoek is op bepaalde aspecten vooruitgang geboekt en zijn grenzen verlegd op wetenschappelijk gebied. Het betreft de volgende onderdelen:

- **“Zuidelijke Noordzee model”**: In het modelonderzoek is een nieuw 3D-model ontwikkeld voor de Zuidelijke Noordzee. Dit model bestaat uit 8 roosterdomeinen met een zeer hoge resolutie langs de Nederlandse kust en in de Waddenzee. Op deze manier kunnen de processen in de kusttrivier met een groot detailniveau beschreven worden. Ook kan een relatief kleine ingreep zoals de aanleg van Maasvlakte 2 op een accurate manier beschreven worden.
- **“Jaarberekeningen”**: In dit onderzoek zijn met het hierboven beschreven Zuidelijke Noordzee model unieke effectberekeningen uitgevoerd voor het jaar 1988/1989. Deze berekeningen zijn 3D en beslaan een volledig jaar met actuele forcering van wind, getij en rivierafvoer. Vanwege de hoge resolutie in de kustzone is het gedrag in de kusttrivier met een hoog detailniveau gemodelleerd. Er zijn drie jaarberekeningen uitgevoerd op het cluster van WL|Delft Hydraulics met 12 processoren, een doorlooptijd van ca. 3 weken, en een benodigde opslagruimte van ca. 600 Gigabyte aan schijfruimte.
- **“Vislarvenmodel”**: In dit onderzoek is het bestaande vislarven model drastisch uitgebreid. In dit model wordt rekening gehouden met het gedrag van vislarven dat wordt gestuurd door zowel hydrodynamische (bijv. zout, stroming) en biologische factoren (bijv. larvale groei). Met dit model is het transport van vislarven in de Zuidelijke Noordzee gesimuleerd. Voor het eerst is 9 jaar doorgerekend om variabiliteit tussen verschillende jaren na te gaan. Deze verschillen kwamen goed overeen met de beschikbare data.

De bovengenoemde vooruitgang zal in diverse wetenschappelijke publicaties gepresenteerd worden.

4.3 Beperkingen en onzekerheden in het modelonderzoek

Naast de wetenschappelijke vooruitgang zijn voorafgaand aan en tijdens dit onderzoek ook bepaalde keuzes gemaakt omwille van de beschikbare kennis en de tijd. Hierdoor zijn de resultaten van het onderzoek zelf en de interpretatie daarvan inherent onzeker en geven aanleiding tot discussie. Per onderdeel van het modelonderzoek zijn belangrijkste discussiepunten samengevat in de komende subparagrafen.

4.3.1 Algemeen

“Representativiteit 1988/1989”¹: Voor alle aspecten is dit jaar doorgerekend met de actuele meteo- en hydrodynamische condities om het effect van Maasvlakte 2 (Doorsteekvariant) te bepalen. Uit diverse datareeksen de Waddenzee blijkt dat rond dit jaar een trendbreuk in het systeem heeft plaatsgevonden ten gevolge van temperatuursprong. Daardoor is de keuze van dit specifieke jaar niet logisch. Belangrijk argument vóór de keuze van dit jaar is dat veel meetdata beschikbaar is om de numerieke modellen aan te sturen en te valideren. Voor andere jaren is deze data niet beschikbaar of niet direct bruikbaar. Daarnaast worden de resultaten in relatieve zin gebruikt, en niet in absolute zin waardoor de representativiteit van dit specifieke jaar minder belangrijk is. Tenslotte is het jaar november 1988 – november 1989 qua meteo condities en hydrodynamica (bijv. rivierafvoeren) een redelijk gemiddeld jaar.

“Verschil in effecten tussen slib en nutriënten”: Uit de effectbepaling komt naar voren dat de effecten op het nutriënten richting de Waddenzee veel kleiner is dan voor slib ten gevolge van de aanleg van Maasvlakte 2. Een belangrijke reden voor dit verschil is dat de onderliggende processen die van invloed zijn op het transport van slib en nutriënten deels anders zijn. In tegenstelling tot nutriënten is de slibverdeling niet uniform over de waterkolom, maar is de slibconcentratie hoger nabij de bodem. In combinatie met de reststroming ten gevolge van de zoet/zoutgradiënten is er hierdoor sprake van een netto transport van slib naar de kust toe. Het resultaat is het typische slibpatroon met hoge slibconcentraties dichtbij de kust en lagere concentraties verder op zee. De landaanwinning verandert de zoet/zoutverdeling en het reststroompatroon langs de Hollandse kust. Het is derhalve logisch dat slib in sterkere mate beïnvloed wordt door Maasvlakte 2 dan het transport van nutriënten.

“Effectbepaling vislarven voor Referentieontwerp II (‘GAB’)”: Voor het effect van Referentieontwerp II (‘GAB’) op het transport van vislarven zijn geen modelberekeningen gemaakt, maar is een inschatting gemaakt op basis van expert judgement. In de onderliggende rapportage voor vislarven wordt de verwachting uitgesproken dat – net als voor de Doorsteekvariant – het effect verwaarloosbaar is. Achterliggende gedachte is het Kanaaldebiet de belangrijkste drijvende kracht is achter het transport van vislarven door de Zuidelijke Noordzee richting de Waddenzee en deze wordt niet beïnvloed door Maasvlakte 2. Daarnaast vindt het transport van larven niet plaats heel dicht langs de kust, maar wat verder van de kust af. Dit betekent dat – ook al zijn de effecten van Referentieontwerp II (‘GAB’) in de kustnabije zone op de waterbeweging iets groter – de effecten naar verwachting nog steeds verwaarloosbaar zullen zijn.

¹ Dit discussiepunt is op de workshops van spoor 2 aan de orde geweest en geuit door Alterra.

4.3.2 Hydrodynamica

“Verhoging waterstand bij Kanaalrand”: In de hydrodynamica berekeningen is ervoor gekozen om de gemiddelde waterstand bij de Kanaalrand met 10 cm te verhogen. Dit is gedaan om de hydrodynamica voor de Nederlandse kust (saliniteit, reststroming) beter te laten aansluiten bij de metingen. Het aanpassen van de waterstand op deze rand is gerechtvaardigd vanuit verschillend perspectief. Enerzijds is de precieze waarde van de gemiddelde waterstand ter plekke onbekend. Anderzijds is de focus in deze studie de Nederlandse kustzone. De verhoging is toegepast om voor het gebied van interesse de modelresultaten zo goed mogelijk te laten aansluiten bij de metingen.

“Restdebiet Marsdiep in 14-daagse berekening”²: Deze discussie is alleen relevant voor de effectbepaling van slib en nutriënten, omdat de 14-daagse berekening niet is gebruikt voor vislarven. Het restdebiet door het Marsdiep in de 14-daagse berekening wordt niet goed voorspeld: het restdebiet op jaarbasis is in het model ca. $0 \text{ m}^3/\text{s}$, terwijl de metingen aangeven ca. $-2000 \text{ m}^3/\text{s}$ (export). Er is veel inspanning gepleegd om dit goed te krijgen, maar zonder resultaat (zie hydrodynamica rapportage). Op basis van expert judgement wordt geconcludeerd dat een restdebiet dat meer in lijn is met de metingen waarschijnlijk geen invloed heeft op de effectbepaling voor slib en nutriënten.

“14-daagse windforcering”: De representatieve 14-daagse windforcering is gebaseerd op een zo goed mogelijke aansluiting bij de lange-termijn windstatistiek. Hoewel deze geselecteerde periode statistisch overeenkomt met de lange-termijn statistiek is de keuze gevoelig voor de precieze definitie van de statistische parameters die bij de selectie in beschouwing genomen worden. Omdat bekend is dat de hydrodynamica langs de Hollandse kust gevoelig is voor het opgelegde windklimaat zijn twee stappen ondernomen. Enerzijds is een aantal berekeningen uitgevoerd met andere 14-daags windklimaten uitgaande van andere definities van de statistische parameters. Op basis van deze berekeningen is geconcludeerd dat het originele 14-daagse windklimaat de beste overeenstemming geeft met de lange-termijn gemiddelde situatie in de Hollandse kustzone voor wat betreft saliniteit en reststroming. Tevens zijn ter controle jaarberekeningen uitgevoerd met actuele meteo-condities (i.p.v. representatieve meteo-condities). Uit de resultaten blijkt dat de jaarberekeningen en de 14-daagse berekeningen met het originele windklimaat qua effecten dezelfde richting op wijzen en qua grootte dezelfde resultaten opleveren.

“Saliniteitspatroon op de Noordzee en Waddenzee”: Het saliniteitspatroon op de Noordzee en in de Waddenzee wordt niet goed voorspeld door het hydrodynamische model. De saliniteit is langs de Hollandse kust en in de Waddenzee te laag (ca. 1 ppt). Het saliniteitsveld is een belangrijke indicator voor het reststroompatroon. Vergelijking met metingen van 1992 laat zien dat er afwijkingen zijn ten opzichte van de metingen. Het model voorspelt een iets grotere reststroming in noordelijke richting nabij het oppervlak en in kustwaartse richting nabij de bodem in vergelijking met de metingen. Voor effectberekeningen zijn dergelijke verschillen acceptabel aangezien alleen wordt gekeken naar het verschil tussen twee modelberekeningen.

² De problematiek van het restdebiet is uitgebreid bediscussieerd in de vergaderingen van het modelonderzoek en apart besproken met experts van RIKZ, WL en NIOZ.

4.3.3 Slibtransport

“Verwaarlozen van seizoensafhankelijke water-bodemuitwisseling”³: Een belangrijke aanname in het slibonderzoek is de verwaarlozing van seizoensafhankelijke bodem-wateruitwisseling. Dat betekent dat de berging van slib tijdens rustige (zomer) condities en het weer vrijkomen van slib tijdens ruwe (winter) condities in de zandige Noordzeebodem niet in de modellering zit. Belangrijk is daarbij te vermelden dat erosie en sedimentatie van slib op de bodem tijdens het getij wel meegenomen wordt. Reden van de genoemde verwaarlozing is dat op dit moment onvoldoende kennis en data beschikbaar is om dit fenomeen op een goede manier te modelleren en de parameters te calibreren/valideren. Voor de bepaling van de effecten van de landaanwinning is de huidige aanpak gerechtvaardigd aangezien de landaanwinning zelf alleen de waterbeweging beïnvloed.

“Keuze randvoorwaarden”: De randvoorwaarden voor het slibmodel zijn overgenomen uit de Flyland studie. Deze randvoorwaarden bepalen in sterke mate de grootte van de slibfluxen op de Noordzee. De randvoorwaarden zijn met veel onzekerheden omgeven. Uit een vergelijking blijkt dat de totale slibflux door het Kanaal en langs de Nederlandse kust ligt in de range van de gegevens uit de literatuur. Ondanks de onzekerheden in de randvoorwaarden kan dus gesteld worden dat de huidige keuze het best haalbare is op dit moment.

“Slibresultaten voor huidige situatie”: Het slibmodel geeft te hoge jaargemiddelde concentraties. Voor een winterbeeld zijn ze echter weer te laag. De slibfluxen langs de Nederlandse kust zijn echter aan de lage kant. Een mogelijke oorzaak zou kunnen zijn dat het effect van stormen met zeer hoge slibconcentraties hieraan ten grondslag ligt. Tijdens stormen is de verplaatsing van sediment heel groot. Het effect van stormen is echter verwaarloosd in deze studie (zie boven). Omdat in deze studie uiteindelijk gekeken wordt naar de relatieve effecten is de relatief lage slibflux en de relatief hoge slibconcentratie niet belangrijk.

“Kwantificeren van onzekerheden”: In de bespreking van de resultaten is aandacht besteed aan het kwantificeren van de bandbreedte van de resultaten. Voor slib is het kwantificeren van onzekerheden uitgevoerd door het vergelijken van de effectbepalingen op basis van de jaarberekening met realistische meteo- en hydrodynamische condities en de 14-daagse berekeningen met geschematiseerde condities. Uit deze vergelijking is gebleken dat de effecten voor slib ongevoelig zijn voor verschillen in forcering. Op basis van expert judgement is gezegd dat de onzekerheid rondom de resultaten +/- 50%. Dat getal is deels gebaseerd op ervaring en deels op kwantitatieve analyse in deze studie.

4.3.4 Nutriënten/primaire productie

“Slibconcentraties voor nutriëntberekeningen”: Omdat de berekende slibconcentraties te hoog waren t.o.v. de metingen zijn de slibconcentraties voor de

³ In het kader van de MER Aanleg wordt op dit moment nieuw onderzoek gedefinieerd om het effect van seizoensafhankelijke water-bodemuitwisseling mee te nemen in de modelberekeningen voor de zandwinning.

nutriënten- en primaire produktieberekeningen gehalveerd. De reden hiervoor is dat fouten in de slibconcentratie doorwerken in de resultaten van de nutriënten en primaire productie. Daarnaast zijn de stationaire slibconcentraties gemoduleerd met een sinus voor de seizoensvariatie en met een randomfunctie voor de windvariatie.

“Nutriëntenmodel is een 2DH-benadering”: Bij de nutriëntenmodellering is gebruik gemaakt van een 2DH-model (“diepte-gemiddeld”), terwijl de hydrodynamica en slib een 3D-model is gebruikt. Merk op dat het 3D-effect wel in het 2DH-model impliciet is meegenomen omdat zowel de hydrodynamica als het slib gebaseerd is op 3D-berekeningen. Voor nutriënten en primaire productie zijn de processen zodanig uniform verdeeld over de verticaal dat een 2DH-benadering voldoende is.

“Kwantificeren van onzekerheden”: Zie discussie over dit onderwerp bij slib.

4.3.5 Vislarven

“Effectbepaling met één specifiek jaar (1988/1989)”: De effectbepaling voor vislarven is gebaseerd op één berekening van het jaar 1988/1989 met en zonder Maasvlakte 2 met een fijn model (ZUNO-DD). Daarnaast is voor de huidige situatie zonder Maasvlakte 2 een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met 9 verschillende jaren met een grof model (ZUNO-grof). Gelet op de berekende variabiliteit tussen de verschillende jaren is het niet ondenkbaar dat ook de effecten voor verschillende jaren verschillend zijn. Reden om de effectbepaling te baseren op één jaarberekening met ZUNO-DD is dat de doorlooptijd meerdere jaarberekeningen niet toestond. Uit berekeningen met slib en nutriënten is naar voren gekomen dat het gebruik van een andere hydrodynamische forcering weinig invloed heeft op de relatieve effecten. Verder blijkt uit de resultaten voor vislarven dat het jaar 1988/1989 een redelijk gemiddeld jaar is. Op basis daarvan mag verwacht worden dat dat ook geldt voor het effect op vislarven bij gebruikmaking van andere jaren.

“Verwaarlozing van mortaliteit bij vislarven”: De berekeningen voor vislarven zijn doorgerekend zonder mortaliteit. Als de predatie verandert, bijvoorbeeld door een lager slibgehalte en een beter doorzicht en meer vangstsucces voor zichtjagers, is dat wellicht een extra effect dat meegenomen moet worden bij de berekening van het transportsucces. Het transportsucces van vislarven zou ook beïnvloed kunnen worden door de voedselbeschikbaarheid gerelateerd aan veranderingen in de productiviteit van het ecosysteem. Deze potentiële indirecte effecten van Maasvlakte 2 op het transportsucces van vislarven zijn niet meegenomen in het model. Experts verwachten date en verdere ontwikkeling van het vislarvenmodel de huidige conclusies met betrekking tot de effecten van Maasvlakte 2 op het transport van vislarven naar de Waddenzee niet veranderen.

4.4 Evaluatie

Tijdens de bijeenkomsten met experts is gediscussieerd over de vooruitgang en de beperkingen van de huidige effectbepaling met behulp van modellen. De vooruitgang met betrekking tot de zeer gedetailleerde modelschematisatie voor de Noordzee, het doorrekenen van een realistisch jaar in plaats van geschematiseerde meteo-condities

voor een 14-daagse periode, en het geavanceerde vislarvenmodel zijn wezenlijke stappen vooruit in deze kennisdomeinen. Naast de vooruitgang zijn ook de onzekerheden van de modelbenadering uitgebreid bediscussieerd. Uit deze discussie zijn als meest belangrijke onzekerheden naar voren gekomen:

- saliniteits- en reststroompatroon Noordzee
- seizoensafhankelijke water-bodemuitwisseling
- kwantificeren onzekerheden slib
- slibconcentraties in het nutriëntenmodel
- relatief beperkte hoeveelheid meetdata voor calibratie/validatie

Het wegnemen van deze onzekerheden en beperkingen is cruciaal om meer inzicht te verwerven in het gedrag van slib, nutriënten/primaire productie en vislarven in de Noordzee in het algemeen en in de kustrivier in het bijzonder. Ondanks de beperkingen in het modelonderzoek en de daarmee samenhangende onzekerheid in de modelresultaten is de verwachting dat meer inzicht de conclusies van deze studie niet wezenlijk zullen veranderen.

5

CONCLUSIE

Deze rapportage geeft een overzicht van de gevolgen van Maasvlakte 2 voor het transport van slib, nutriënten en vislarven in het kader van de Passende Beoordeling Waddenzee. Naast de resultaten van eerdere PMR-studies is recent een nieuw modelonderzoek gestart. Doelstelling van dit modelonderzoek is het kwantificeren en verklaren van de effecten op slib, nutriënten en primaire productie, en vislarven richting en in de Waddenzee ten gevolge van Maasvlakte 2 met alle beschikbare kennis en de meest geavanceerde hulpmiddelen. De verschillende landaanwinningvarianten van Maasvlakte 2 die zijn bestudeerd in dit onderzoek staan grafisch weergegeven in Figuur 1.

Op basis van de huidige stand van zaken concluderen wij het volgende:

- **Modelaankpak:** Binnen dit onderzoek wordt voor slib en nutriënten/primaire productie gebruik gemaakt van de best beschikbare modellen die op dit moment voorhanden zijn. Een belangrijke modelaankname bij deze onderdelen is dat het effect van golfwerking en de daarmee samenhangende seizoensafhankelijke water-bodemuitwisseling (bijv. t.g.v. stormen) niet is meegenomen voor de Noordzee. Het betreft hier een belangrijke kennislacune. Hiervoor ontbreekt op dit moment kennis en technisch gezien zijn dergelijke berekeningen te rekenintensief. Voor vislarven is op basis van literatuuronderzoek het bestaande vislarvenmodel uitgebreid om zoveel mogelijk inzichten over het gedrag van vislarven te verdisconteren. Tenslotte is bij de modelaankpak ervan uitgegaan dat er geen effecten zijn op de Oostelijke Waddenzee. De modelresultaten geven geen aanleiding om te veronderstellen dat deze aanname onterecht zou zijn.
- **Huidige situatie:** In grote lijnen laten de modelresultaten goede overeenkomsten zien met de werkelijkheid op basis van metingen. Bijvoorbeeld: de typische hoge slibconcentraties in de Hollandse kustzone worden door het model goed gereproduceerd. Tevens geven de modelresultaten voor de huidige situatie aan dat er sprake is van grote natuurlijke variabiliteit in de patronen en transporten van zwevende en opgeloste deeltjes. Deze grote variaties worden bevestigd door metingen. De modelresultaten geven op sommige punten ook afwijkingen te zien ten opzichte van de huidige situatie zoals de te zoete situatie in de Noordzee kustzone, het te kleine restdebet door het Marsdiep, en de te hoge slibconcentraties voor de Nederlandse kust.

Op basis van de resultaten kan het volgende geconcludeerd worden ten aanzien van de gevolgen van de landaanwinning van Maasvlakte 2 (zie Figuur 1):

- **Slib:** Voor de Doorsteekvariant geldt dat de gemiddelde slibconcentratie in de Westelijke Waddenzee afneemt met ca. 8% (met als ondergrens 5% en als bovengrens 15%) en met 10% (met als ondergrens 5% en als bovengrens 15%) voor de Noordzeekustzone. Voor Referentieontwerp II ('GAB') geldt dat de gemiddelde slibconcentratie in de Westelijke Waddenzee afneemt met ca. 17% (met als ondergrens 10% en als bovengrens 25%) en met 13% (met als ondergrens 5% en als bovengrens 20%) voor de Noordzeekustzone. De effecten van de landaanwinning van Referentieontwerp II ('GAB') zijn groter dan de effecten van de landaanwinning van de Doorsteekvariant.

- **Nutriënten:** Voor de Doorsteekvariant is het effect op de nutriënten in de Noordzeekustzone en de Westelijke Waddenzee -2% (bandbreedte 1 – 3%) . Voor Referentieontwerp II ('GAB') zijn deze veranderingen -3% (1 – 5%). Organisch koolstof wordt beschouwd als de meest belangrijke parameter voor de doorvertaling van de effecten naar de hogere trofische niveau's. Voor de Doorsteekvariant is het effect op het organisch koolstof in de Noordzeekustzone en de Westelijke Waddenzee +2% (bandbreedte 1 – 4%) respectievelijk +1% (bandbreedte 0.5 – 2%). Voor Referentieontwerp II ('GAB')B zijn deze veranderingen +4% (2 – 6%) in de Noordzeekustzone en +4% (2 – 6%) in de Westelijke Waddenzee. De effecten voor primaire productie liggen in dezelfde range. Voor chlorofyl-a geldt hetzelfde met uitzondering van de Noordzeekustzone voor Referentieontwerp II ('GAB') (+8% +/- 4%).
- **Vislarven:** De impact van de Doorsteekvariant op de hoeveelheid vislarven die de Noordzeekustzone en Waddenzee bereikt en het moment dat de vislarven in deze gebieden arriveren, is verwaarloosbaar. Voor Referentieontwerp II ('GAB') zijn geen modelberekeningen gemaakt, maar op basis van de beperkte effecten op de grootschalige waterbeweging wordt verwacht dat het effect van dit ontwerp op vislarven nog steeds verwaarloosbaar zal zijn.

Na uitvoering van het modelonderzoek is met de betrokken experts gediscussieerd over de aanpak en resultaten van deze effectbepaling met behulp van modellen. Naast de geboekte wetenschappelijke vooruitgang op diverse kennisgebieden zijn ook de beperkingen in de huidige modelbenadering en de daarmee samenhangende onzekerheden in de effectbepaling geïdentificeerd. Ondanks de onzekerheden is de verwachting dat meer inzicht de conclusies van deze studie met betrekking tot de effecten op slib, nutriënten en vislarven ten gevolge van de aanwezigheid van één van de Referentieontwerpen of de Doorsteekvariant niet wezenlijk zullen veranderen.

6

VERANTWOORDING

Deze rapportage is geschreven op basis van de resultaten van het modelonderzoek ten behoeve van de Passende Beoordeling Waddenzee. Dit onderzoek is uitgevoerd door het consortium bestaande uit Royal Haskoning, WL|Delft Hydraulics en het Rijksinstituut voor Visserij Onderzoek (RIVO). Medewerkers van het consortium die hebben meegewerkt aan dit onderzoek zijn Johan Boon, Han Winterwerp, Erik de Goede, Bas van Maren, Thijs van Kessel, Arno Nolte, Hans Los, Jan van Beek, Paul Erftemeijer, Tony Minns (WL|Delft Hydraulics), Loes Bolle en Mark Dickey-Collas (RIVO), Mark van Zanten en Mathijs van Ledden (Royal Haskoning).

REFERENTIES

Alleen de sleutelreferenties zijn opgenomen in de onderstaande referentielijst. Een overzicht van alle gebruikte referenties in de voorliggende studie is gegeven in de onderliggende rapporten van het modelonderzoek (hydrodynamica, slibtransport, nutriënten, vislarven).

Asjes, J., Craeymeersch, J., Escaravage, V., Grift, R.E., Tulp, I., Villars, N. (2004). Strategy of approach for the baseline study Maasvlakte 2, Lot2: benthic fauna and Lot 3: fish and fish larvae.

Boon, J.G. & T. van Kessel (2001). Effecten van landaanwinning Maasvlakte 2 op het slibtransport langs de Nederlandse kust, WL | Delft Hydraulics, rapport Z3215.

Brander, K., Houghton, R.G. (1982). Predicting the recruitment of North Sea plaice from egg surveys. ICES CM 1982/G:5.

Dicky-Collas, M. (2005). Desk study on the transport of larval herring in the southern North Sea (Downs herring). RIVO-Netherlands Institute for Fisheries Research (C031/05), Ymuiden.

Goderie, C.R.J., F. Heinis & C.T.M. Vertegaal (1999). Beoordelingskader en afbakening (effecten, studiegebied en aspecten). SM2V, Rotterdam.

Kok, J.M. de (1994). Numerical modelling of transport processes in coastal waters. Ph.D. Thesis, University of Utrecht/Rijkswaterstaat RIKZ.

Kok, J.M. de (1999). Effecten van de aanleg van een tweede Maasvlakte op de aanslibbing in het Maasmondgebied. Resultaten van het 3D-modelonderzoek. Rapport RIKZ-99.013.

Kok, J.M. de (2004). Slibtransport langs de Nederlandse kust. Bronnen, fluxen en concentraties. RIKZ/OS/2004.148w.

Laane, R.W.P.M., 2005. Natural and human impacts on the eutrophication status of the Wadden Sea. Rijkswaterstaat, National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ. Draft version.

Los, H. (2000). Inceptierapport Fase 1. Perceel 3, Deelproduct 1, definitief. Rapport WL2001001 Z3030.10.

MARE (2001). Effecten van een vliegveldeiland op stof en slibtransport en ecologie: Eindrapport Fase 1, Perceel 3, Deelproduct 5, WL2001015 Z3030.10, December 2001.

McClimans, T.A. (1988). Estuarine fronts and river plumes. Pages 55-69 of: Dronkers, J., & van Leussen, W. (eds), Physical processes in estuaries. Berlin: Springer-Verlag.

Simpson, J.H., and Souza, A.J. (1995). Semidiurnal switching of stratification in the region of freshwater influence of the Rhine. Journal of geophysical research, 100(C4), 7037-7044.

Thoolen, P.M.C., L.M. Merckelbach, T. van Kessel (2001). Effect op land reclamation Maasvlakte 2 on silt transport and siltation, Phase 2: Large scale effects in the Dutch coast and Wadden sea, WL | Delft Hydraulics, rapport Z2874.20.

Torenga, E.K. (2002). "Wave-driven transport of fine sediments in the surf zone", Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Section of Environmental Fluid Mechanics, Report 02-01.

Van Alphen, J.S.L.J., De Ruijter, W.P.M., & Borst, J.C. (1988). Outflow and three-dimensional spreading of Rhine river water in the Netherlands coastal zone. Pages 70-92 of: Dronkers, J., & van Leussen, W. (eds), Physical processes in estuaries. Berlin: Springer-Verlag.

Van Beek, F. A., Rijnsdorp, A.D., De Clerck, R. (1989). Monitoring juvenile stocks of flatfish in the Wadden Sea and coastal areas of the southeastern North Sea. Helgoländer Meeresunters. **43**: 461-477.

Van der Veer, H. W., Ruurdij, P., Van Den Berg, A.J., Ridderinkhof, H. (1998). Impact of interannual variability in hydrographic circulation on the egg and larval transport of plaice *Pleuronectes platessa* L. in the southern North Sea. J. Sea Res. **39**: 29-40.

Van der Veer, H. W., Geffen, A.J., Witte, J.I.J. (2000). Exceptionally strong year classes in plaice *Pleuronectes platessa*: are they generated during the pelagic stage only, or also in the juvenile stage? Mar. Ecol. Prog. Ser. **199**: 255-262.

WL | Delft Hydraulics (1999). Grootchalige effecten van een tweede Maasvlakte op nutriënt- en chlorofylgehalten in de Nederlandse kustzone. Rapport Z2632 (J.G. Boon).

Los (2000). Inceptierapport Fase 1. Perceel 3, Deelproduct 1, definitief. Rapport WL2001001 Z3030.10.

WL|Delft Hydraulics (2001). User manual Delft3D-FLOW. Delft, The Netherlands.

WL|Delft Hydraulics (2000). User manual Delft3D-WAVE. Delft, The Netherlands.

WL | Delft Hydraulics (2003). Effectenstudie naar een extra spumiddel in the Afsluitdijk, GEM scenarioberekeningen. Rapport Z3046. (Boon, J. G., Nolte, A. J., and Blauw, A. N.)

WL | Delft Hydraulics (2004). Analysis of the response of phytoplankton indicators in Dutch coastal waters to nutrient reduction scenarios. A model study with the Generic Ecological Model. Rapport Z3844.

Zijlstra, J. J. (1972). On the importance of the Wadden Sea as a nursery area in relation to the conservation of the southern North Sea fishery resources. Symp. zool. Soc. Lond. **29**: 233-258.

Zijlstra, J.J., R. Dapper & J.I.J. Witte (1982). Settlement, growth and mortality of post-larval plaice (*Pleuronectes platessa* L.) in the western Wadden Sea. Neth. J. Sea Res. **15**: 250-272.