



# Het Monitoring en Evaluatie Programma Zandwinning RWS LaMER 2007 en 2008-2012: overzicht, resultaten en evaluatie

Evaluatierapport  
December 2013

M.J.C. Rozemeijer, J. de Kok, J.G. de Ronde, S. Kabuta, S. Marx en G. van Berkel

# **Het Monitoring en Evaluatie Programma Zandwinning RWS LaMER 2007 en 2008- 2012: overzicht, resultaten en evaluatie**

M.J.C. Rozemeijer, J. de Kok, J.G. de Ronde, S. Kabuta,  
S. Marx, G. van Berkel

IMARES Wageningen UR Rapport C181/13, Deltares  
Rapport 1207903-000-ZKS-004

Oprichtgever: Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving  
S. Marx  
Postbus 17  
8200 AA Lelystad

Publicatiedatum: 23-12-2013



## Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	3
Colofon.....	6
Managementsamenvatting.....	7
1 Inleiding.....	13
1.1 Achtergrond informatie.....	13
1.2 Doelen van het MEP.....	13
1.3 Samenwerking.....	14
1.4 Afbakening en rechtvaardiging.....	14
1.5 Leeswijzer.....	15
2 Geschatte effecten van zandwinning volgens de MERren.....	16
2.1 Inleiding.....	16
2.2 Wettelijk kaders 2007 en 2013.....	16
2.3 Het proces van zandwinning.....	16
2.4 Ingeschatte effecten van zandwinning.....	17
3 Slib en slibmodellering.....	23
3.1 Motivatie van het onderzoek.....	23
3.2 Korte samenvatting en conclusies.....	24
3.3 Beantwoording van de evaluatievragen.....	29
3.4 Rapportages van het verrichte onderzoek.....	30
4 Impact van slib en algen op benthos.....	33
4.1 Motivatie onderzoek.....	33
4.2 Conclusie en discussie.....	41
4.3 Beantwoording Evaluatievragen.....	44
4.4 Rapportages van het verrichte onderzoek.....	45
5 Impact van slib op een zichtjager; de grote stern.....	48
5.1 Motivatie onderzoek.....	48
5.2 Korte samenvatting en conclusies.....	48
5.3 Beantwoording Evaluatievragen.....	50
5.4 Rapportages van het verrichte onderzoek.....	51
6 Rekolonisatie van de Zeeuwse banken.....	52
6.1 Motivatie onderzoek.....	52
6.2 Korte samenvatting en conclusies.....	53
6.3 Beantwoording evaluatievragen.....	57

6.4	Rapportages van het verrichte onderzoek.....	58
7	Schelpdierbanken .....	59
7.1	Motivatie onderzoek .....	59
7.2	Korte samenvatting van de vragen, aanpak en conclusies .....	59
7.3	Beantwoording Evaluatievragen .....	63
7.4	Rapportages van het verrichte onderzoek .....	65
8	Quick-scan methodes voor schelpdierbanken .....	67
8.1	Motivatie onderzoek .....	67
8.2	Korte samenvatting en conclusies.....	67
8.3	Beantwoording Evaluatievragen .....	69
8.4	Rapportages van het verrichte onderzoek .....	70
9	Verstoring van gewone en grijze zeehonden.....	71
9.1	Motivatie onderzoek bovenwaterverstoring .....	71
9.2	Korte samenvatting en conclusies Bovenwaterverstoring.....	71
9.3	Motivatie onderwatergeluid .....	73
9.4	Beantwoording Evaluatievragen bovenwaterverstoring .....	74
9.5	Evaluatie onderwatergeluid .....	75
9.6	Rapportages van het verrichte onderzoek.....	75
10	Verstoring van zwarte zee-eenden.....	77
10.1	Motivatie onderzoek .....	77
10.2	Korte samenvatting en conclusies.....	77
10.3	Beantwoording Evaluatievragen verstoring .....	79
10.4	Rapportages van het verrichte onderzoek .....	80
11	Eindevaluatie .....	82
11.1	Take-home message .....	82
11.2	Slib en slibmodellering.....	82
11.3	Impact van slib en algen op Benthos.....	83
11.4	Impact van slib op een zichtjager, de grote stern .....	85
11.5	Rekolonisatie van de Zeeuwse Banken .....	85
11.6	Schelpdierbanken .....	86
11.7	Quick-scan methodes .....	86
11.8	Verstoring van zeehonden door sleepopperzuigers .....	86
11.9	Verstoring van zwarte zee-eenden door sleepopperzuigers .....	87
12	Mogelijkheden voor verder onderzoek .....	88
12.1	Slib en slibmodellering.....	88
12.2	Implicaties van zandwinning op de voedselvoorziening van benthos .....	89
12.3	Wormen als andere representant van het bentische voedselweb.....	91
12.4	Modelmatige beschrijving van de voedselwebrelaties.....	91

12.5	Schelpdierbanken: <i>Ensis directus</i> en <i>Spisula subtruncata</i> .....	92
12.6	Zwarte zee-eenden .....	93
12.7	Verstoring van gewone en grijze zeehonden .....	94
12.8	Zeeuwse Banken .....	94
12.9	Rekolonisatie.....	95
13	Overzicht van alle MEP rapportages .....	96
14	Literatuur .....	100
	Bijlage A. Aanpak onderzoek Impact van slib en algen op benthos.....	108
	Veldmetingen aan groei en (a)biotiek.....	108
	Modelkeuze.....	108
	Keuze <i>Ensis directus</i> .....	109
	<i>Ensis</i> in een veranderd systeem .....	109
	Bijlage B. Waarderingstabellen van de quick-scanmethodes .....	111
	Bijlage C. Kwaliteitsborging en Verantwoording .....	116
	Kwaliteitsborging .....	116
	Verantwoording .....	116

## Colofon

In dit rapport worden de resultaten weergegeven van de Monitoring en Evaluatieprogramma's 2007 en 2008-2012 (MEP) voor vergunningverlening van de zandwinning van Rijkswaterstaat en LaMER.

<b>Referentie</b>	Rozemeijer M.J.C., de Kok J., de Ronde J.G., Kabuta S., Marx S., van Berkel G. (2013). Het Monitoring en Evaluatie Programma Zandwinning RWS LaMER 2007 en 2008-2012: overzicht, resultaten en evaluatie. IMARES Wageningen UR Rapport C181/13, Deltares Rapport 1207903-000-ZKS-004.
<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving S. Marx Postbus 17 8200 AA Lelystad
<b>Opdrachtnummer</b>	31068704, 31068704.0001
<b>Projectnummer</b>	430.25039.01, 430.25053.01
<b>Datum</b>	23-12-2013

### Auteurs en hun institutionele achtergrond

M.J.C Rozemeijer	IMARES, voorheen Rijkswaterstaat
J. de Kok	Zelfstandig adviseur, voorheen Deltares, Rijkswaterstaat
J.G. de Ronde	Deltares, voorheen Rijkswaterstaat
S. Kabuta	Rijkswaterstaat
S. Marx	Rijkswaterstaat
G. van Berkel.	LaMER

### Verantwoording foto's titelblad

Foto links boven	LaMER
Foto links beneden	Oscar Bos, IMARES
Foto rechts boven	Kees Goudswaard, IMARES
Foto rechts beneden	Jolanda van Ieperen, NIOZ

### Interne review

Interne review IMARES	T. Schellekens
Interne review Deltares	L.A. van Duren

### Kwaliteitsborging

IMARES	ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 124296-2012-AQ-NLD-RvA)
Deltares	ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: RQA 651867)



## Managementsamenvatting

In dit rapport worden op korte en bondige wijze de resultaten weergegeven van de Monitoring en Evaluatieprogramma's 2007 en 2008-2012 (MEP) voor vergunningverlening van de zandwinning van Rijkswaterstaat en LaMER. Daarnaast wordt het programma geëvalueerd. Ook worden alleen die effectschattingen van de milieueffectrapportages (MER) van Rijkswaterstaat en LaMER (Boon e.a., 2006a,b, van Duin e.a., 2007, 2008) die aanleiding gaven voor monitoring dan wel invulling van kennisleemtes.

In de MERren van Rijkswaterstaat en LaMER (Boon e.a., 2006a,b, van Duin e.a., 2007, 2008) zijn effectvoorspellingen gedaan en kennisleemtes gedefinieerd. In het MEP zijn een aantal algemene evaluatievragen gesteld, die de insteek van het MEP georiënteerd hebben:

- 1) Nagaan of de (belangrijkste) effectvoorspellingen juist zijn.
- 2) Extra kennis genereren i.v.m. de gesignaleerde leemten in kennis.
- 3) Extra kennis genereren i.v.m. aangescherpte eisen die vanuit de natuurbescherming gesteld worden aan de uitvoering.
- 4) Inzicht in effecten verkrijgen wat kan leiden tot bijstelling van uitvoeringseisen en eventueel tot kostenbesparing.

Inhoudelijk heeft het MEP heeft zich, op basis van der effectvoorspellingen en de gedefinieerde kennisleemtes in de MERren, de wensen van de inspraak, bevoegd gezag en Commissie MER (CieMER) bezig gehouden met de volgende onderwerpen (zoals verwoord in het visie document MEP van Ellerbroek e.a. (2008) dat ingediend is met de eerste vergunningaanvragen):

- a) Slib en slibmodellering.
- b) Impact van slib en algen op benthos.
- c) Impact van slib op een zichtjager (grote stern).
- d) Rekolonisatie van de Zeeuwse banken.
- e) Schelpdierbanken.
- f) Extra meten en statistische methodes.
- g) Quick-scan methodes.
- h) Verstoring van:
  - i) Zeehonden door bovenwatergeluid en zichtbaarheid en onderwatergeluid.
  - ii) Zwarte zee-eenden.

De verschillende onderwerpen worden per hoofdstuk kort samengevat. Het doel is vooral om per onderwerp de evaluatievragen 1 t/m 4 te beantwoorden. De onderliggende rapporten leveren meer gedetailleerde inhoudelijke informatie.

### Effecten van zandwinning

Zandwinning en -transport kunnen potentieel leiden tot diverse effecten zoals verminderde productie van algen en schelpdieren door extra slib in de waterkolom en verstoring (Figuur 1, Tabel 1).

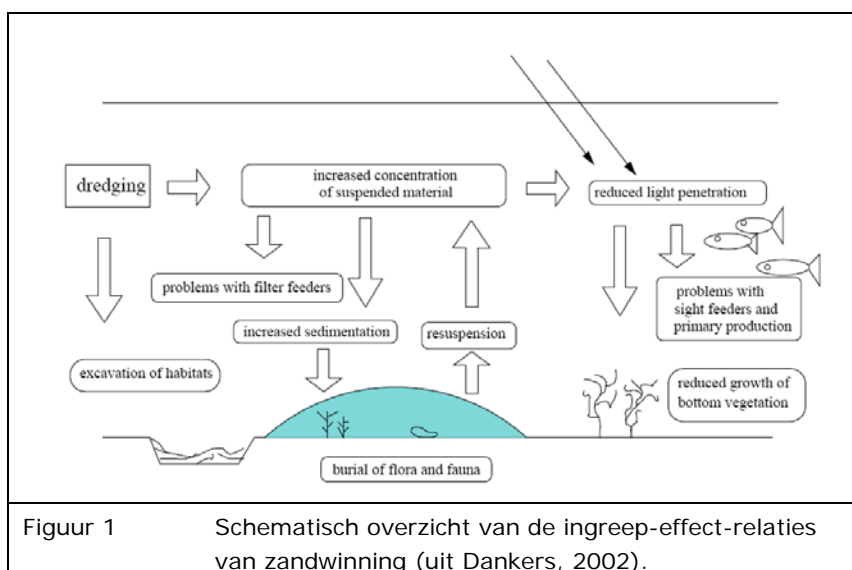
Extra slib in de waterkolom: bij zandwinning komt slib vrij via de overvloed. Dit extra slib blijft enige tijd circuleren in het systeem en leidt tot verhoogde concentraties slib in de waterkolom. Verhoogde concentraties slib in de waterkolom kunnen de lichtinval in het water verminderen. Dit kan een effect hebben op de (primaire) productie in de vorm van een verandering in de timing van de voorjaarsbloei van algen, een verlaagde primaire productie of een verandering in soortensamenstelling. Algen staan aan de basis van het voedselweb. Effecten in de vorm van een vertraging, reductie of verandering in deze primaire productie kunnen mogelijk doorwerken in hogere trofische niveaus zoals schelpdieren, vogels, vissen en zeezoogdieren. Verandering in doorzicht door slib kan ook zichtjagers als grote stern beïnvloeden.



Visuele verstoring van zeehonden en vogels: de dieren worden verstoord doordat ze de sleephopperzuiger zien en reageren door bv weg te vluchten en andere vormen van onrust wat kan resulteren in (tijdelijke) effecten op de conditie van het dier en zelfs voortplanting en populatiedynamica.

Geluidverstoring van vissen, vogels en zeezoogdieren: geluid wordt geproduceerd tijdens het baggeren op de winlocatie en tijdens het varen, waarbij de geluidsbron zich verplaatst. Verstoringseffecten kunnen ook optreden door het geluid tijdens baggeren (zowel boven als onderwater). Dit heeft op hoofdlijnen het zelfde effect als visuele verstoring maar via een andere effectroute.

Verstoring bodem (verwijdering, bedekking): bij het winnen van zand wordt over het gehele oppervlak van de winput de bovenste laag sediment verwijderd. Dit geldt ook voor alle bodemdieren daarin. Hierdoor kunnen waardevolle bodemdiergemeenschappen worden vernietigd, zoals schelpdierbanken. Bij de overvloed komt zand vrij wat de bodem bedekt. Afhankelijk van de dikte van de laag kan bedekking kan dat leiden tot sterfte van het benthos.



### Slib en slibmodellering

In het kader van het MEP slibonderzoek is veldonderzoek voor de kust van Noord-Holland verricht. De resultaten zijn gekoppeld aan diverse modelonderzoeken. Tevens werd gebruik gemaakt van bestaande meetreeksen (o.a. MWTL, Noordwijk moorings). Het numerieke slibverspreidingsmodel werd daarbij aanzienlijk verbeterd.

De onderzoeksresultaten hebben geleid tot een bruikbare beschrijving van de verspreidingspatronen op korte termijn (near-field<sup>1</sup> en mid-field tot enkele uren na release) en middellange termijn (far-field tot 12 maanden na release) van slib dat bij zandwinning in zee terecht komt. Onderzoek naar lange termijn effecten (meer dan een decennium) in bestaande reeksen (MWTL) meetgegevens en data heeft het beeld opgeleverd dat de troebelheid in de Nederlandse kustzone niet is toegenomen sinds het begin van de zeezandwinningen in 1979.

Het veldonderzoek naar bodem: water uitwisselingsprocessen en valsnelheden van slib heeft geleid tot een belangrijke verbetering van de numerieke modellen die gebruikt worden voor het voorspellen van korte, middellange en lange termijn invloed van zeezandwinning op de troebelheid van zeewater. Vooral de nauwkeurigheid van de lange termijn voorspellingen is sterk verbeterd en de onzekerheid met betrekking tot de duur van het effect is aanzienlijk teruggebracht; de voorspelling met het oude model

<sup>1</sup> Near-field: < 1km, mid-field < 15 km, far-field > 15 km van de bron.

dat voor de RWS MER zandwinning 2008-2012 is gebruikt, gaf een vervaltijd<sup>2</sup> van 4 jaar aan. Het meest recente model voorspelt een worst-case effect met een vervaltijd van 2 jaar. De berekende vertroebelings-effecten zijn gebruikt in de nieuwe RWS MER zandwinning 2013-2017 als invoer voor de ecologische modellen waarmee primaire productie en de invloed op hogere trofische niveaus zijn berekend.

### **Impact van slib en algen op benthos.**

Er is veel inzicht gegenereerd in de relatie tussen algen, slib en groei van *Ensis directus* (*Ensis*). Veldmetingen zijn verricht aan de groei van *Ensis* volgens de grootheden van het Dynamic Energy Budget model (DEB<sub>Ensis</sub>). Deze groeimetingen zijn gecorreleerd met de gelijktijdig gemeten (a)biotische parameters. Lengte (schelp) groei is zwak gecorreleerd met temperatuur. Groei van biomassa van somatisch weefsel (AFDW) heeft een significant positief verband met de Chlorofyl-a (Chl-a) concentratie in de voorafgaande periode en is significant negatief gecorreleerd met de concentratie slib. Slib heeft ook duidelijk een zeer groot seizoen gerelateerde dynamiek. Er is veel slib in de wintermaanden en weinig in de zomermaanden wanneer de groei plaats vindt. Dat seizoenseffect domineert waarschijnlijk de gevonden relatie tussen slib en groei. Gonadenontwikkeling begint voordat de voorjaarsbloei plaats vindt. Op het moment dat voorjaarsbloei piekt, is het verlies in gonadale weefsel maximaal (wat wil zeggen de dieren zijn aan het paaien). Gonadenontwikkeling vindt plaats nog voordat het weefsel (gemeten als AFDW) toeneemt. Dit suggereert vooral een reallocatie van opgeslagen energie om de gonaden te laten groeien in plaats van dat gonaden ontwikkelen op basis van nieuw verkregen energie tijdens de voorjaars-algenbloei.

Op basis van empirische en veldgegevens van andere bronnen dan dit programma is een DEB<sub>Ensis</sub> model ontwikkeld. Dit DEB<sub>Ensis</sub> model is naar tevredenheid gevalideerd met de veldgegevens die in dit MEP zijn gegenereerd. Vervolgens is het model toegepast in het MER Zandwinning 2013-2017. Het blijkt dat de zandwinningen van RWS of Hollands Noorderkwartier geen noemenswaardig effect hebben op de DEB<sub>Ensis</sub> variabelen. Dit resultaat bevestigt (evalueert) ook meteen de effectschattingen van de MER Suppletiezandwinning 2008-2012 en de MER Ophoogzandwinning 2008-2017. Namelijk de effectschatting was dat er geen noemenswaardig effect zou zijn. Dit wordt gestaafd door deze model inschattingen.

Dit nieuwe DEB<sub>Ensis</sub> model stelt ons nu in staat om met behulp van modelberekeningen en berekeningen gemeten en verrekende concentraties slib en algen en temperatuur inzicht te krijgen in de mogelijke effecten van zandwinning. Het is wel duidelijk een nieuw veld waar nog verdere ontwikkeling in gewenst is. Het is ook duidelijk geworden dat bij situaties met veel grotere zandwinningen structureel verminderde groei, minder gameetweefsel etc. op kan treden in de Nederlandse Kustzone. Nader onderzoek dient uit te wijzen wat de implicaties zijn voor de benthos gemeenschap en voor consumenten als zwarte zee-eenden.

### **Impact van slib op een zichtjager (grote stern)**

De grote stern is een viseter die voornamelijk foerageert in ondiepe kustwateren. Zijn dieet bestaat hoofdzakelijk uit haring, sprong en twee soorten zandspiering. Grote sterns zijn zichtjagers. Ze vliegen boven het water op zoek naar vis die ze na een duikvlucht proberen te vangen. Dit is een veel energie vragende foerageertechniek. Deze vogels zijn afhankelijk van vis in het bovenste deel van de waterkolom en moeten in korte tijd hun snel groeiende kuikens van voedsel voorzien. Ze kunnen slechts één prooi(vis) tegelijkertijd in hun snavel vervoeren en moeten dus voor iedere gevangen vis heen en weer pendelen tussen kolonie en foerageergebied. Dit maakt dat het vangstsucces van een prooi mogelijk effecten heeft op hun broedsucces. Zichtdiepte is een belangrijke factor voor het vangstsucces van zichtjagers als de grote stern.

---

<sup>2</sup> Na de vervaltijd is 1/3 van het ingebrachte slib nog over. De vervaltijd is een indicator voor de duur van het effect.

Uit het onderzoek blijkt dat de grote stern bij het Marsdiep zijn vangsttechniek aanpast met veranderende zichtdiepte om zo het rendement van zijn inspanningen te behouden. Daarnaast is er een optimum kromme voor de relatie zichtdiepte: vangstsucces. Het vangstsucces verandert zeer beperkt bij geringe veranderingen aan slib in de kustzone. Modelvoorspellingen suggereren dat op grote afstand van een zandwinning (far-field effect<sup>3</sup>) de veranderingen in slib concentratie door zandwinning ook gering zullen zijn. Het is in redelijkheid aannemelijk dat de grote stern voldoende reserves in tijd en energie heeft om een eventuele geringe verandering in vangstefficiëntie te compenseren. Voor het near-field effect nabij de sleehopperzuiger geldt dat de pluim én niet zo groot is als aangenomen én ook nauwelijks aan de oppervlakte komt zodat veranderingen in zichtdiepte aan de oppervlakte weinig relevant is op het totaal. Een lokale pluim kan eventueel wel effect hebben op de lokale visverdeling (daar is niet naar gekeken).

### **Rekolonisatie van de Zeeuwse banken**

In het Zeeuwse Banken gebied is onderzoek verricht naar de rekolonisatie van een 3,5 meter diepe zandwinput en een referentiesituatie. Voorafgaand aan deze studie was zeer weinig bekend over dit gebied en was er zeer weinig gemonitord.

Het blijkt dat het gebied relatief arm is in bodemdiergemeenschappen. Dit komt ook overeen met de observaties in de aangrenzende Vlaamse banken. Het wettigt geen classificatie als schelpdierbank of als zijnde van belang als voedselgebied voor schelpdieretende zeevogels. De troggen (dalen) van de Zeeuwse Banken kenmerken zich door wat hogere niveaus van soortenrijkdom, dichtheid en biomassa dan de toppen.

Het onderzoek naar volledige rekolonisatie is nog niet volledig mogelijk geweest omdat de zandwinning is doorgegaan tot eind 2011 (jaarlijks vlakdekkend). Rekolonisatie is een proces dat naar verwachting zo'n vijf jaar duurt, na stopzetting van een winning. De data laten wel zien dat gedurende de winningen en één jaar na stopzetting van de winning dat de rekolonisatie op de Zeeuwse Banken snel (orde een jaar of minder) op gang komt met zowel wormen, schelpdieren als epifauna. De gemeenschappen aangetroffen in het wingebied ontwikkelen zich het eerste jaar na stopzetting van de winning al richting de gemeenschappen in het referentiegebied. Vervolgonderzoek is noodzakelijk waarbij ook een volgend jaar gemonsterd en geanalyseerd wordt. Dit is nodig om te zien hoe de rekolonisatie zich ontwikkelt en na welke termijn men zou kunnen spreken van een rekolonisatie tot de climaxgemeenschap die bij die omstandigheden hoort. Dat kan 2013 zijn maar wellicht is het beter de rekolonisatie iets langer door te laten lopen omdat de rekolonisatie dan een verder geëvolueerd stadium heeft. Echter vooralsnog ziet het er naar uit dat de rekolonisatie op de Zeeuwse Banken op dezelfde manier verloopt als alle andere rekolonisatieprocessen van benthos gemeenschappen langs de kust.

### **Schelpdierbanken: extra meten en statistische methodes**

Er dient te worden voorkomen dat bij zandwinning schelpdierbanken worden opgezogen. Twee strategieën zijn gebruikt om aan de gewenste informatie over aanwezigheid te komen. Als eerste zijn extra schelpdierbemonsteringen uitgevoerd boven op de lopende reguliere programma's: op enkele plaatsen langs de kust en extra metingen op de Zeeuwse Banken. Hier werden geen extra banken gevonden. Het lijkt niet waarschijnlijk dat de Zeeuwse Banken een geschikt habitat zijn voor schelpdierbanken. Ten tweede zijn bestaande databestanden ontsloten (MWTL metingen en de Schelpdiersurvey) door middel van statistische analyses. Als eerste zijn Habitat Geschiktheidskaarten gemaakt (HGKs) door het MEP en door een ander project (ENSIS). Beide resultaten vergeleekend wordt duidelijk dat *Ensis* een goede recruitment heeft in de gehele kustzone maar dat een populatie van grotere dieren (>10cm) een beperkter verspreidingsgebied heeft, dichter tegen de kust aan. De huidige resultaten zijn eerste verkennende stappen gezet die om een vervolg vragen om meer grip te krijgen op

---

<sup>3</sup> Near-field: < 1km, mid-field < 15 km, far-field > 15 km van de bron.

de ecologie van schelpdierbanken. Daarnaast zijn ook andere schelpdiersoorten bekeken. De HGKs leveren informatie over de algemene ecologie van deze soorten en zijn bruikbaar ter ondersteuning van toekomstige effectbepalingen voor zandwinning en andere initiatieven.

Aanvullend zijn ook clusteranalyses en trendanalyses gemaakt van schelpdierbestanden en andere Kaderrichtlijn Marien indicatoren zoals biodiversiteit. Op basis van een clusteranalyse van de WOT-data is geconcludeerd dat er in de kustzone twee of drie bodemdiergemeenschappen voorkomen. De eerste (*Macoma balthica* gemeenschap) is beperkt tot de Haringvlietmonding. Een tweede beslaat het grootste deel van de kustzone (*Abra alba* gemeenschap). Een derde (*Spisula solida* gemeenschap) komt in de grovere sedimenten voor nabij Texel. Binnen de *A. alba* gemeenschap kunnen ook (tijdelijk) andere soorten kenmerkend zijn, zoals *S. solida*, *Donax vittatus* of *Chamelea striatula*. De temporele verschillen binnen deze gemeenschappen worden mogelijk gestuurd door hydroklimatische veranderingen. *Ensis* is tegenwoordig een kenmerkende soort voor de *A. alba* gemeenschap.

Gemeenschapsanalyses en trendanalyses formaliseren dat *Spisula subtruncata* (voorheen een belangrijke schelpdierbankvormer en stapelvoedsel voor zwarte zee-eenden) geen relevante hoeveelheden meer vormt in de kustzone. Voor *Spisula* is geen reden meer om extra schelpdierbank onderzoek te doen. In tien van de trend analyse modellen werd een onderscheidende correlatie met abiotiek gevonden en bij 13 een significant effect van visserij (in combinatie met de abiotiek). Deze analyses zijn bruikbaar als basismateriaal voor verdere effectinschattingen.

Bij de trendanalyses is onderzocht of statistische modellen kunnen worden ingezet om trends in bodemdiersoorten te koppelen aan abiotiek en intensiteit van menselijk handelen. Daar waar significante trends zijn waargenomen is onderzocht of deze kunnen worden gerelateerd aan autonome veranderingen in abiotiek dan wel menselijke handelen. Als eerste blijkt dat het uitmaakt op welk schaalniveau de trends worden bekeken. Analyses zijn uitgevoerd voor de habitats gedefinieerd op EUNIS<sup>4</sup> niveau 3, 4 en 5. EUNIS Schaal niveau 4 blijkt met de huidige meetstrategie het beste schaalniveau. Uit de evaluatie van de bemonsteringscampagnes is gebleken dat de monsters die zijn verzameld met boxcorers in het kader van de MWTL monitoring erg waardevol zijn voor de berekening van de multimetrische en biodiversiteitindices, zoals gedefinieerd in Descriptor 6 'zeebodemintegriteit' van de KRM. Voor een aantal andere indicatoren binnen deze descriptor, met name schelpdieren en meer zeldzame organismen, lijkt de methodiek minder geschikt, omdat de trefkans voor deze soorten laag is. Hiervoor is bemonstering met een bodemschaaf beter geschikt. De MWTL dataset is weinig geschikt gebleken als input voor de statistische modellen. Van de 18 significant stijgende of dalende trends die zijn onderzocht, bleek in de helft van de gevallen onvoldoende gegevens beschikbaar voor een regressiemodel. De WOT data zijn beter geschikt als input voor de regressiemodellen. Slechts in vier gevallen waren te weinig data om een model op te stellen. In de 20 andere gevallen voldeed de grootte van de dataset. In 9 van deze modellen werd een onderscheidende correlatie met abiotiek gevonden en bij 13 een significant effect van visserij (in combinatie met de abiotiek). De richting van het effect van menselijk handelen hangt af van de schelpdiersoort en de soort visserij.

Het CUMULEO-RAM model is een benadering waarmee een integrale (cumulatieve) afweging van de effecten van de verschillende gebruiksfuncties van de Noordzee en de Waddenzee gemaakt kan worden. Er is onderzocht of het CUMULEO-RAM model kan worden ingezet voor het gehele NCP en voor de uitgebreide set van bodemdiersoorten die in dit rapport wordt behandeld. CUMULEO-RAM blijkt een bruikbare tool om effectschatting te doen. Het vraagt nog wel enige aanpassingen. Voor zandwinning is

---

<sup>4</sup> Binnen de EUNIS systematiek wordt habitat gedefinieerd als de begrenzing van een gebied waar planten of dieren normaal leven, primair op grond van de fysische eigenschappen (topografie, bodemkenmerken, het klimaat, waterkwaliteit, etc.) en secundair door de soorten planten en dieren die er wonen. Met een toename in de hoogte van het EUNIS niveau, neemt de verfijning van het habitat toe. EUNIS 3 kent bv 5 habitats, waar EUNIS 5 er 11 kent (De Mesel e.a., 2012a,b).

het ontgronden opgenomen in de methodiek. Hier blijkt de activiteit te kleinschalig ten opzichte van de resolutie van het CUMULEO-RAM model. Het is raadzaam het CUMULEO-RAM model uit te breiden met de mogelijkheid van het slib: algen-effectspoor.

#### **Quick-scan methodes**

Van de vier onderzochte methodes (Medusa, side scan sonar, schaaft en camera) blijken de camera- en schaaftmethode, methodes die voldoende functioneren om schelpdierbanken te detecteren. Medusa en SSS lijken vooralsnog geen geschikte methodes voor de detectie van schelpdierbanken. De schaaftmethode heeft zijn diensten bewezen afgelopen jaren. Het biedt de zekerheid in soortensamenstelling en soortafhankelijk ook biomassa's. Het vergt wel meer tijd en werk om bijvoorbeeld de contouren van een schelpdierbank in beeld te brengen. De camera is snel en handzaam maar kwetsbaar voor weersomstandigheden (hoge turbiditeit door golven). Daarmee lijkt het minder geschikt voor reguliere monitoring waar bedrijfszekerheid een belangrijk criterium is. Voor speciale klussen bijvoorbeeld schelpdierbanken kan het een toegevoegde waarde hebben. Een vijfde methode (de Multibeam) is getest door derden. De toepassing lijkt hoopvol. Het is snel, handzaam, ongevoelig voor weer. Echter voordat Multibeam-technologie meer generiek kan worden toegepast moeten nog enige stappen genomen worden om door middel van mathematische filters het signaal preciezer te krijgen.

#### **Verstoring van zeehonden door aanwezigheid en onderwatergeluid.**

Het blijkt dat de juridische verstoringafstand (1200-1500 m) een worst case benadering is voor zeehonden (gewone en grijze). Eventueel scheidt dit mogelijkheden de juridische verstoringafstand specifiek voor baggerschepen aan te passen. Voor onderwatergeluid is een proefopstelling uitgedacht voor een gecontroleerde belastingsproef.

#### **Verstoring van zwarte zee-eenden.**

In de winter van 2011/2012 zijn aantallen en verspreiding van de zwarte zee-eenden boven Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog maandelijks in kaart gebracht. Eénmalig, in begin maart, werd ook het bodemleven bemonsterd om de voedselsituatie voor de eenden te leren kennen in termen van schelpdiersoorten, dichtheden en biomassa's. Maandelijks werd ook verstoring (scheepvaart) vastgelegd, gelijktijdig met het verspreidingspatroon van de eenden.

De verdeling van zwarte zee-eenden blijkt gecorreleerd te zijn met zowel diepte (ruwweg een optimum kromme) als met voedsel (toename eenden met toename voedsel). Aangezien diepte en voedselbeschikbaarheid ook significant correleren, is het moeilijk om uit elkaar te halen welke factor hier bepalend is. Mogelijk spelen beide een rol. De invloed van verstoring, bovenop de relatie met voedsel, kon niet goed worden vastgesteld. Over het hele studiegebied gezien leken de grootste concentraties eenden meestal niet voor te komen in de buurt van concentraties vissersschepen, maar een dergelijk verband was statistisch niet hard te maken.

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond informatie

Sinds 1990 vinden langs een groot deel van de Nederlandse kust zandsuppleties plaats om de structurele erosie van de kust tegen te gaan en ervoor te zorgen dat het kustfundament meegroeit met zeespiegelstijging. Daarnaast is er een verschuiving sinds 1996 waarbij steeds meer ophoogzand uit zee wordt gewonnen in plaats van op land. Het zand wordt gewonnen van de bodem van de Noordzee buiten de doorgetrokken NAP -20m dieptelijn. Om dit zand te mogen winnen is een vergunning ingevolge de Ontgrondingenwet nodig van de Minister van Infrastructuur en Milieu.

In mei 2005 zijn twee ontgrondingenvergunningen voor zandwinning door de Raad van State vernietigd, omdat er een locatie specifiek milieu effectrapportage (MER) ontbrak. Hoewel deze twee vergunningen geen betrekking hadden op winning van zand voor kustsuppleties, is uit de vernietiging van deze vergunningen wel de conclusie getrokken dat ook voor de ontgroning van zand voor suppleties de vergunningaanvragen moeten zijn voorzien van een locatie specifiek MER als de omvang van de ontgroning de daartoe gestelde grenzen in het Besluit m.e.r. overschrijdt.

De genoemde uitspraken van de Raad van State zijn daarom aanleiding geweest om voor de zandwinning voor de kustsuppleties vanaf 2007 m.e.r.-procedures te starten. Zowel de winningen voor suppletiezand als de winning voor infrastructurele toepassingen waren m.e.r.-plichtig geworden. De commerciële zandwinpartijen hebben zich in 2006 verenigd in de stichting LaMER om gezamenlijk te komen tot één MER. RWS en LaMer hebben vervolgens in nauwe samenwerking twee "parallele" MERren geschreven.

Voor de winningen van suppletiezand in 2007 en 2008-2012 zijn door RWS twee MERren opgesteld:

- MER winning suppletiezand Noordzee 2007 d.d. 29-9-2006 (Boon e.a., 2006a,b).
- MER winning suppletiezand Noordzee 2008-2012 d.d. 01-11-2007 (Van Duin e.a., 2007).

LaMER heeft één MER op laten stellen

- MER winning ophoogzand Noordzee 2008-2017 d.d. 21-02-2008 (Van Duin e.a., 2008).

De desbetreffende MER wordt door de initiatiefnemer samen met de vergunningaanvraag ingediend. In de vergunning is de verplichting opgenomen om te evalueren of de ingeschatte effecten reëel zijn aan de hand van een Monitoring- en Evaluatieprogramma (MEP). De evaluatie is het laatste onderdeel van de m.e.r.-procedure. Ten behoeve van de evaluatie is de initiatiefnemer verplicht het benodigde onderzoek uit te voeren op basis waarvan het bevoegde gezag te zijner tijd de evaluatie kan uitvoeren. In de MERren is een aanzet tot een evaluatieprogramma (EP) opgenomen.

In 2007 is er een eenjarig MEP winning suppletiezand Noordzee 2007 opgesteld en aansluitend in 2008 een MEP winning suppletiezand Noordzee 2008-2012 opgesteld (Ellerbroek e.a., 2008). LaMer en RWS hebben het MEP 2008-2012 gezamenlijk opgepakt. Het voorliggende rapport geeft een overzicht en samenvatting van de onderzoeken die in beide MEPs in de periode 2007-2012 zijn uitgevoerd. Dit rapport evalueert alleen die voorspellingen in de MERren die aanleiding gaven tot monitoringvragen dan wel invulling van de kennisleemtes. Alleen daarvoor is nieuwe kennis verkregen. De onderwerpen die niet geëvalueerd worden, worden behandeld in het nieuwe MER Suppletiezandwinning (2013-2017, van Duin e.a., 2012a,b) als onderdeel van de effectschattingen.

## 1.2 Doelen van het MEP

In het Monitorings- en Evaluatieprogramma is een aantal uitgangspunten vastgesteld, waarnaar het evaluatieonderzoek zich op heeft gericht:

1. Nagaan of de (belangrijkste) effectvoorspellingen juist zijn.
2. Extra kennis genereren i.v.m. de gesignaleerde leemten in kennis.

3. Extra kennis genereren i.v.m. aangescherpte eisen die vanuit de natuurbescherming gesteld worden aan de uitvoering.
4. Inzicht in effecten verkrijgen wat kan leiden tot bijstelling van uitvoeringseisen en eventueel tot kostenbesparing.

Op basis van de leemtes in kennis zoals gedefinieerd in de MER 2007 (Boon e.a., 2006a,b) en de MERren 2008-2012 (Van Duin e.a., 2007, 2008), de inbreng van de commissie MER, de inspraak en het bevoegd gezag is een visie-document geschreven (Ellerbroek e.a., 2008) en zijn de volgende onderwerpen als belangrijk benoemd voor de MEPs:

- Slib.
- Impact van slib en algen op Benthos.
- Impact van slib op een zichtjager de grote stern.
- Rekolonisatie van de Zeeuwse Banken.
- Schelpdierbanken.
- Verstoring van zeehonden en zwarte zee-eenden.
- Onderwatergeluid.

Deze bovenstaande onderwerpen zijn verder uitgewerkt in het MEP, waaraan concrete vragen en onderzoeksvoorstellen zijn gekoppeld. Hierbij zijn de MEP doelen als uitgangspunt gebruikt.

### **1.3 Samenwerking**

Binnen dit MEP is op verschillende vlakken samenwerking gezocht binnen de eigen organisaties en andere partijen. In 2010 is het project Zandmotor Delflandse kust aangesloten op het al lopende MEP zandwinning van RWS en LaMer. Aangezien in de MER-zandwinning van de Zandmotor dezelfde kennisleemtes waren gesignaleerd, is in samenspraak met bevoegd gezag besloten om geen eigen Zandmotor MEP op te stellen, maar aan te sluiten op het al lopende MEP RWS en LaMER. Daarbij is specifiek aangegeven dat er een bijdrage geleverd dient te worden aan het onderzoek waarbij gekeken wordt naar de effecten van extra slib en vermindering algengroei op de groei van bodemdieren.

Daarnaast zijn er verschillende specifieke onderzoeken in gezamenlijkheid met andere partijen opgepakt. Zo is het pilot deployment onderzoek van 2010 in samenwerking met Building With Nature opgepakt (Witbaard e.a., 2011b) maar de grote studie is daarna zelfstandig uitgevoerd. Het pluimonderzoek (Talmon, 2007, 2008a,b) is in samenwerking met het TASS-project van de Vereniging van Waterbouwers uitgevoerd.

### **1.4 Afbakening en rechtvaardiging**

De MER-suppletiezandwinning 2008-2012 en het daaraan gekoppelde MEP heeft een doorlooptijd van vijf jaar. Aangezien het opstarten van een MEP en het uitzetten van onderzoek enige tijd in beslag neemt, loopt een deel van de MEP onderzoeken nog door in 2013. Deze rapportage is bedoeld als samenvattende eindrapportage van het MEP 2008-2012<sup>5</sup>, waarin een overkoepelend beeld gegeven wordt van alle uitgevoerde onderzoeken (inclusief een aantal resultaten vanuit het MER 2013-2017, Van Duin e.a., 2012a,b) gerelateerd aan de MEP-doelen.

Gedurende vijf jaar is intensief onderzoek gedaan naar uiteenlopende onderwerpen. Het is onmogelijk om in deze samenvattende eindrapportage al deze onderzoeken in detail te behandelen. Voor gedetailleerde en inhoudelijke informatie betreffende een onderzoek wordt daarom verwezen naar de onderliggende onderzoeksrapporten (grotendeels digitaal beschikbaar via de site <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten> of via [www.stichtinglamer.nl](http://www.stichtinglamer.nl)). Een overzicht van de desbetreffende onderzoeksrapportages wordt in elk hoofdstuk weergegeven en een groslijst wordt apart gegeven in hoofdstuk 13. Het gaat hierbij om producten die gefinancierd zijn door

---

<sup>5</sup>De eindconclusies van onderzoeken die doorlopen in 2013 zijn niet in dit rapport opgenomen.

het MEP dan wel gefinancierd door anderen maar die inhoudelijk voortvloeien uit de vraagstellingen van het MEP en die begeleid zijn door het MEP team.

Er worden ook drie documenten uit het MER 2013-2017 gebruikt in deze evaluatie, omdat deze projecten vertegenwoordigen waarin zeer veel kennis wordt gebruikt uit het MEP 2008-2012: Schellekens (2012a,b) en Harezlak e.a. (2012a,b). Feitelijk staan deze documenten voor de toepassing van de kennis die gegenereerd is gedurende beide MEPs en een gedeelte van de evaluatie. Dit rapport evalueert alleen die voorspellingen in de MERren die aanleiding gaven tot monitoringvragen dan wel invulling van de kennisleemtes. Alleen daarvoor is nieuwe kennis verkregen.

Naast de rapporten die producten zijn van de MEPs of daar direct uit voortvloeien (zoals hierboven beschreven) worden ook ter ondersteuning van de betogen andere artikelen en rapporten geciteerd. Om dit onderscheid duidelijk te maken sluit elk hoofdstuk af met een overzicht van de rapporten die in het kader van dit MEP en het nieuwe MER 2013-2017 geproduceerd zijn.

## **1.5 Leeswijzer**

Het rapport is zo opgebouwd dat in hoofdstuk 2 een korte samenvatting wordt gegeven van de potentiële effecten van zandwinning en de geschatte effecten in van Duin e.a. (2007, 2008). In de hoofdstukken 3 t/m 10 wordt steeds ingegaan op een specifieke onderwerp:

- hoofdstuk 3 Slib en slibmodellering,
- hoofdstuk 4 Impact van slib en algen op benthos,
- hoofdstuk 5 Impact van slib op een zichtjager; de grote stern,
- hoofdstuk 6 Rekolonisatie van de Zeeuwse banken,
- hoofdstuk 7 Schelpdierbanken,
- hoofdstuk 8 Quick-scan methodes voor schelpdierbanken
- hoofdstuk 9 Verstoring van gewone en grijze zeehonden,
- hoofdstuk 10 Verstoring van zwarte zee-eenden,
- hoofdstuk 11 Eindevaluatie,
- hoofdstuk 12 Mogelijkheden voor verder onderzoek.

Per hoofdstuk wordt een tabel gegeven van de geproduceerde rapporten. Verder geeft hoofdstuk 13 het Overzicht van alle MEP rapportages met ook alle expeditie-verslagen, vaarverslagen etc. In hoofdstuk 14 wordt de geciteerde Literatuur gegeven.

In elk hoofdstuk staat gemotiveerd waarom dit onderzoek is uitgevoerd, waarna er een korte samenvatting met conclusies volgt. Elk hoofdstuk wordt afgesloten met het beantwoorden van de evaluatievragen die in het MEP-document zijn gesteld. Deze rapportage sluit af met een overkoepelde Eindevaluatie (hoofdstuk 11) en Mogelijkheden voor verder onderzoek (hoofdstuk 12).



## **2 Geschatte effecten van zandwinning volgens de MERren**

### **2.1 Inleiding**

Hieronder wordt een beknopte beschrijving gegeven van de activiteit zandwinning en de geschatte milieu effecten. Een uitgebreidere beschrijving is te vinden in de MERren die geëvalueerd worden (Boon e.a. 2006a,b, van Duin e.a., 2007, 2008). Omdat het wettelijk kader ook een zeer belangrijk element is wordt eerst begonnen met het benoemen van de belangrijkste verschillen tussen 2007 en 2013.

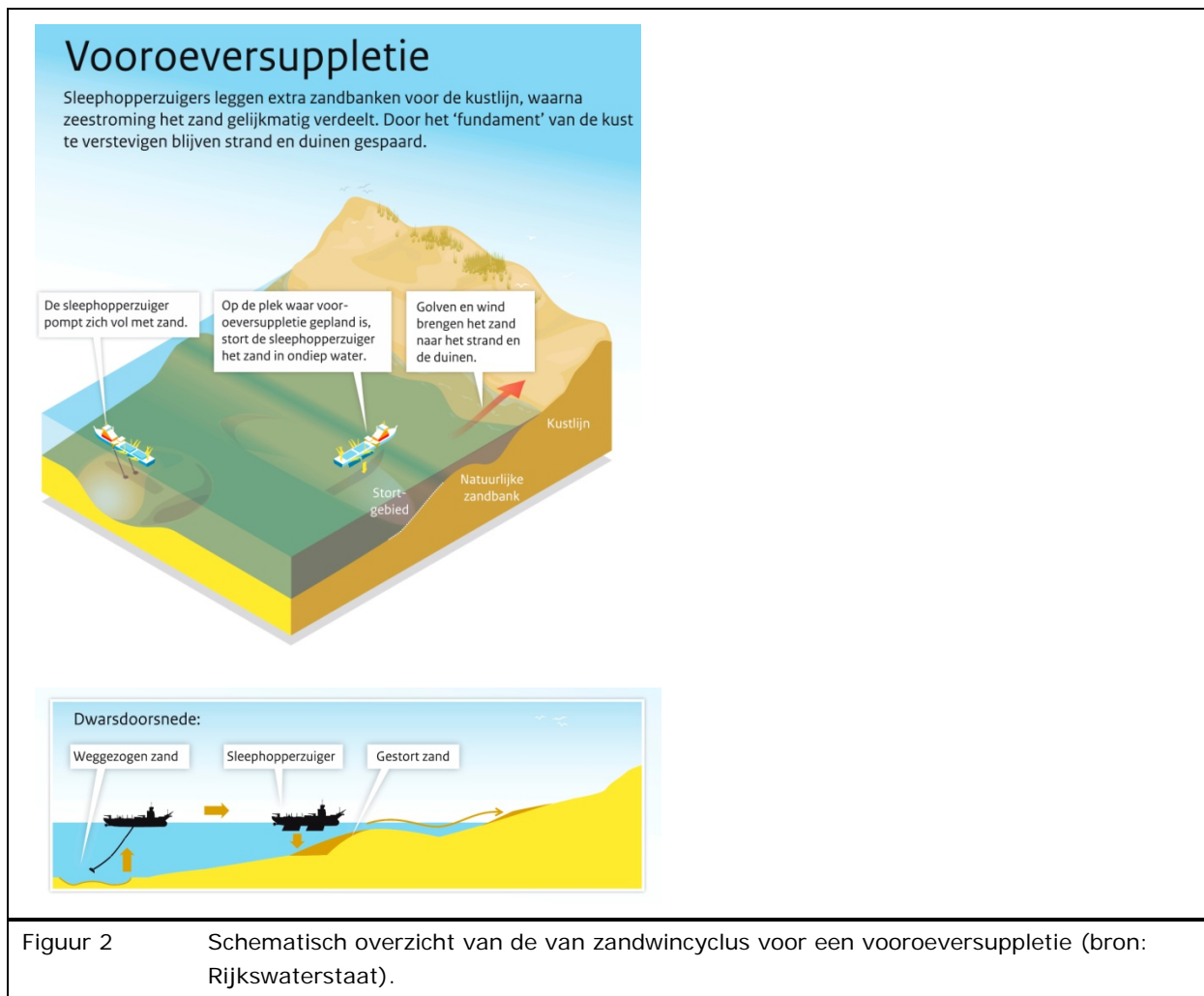
### **2.2 Wettelijk kaders 2007 en 2013**

Een belangrijk aspect voor de evaluatie is het wettelijk kader waarmee toen getoetst is. Twee kaders zijn veranderd in 2013 dan toen de MERren geschreven werden. Voor de Ontgrondingenwet gold in 2007 Regionaal Ontgrondingenplan Noordzee 2 (RON2) als uitwerking. Sinds 2010 gelden Beleidsregels ontgrondingen in rijkswateren. De Beleidsregels vervangen de in het verleden ontwikkelde beleidsnota's, waaronder het RON2. De Beleidsregels beogen de wijze aan te geven waarop Rijkswaterstaat omgaat met aanvragen voor ontgrondingsvergunningen, op welke wijze deze worden beoordeeld, en welke voorwaarden hierop van toepassing zijn. Het uitgangspunt in RON2 voor zonerings was vooral morfologie en in mindere mate ecologie. De Beleidsregels bouwen voort op RON2 en zijn aangevuld met overwegingen uit de Nb-wet (zoals bv de verstoringsafstanden voor zeehonden en vogels).

Voor toetsing aan de Nb-wet geldt dat in 2007 de verbeteropgave H1110 en verbeteropgave Waddenzee beide nog niet speelden. Dit document evalueert de inschatting van de effecten volgens het kader van 2007 en niet volgens de inschatting en beoordeling van 2013.

### **2.3 Het proces van zandwinning**

In Nederland wordt zand gewonnen buiten de doorgetrokken -20 m NAP dieptelijns en binnen de 12-mijls zone. Zand wordt gewonnen met een sleepopperzuiger (Figuur 2). Een sleepopperzuiger is een schip voorzien van één of twee zuigbuizen en een eigen laadruim, het zogenaamde beun. Aan het eind van iedere zuigbuis is een sleepkop bevestigd die dient om het op te zuigen materiaal los te maken en voor de zuigmond te brengen. De sleepopperzuiger baggert al varende met een snelheid van 4 à 7 km/u (2 à 4 knopen). Het baggermengsel wordt het laadruim in gebracht, waar het zand vervolgens de gelegenheid krijgt om te bezinken. De fijne fractie die niet bezinkt (fijn zand en slib) vloeit samen met het water terug in zee (Figuur 4). Dit wordt de overvloed genoemd. Naar mate het laadruim voller wordt zal meer water met sediment terugstromen naar zee. De potentiële effecten van zandwinning kunnen worden opgesplitst in diverse vormen van verstoring en effecten ten gevolge van het vrijkomen van fijn sediment. Zie Tabel 1 voor het ingreep effect schema zoals gebruikt in Boon e.a. (2006 a, b). Het ingreep effect schema uit van Duin e.a. (2007, 2008) lijkt hier veel op.



## 2.4 Ingeschatte effecten van zandwinning

Zandwinning en zandtransport kunnen potentieel leiden tot diverse effecten zoals verstoring en verminderde productie van algen en schelpdieren door extra slib in de waterkolom (Figuur 3, Tabel 1).

### 2.4.1 Slib

Het zand dat wordt gewonnen bevat een (geringe) fractie slib. Dit is het allerfijnste sediment. Dit blijft daardoor een tijd in het water zweven als het eenmaal in suspensie is gebracht (Figuur 3). Tijdens het opzuigen van zand wordt het sediment opgewerveld door de zuigkop terwijl die over de bodem wordt gesleept. Daarnaast zorgt de 'overvloed' van overtollig water met de fijnste sedimentdeeltjes vanuit de beun voor gesuspendeerd slib. Slib en fijn zand in de overvloed verdelen zich over drie compartimenten:

- Veel zand en een klein deel van het slib sedimenteren direct nabij het schip (Gajewski & Uscinowicz, 1993).
- Een ander klein deel van het slib vormt direct een pluim en drijft weg (5-15%, Hitchcock & Drucker, 1996, Aarninkhof e.a. 2010, Spearman e.a. 2011).
- Het grootste gedeelte is een dichtheid gedreven stroom die aanwezig is op de bodem. Het zand hierin is vrij snel uitgezakt (Gajewski & Uscinowicz, 1993, Hitchcock & Bell, 2004). De pluim met achtergebleven slib kan 2-4 meter dik weg drijven tot wel 4.5 km met de getijstrooming mee (Hitchcock & Bell, 2004). Op een (onbekend) moment zal deze pluim in de bodem diffunderen. Het slib wordt dan opgewerveld door golven en getij.

Al het slib komt op een gegeven moment vrij in de waterkolom door stormen en golven en belemmert zo het doorzicht voor algen (die leven en groeien van zonlicht). Dit kan leiden tot een vermindering in totaal productie en van de verlegging van de voorjaarsbloei van algen (van Duin e.a. 2007, 2008). Het gesedimenteerde slib, begraven en niet begraven, kan worden opgewerveld tijdens stormen en op grotere afstand weer bezinken en diffundeert de bodem in. Dit proces herhaalt zich vele malen. Het hoofdeffect voor slib (vermindering doorzicht) en daarmee ook primaire productie (doorzichtafhankelijk) en algenconcentratie is daarmee een far-field<sup>6</sup> effect. Tabel 2 geeft een overzicht van de gemodelleerde toenames in slib en afnames in Chl-a concentraties (van Duin e.a., 2007).

#### 2.4.1.1 Directe effecten van verhoogde concentraties slib

Door verhoogde concentraties slib in het water zou de opnamesnelheid van voedsel door filtrerende schelpdieren verminderd kunnen worden. Deze filterfeeders halen hun voedsel uit het water door het zeewater over hun kieuwen te filteren. Alle deeltjes die niet eetbaar zijn worden ofwel voordat ze ingeslikt kunnen worden uitgescheiden, of worden uitgescheiden in de ontlasting. Bij verhoogde slibconcentraties kan het filterapparaat van deze dieren verstopt raken en kan de vertering worden vertraagd. De schelpdieren kunnen hierdoor mogelijk per tijdseenheid minder energie uit het beschikbare voedsel halen, met een verminderde conditie en eventuele gereduceerde voortplanting tot gevolg.

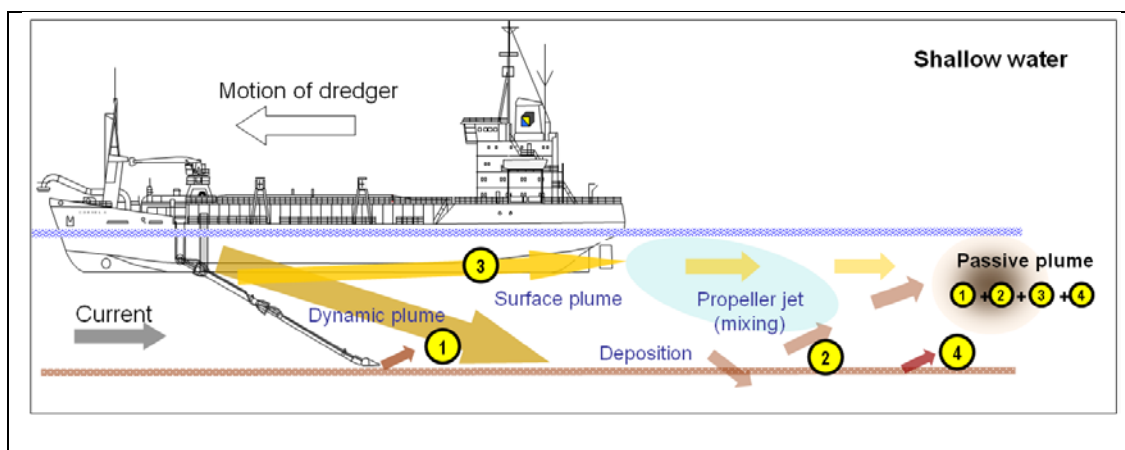
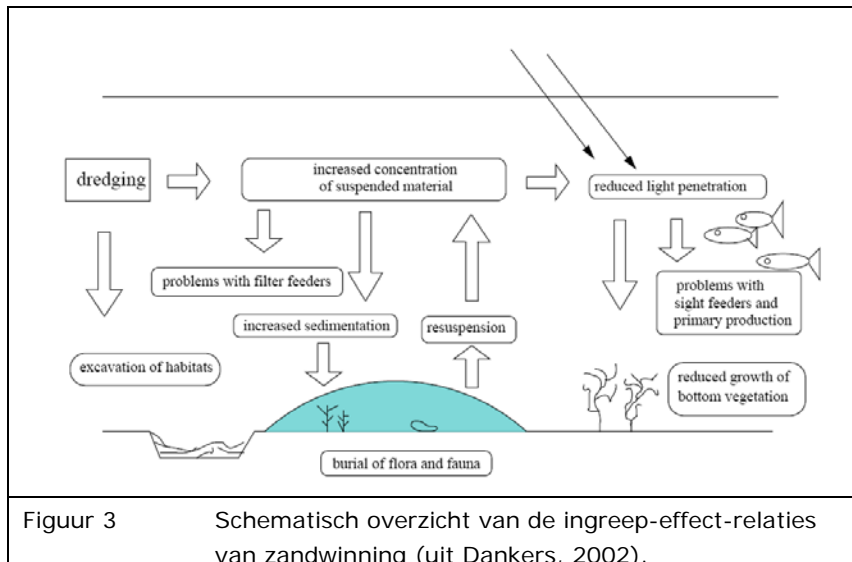
Hogere concentraties slib in de waterkolom beïnvloeden het doorzicht en daarmee mogelijk het vangstsucces van op zicht jagende vogels. Dit is een complex proces. Bij een verminderd zicht neemt de predator de prooi mogelijk minder goed waar. Aan de andere kant beïnvloeden hogere concentraties slib in de waterkolom ook het gedrag en de plaats van de prooidieren in de waterkolom. In Boon e.a. (2006a,b) werden deze effecten ingeschat als minimaal maar werd ook aangedrongen extra zekerheid te verkrijgen voor de grote stern.

#### 2.4.1.2 Indirecte effecten van verhoogde concentraties slib

Verhoogde concentraties slib in de waterkolom kunnen de lichtinval in het water verminderen. Dit kan een effect hebben op de primaire productie in de vorm van een verandering in de timing van de voorjaarsbloei van algen, een vertraagde groei of een verandering in soortensamenstelling. Algen staan aan de basis van het voedselweb. Effecten in de vorm van een vertraging, reductie of verandering in deze 'primaire productie' kunnen mogelijk doorwerken in hogere trofische niveaus zoals schelpdieren, vogels, vissen en zeezoogdieren in zowel de Noordzee als de Waddenzee. Of en zo ja hoe het vrijkomen van slib in de waterkolom doorwerkt in het kust ecosysteem hangt af van vele factoren. In van Duin e.a. (2007, 2008) werd verondersteld dat de toename in slib als gevolg van zandwinning leidt tot beperkte effecten had op primaire productie en op Chl-a concentraties (Tabel 2). Deze beperkte effecten konden moeilijk doorvertaald worden naar de consumenten omdat er maar weinig kwantitatief inzicht is. De aannames waren dat de effecten zodanig klein waren dat ze verwaarloosbaar waren en eventueel ook te compenseren door de overmaat aan detritus. Voor de doorvertaling naar de hogere trofische niveaus werd aangenomen dat door de grootschalige visserij er een grote overmaat aan zoöplankton en benthos beschikbaar voor vissen en vogels (Heath, 2005).

---

<sup>6</sup> near-field: < 1km, mid-field < 15 km, far-field > 15 km van de bron.



#### 2.4.2 Verstoring

Zandwinning en zandtransport kunnen potentieel leiden tot diverse vormen van verstoring. Er kan visuele verstoring optreden tijdens het heen en weer varen van sleepopperzuigers tussen zandwinlocatie en suppletie locatie. Verstoringseffecten kunnen ook optreden door het geluid tijdens baggeren (zowel boven als onderwater). We spreken ook van verstoring wanneer een deel van de zeebodem en geassocieerde flora en fauna wordt verwijderd. Elk van deze verstoringen kan effect hebben op verschillende soortgroepen:

- Visuele verstoring van zeehonden en vogels.
- Geluidverstoring van vissen, vogels en zeezoogdieren.
- Verstoring bodem: aanwezige bodemdiergemeenschappen en geassocieerde visgemeenschappen (Figuur 3).

##### 2.4.2.1 Visuele verstoring en verstoring door geluid

Verstoring door varende en baggerende schepen kan optreden bij verschillende soorten vogels en zeezoogdieren. Hierbij gaat de meeste aandacht uit naar zeezoogdieren en vogelsoorten waarvoor instandhoudingsdoelstellingen zijn geformuleerd binnen Natura 2000-gebieden en die mogelijk sterk plaatsgebonden zijn. De gewone zeehond, grijze zeehond en de bruinvis zijn de meest voorkomende zeezoogdieren in Nederlandse mariene wateren. Plaatsgebonden vogels betreffen vooral soorten zoals de zwarte zee-eend, die vermoedelijk sterk gebonden zijn aan locatie specifiek voorkomen van hoge dichtheden prooidieren.

Bij verstoring is het ten eerste de vraag of soorten inderdaad verstoord en dus 'weggejaagd' worden en ten tweede of de soorten voldoende uitwijkmogelijkheden hebben, en het moeten uitwijken ze niet dermate veel energie kost dat hun overlevingskansen en populatiegrootte als gevolg daarvan afnemen. Zeehonden en bruinvissen hebben grote oppervlakken zee ter beschikking om te foerageren. Daarbij foerageren ze op vissen die niet sterk plaatsgebonden zijn. Er werd daarom aangenomen dat deze soorten mogelijkheden hebben om uit te wijken naar andere locaties (van Duin e.a. 2007, 2008).

Zeehonden die rusten op een plaat tijdens laagwater zijn juist sterk plaatsgebonden en hebben beperkte tot geen uitwijkmogelijkheden. Daarnaast zijn er plekken waar sleepopperzuigers door de geul : plaat constellatie en nautische condities dichter bij dan de juridische verstoringsafstand de plaat moeten passeren (van Duin e.a. 2007, 2008). Mede naar aanleiding hiervan is besloten onderzoek te doen naar de daadwerkelijke verstoring van zeehonden door langsvarende sleepopperzuigers.

Dit is echter niet zo evident voor zwarte zee-eenden waarvan nog niet goed bekend is op welke eisen ze stellen aan foerageerlocaties en hoe flexibel ze zijn in hun prooi keuze. Vermoed wordt dat deze soort zich daar ophoudt waar de zeebodem geschikte prooi soorten in voldoende hoge dichtheden bevat. Regelmatige verstoring van groepen zwarte zee-eenden op dergelijke locaties kan daarom potentieel negatief effect hebben op de populatie omvang. In van Duin e.a. (2007, 2008) werd gesteld dat voor de Noordzeekustzone het moeilijk was de effecten te voorspellen. Daarom is in dit MEP onderzoek verricht naar de koppeling met het benthos op de bodem en de verstoring door schepen.

Bij effecten van geluid tijdens baggeren gaat het vooral om potentiële verstoring van foeragerende en passerende zeezoogdieren. Geluid wordt geproduceerd tijdens het baggeren op de winlocatie en tijdens het varen, waarbij de geluidsbron zich verplaatst in de ruimte. Het effect van langsvarende schepen is snel uitgedoofd. Wel verhogen de extra baggeractiviteiten het achtergrond geluidsniveau omdat er extra scheepsbewegingen bij komen. In van Duin e.a. (2007, 2008) werd ingeschat dat de mate van verstoring vele malen kleiner was dan het potentieel leefgebied en bewegingsmogelijkheden van zeehonden. Er werd ook gesignaleerd dat er nog veel kennisleemtes op het gebied van verstoring van zeezoogdieren door onderwatergeluid geproduceerd door sleepopperzuigers bestonden.

##### 2.4.2.2 Verstoring bodem (verwijdering, bedekking)

Bij het winnen van zand wordt over het gehele oppervlak van de winput de bovenste laag sediment verwijderd. Dit geldt ook voor alle bodemdieren daarin. Hierdoor kunnen waardevolle

bodemdiergemeenschappen worden vernietigd, zoals schelpdierbanken en velden van de schelpkokerworm *Lanice conchilega*. Dit kan weer tot een lokale verstoring van het gehele voedselweb leiden, via soorten die geassocieerd zijn met de bodemdiergemeenschap. Veel soorten bodemdieren planten zich voort via een pelagische larvale fase en daarmee kan in potentie een zandwinput snel gerekoloniseerd worden. De snelheid van rekolonisatie zal afhangen van verschillende omgevingsfactoren (Rozemeijer, 2009). Ook de diepte van de put speelt hierin een rol. In van Duin e.a. (2007, 2008) werd ingeschat dat rekolonisatie tot een gelijkwaardige gemeenschap als voor de winning ongeveer 4-6 jaar duurt. Vanuit bevoegd gezag werd vervolgens aangegeven dat er een kennisleemte is voor de Zeeuwse Banken waar nog zeer weinig gemeten is.

Daarnaast zijn er ook nog effecten van bedekking van het benthos met zand dat vrijkomt bij de overvloed. Afhankelijk van de dikte van de laag kan bedekking kan leiden tot sterfte van het benthos (Bijkerk, 1988, Rozemeijer & Smith, in prep.). Aangezien Rijkswaterstaat meestal het gehele vlak wint, beperkt dit effect zich tot de randen van het wingebied en is het zeer klein.

Tabel 1 Ingreep effect relaties van de activiteiten van zandwinning op de Natura2000-gebieden (op basis van Boon et al., 2006a,b). De coderingen zijn gebruikt in Boon e.a. (2006a,b) en verder niet relevant voor dit overzicht.

Fase	Fysische verandering	(A)biotische verandering	Effect op natuurwaarden
Zandextractie en aanwezigheid/ activiteit hopper	1 verdwijnen bodem	verdwijnen bodemleven	Habitat <b>N1</b>
			Bodemdieren <b>N2</b>
			Vissen <b>N3</b>
			Natuurlijkheid functioneren ecosysteem <b>N6</b>
	2 vrijkomen zwevend stof	verandering primaire productie	Bodemdieren <b>N2</b>
			Vissen <b>N3</b>
			Vogels <b>N4</b>
			Zeezoogdieren <b>N5</b>
		Natuurlijkheid functioneren ecosysteem <b>N6</b>	
		verandering doorzicht	Vissen <b>N3</b>
		Vogels <b>N4</b>	
	sedimentatie	Habitat 1110 <b>Hab</b>	
		Bodemdieren <b>N2</b>	
3 emissies licht en geluid (boven en onder water)	gedragsverandering of sterfte bij fauna	Vissen <b>N3</b>	
		Vogels <b>N4</b>	
		Zeezoogdieren <b>N5</b>	
4 emissies van stoffen naar lucht en water		Bodemdieren <b>N2</b>	
		Natuurlijkheid functioneren ecosysteem <b>N6</b>	
Aanwezigheid zandwinput	5 ontwikkeling nieuwe bodem	(her)vestiging bodemleven	Bodemdieren <b>N2</b>
			Natuurlijkheid functioneren ecosysteem <b>N6</b>

Tabel 2 Overzicht van de relatieve veranderingen van de jaargemiddelde slib- en Chlorofyl-a (Chl-a) concentraties door de zandwinning voor suppleties (voor het scenario kustwaarts, van Duin e.a., 2007, Rozemeijer, 2010).

<b>N2000 gebied</b>		<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>Voordelta</b>	Slib	2,3%	5,7%	4,8%	4,3%	3,3%
	Chl-a	-1,4%	-2,5%	-2,5%	-2,3%	-1,8%
<b>NZKZ</b>	Slib	2,1%	3,9%	3,8%	4,5%	4,5%
	Chl-a	0,2%	-0,2%	-0,4%	-0,3%	-0,3%

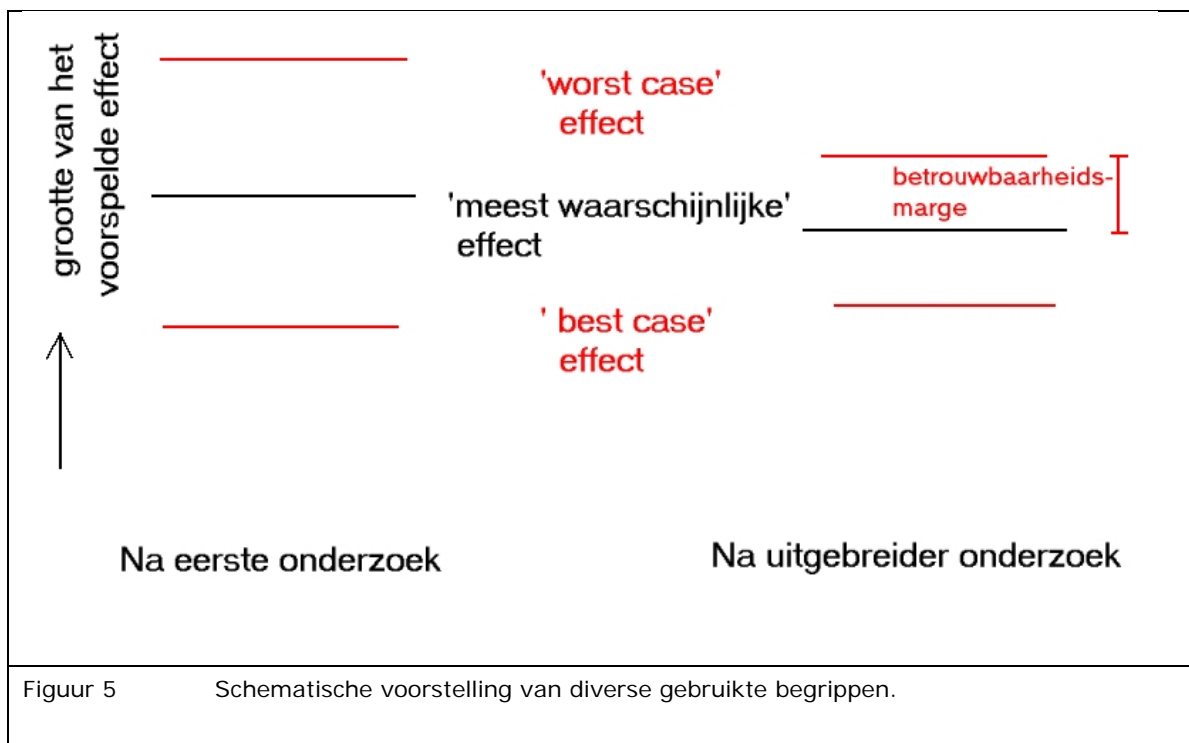
### 3 Slib en slibmodellering

#### 3.1 Motivatie van het onderzoek

De zeebodem van de zandwingebieden bevat een kleine hoeveelheid slib, gemiddeld rond de 2.5%. Zeezandwinning kan lange-termijn-effecten hebben op de troebelheid van zeewater, omdat een groot deel van het slib in het gewonnen sediment in zee terecht komt via de overflow van de sleeplopperzuiger. Dit kan weer invloed hebben op het lichtklimaat onder water, algengroei, voedselbeschikbaarheid voor vislarven en schelpdieren en hogere trofische niveaus.

Voor de effectschatting van zandwinning worden meestal numerieke modellen ingezet (zie b.v. Harezlak e.a. 2012a,b)<sup>7</sup>. Modelmatige voorspellingen van deze effecten hebben een bepaalde mate van onnauwkeurigheid en onzekerheid waarmee rekening moet worden gehouden. Het "voorspelde" effect (van zandwinning in dit geval) moet de bovengrens zijn van alle mogelijke effecten die enige waarschijnlijkheid hebben (b.v. 95 %: het moet gaan om een redelijke "worst case"). Dit betekent dat het "voorspelde" effect altijd een overschatting vertegenwoordigt van het meest waarschijnlijke effect, de beste mogelijke schatting van het werkelijke effect.

Het is zeer onwenselijk als het "voorspelde" effect een milieunorm overschrijdt en het "meest waarschijnlijke" effect en het werkelijke effect niet. Verder onderzoek is dan nodig om de bandbreedte van onzekerheid (betrouwbaarheidsmarge) te verkleinen waardoor een "worst case" voorspelling dichterbij het 'meest waarschijnlijke' effect (en daarmee ook bij het werkelijke effect) komt te liggen (zie Figuur 5). Zo kan mogelijk voorkomen worden dat er onnodige uitvoeringsvoorwaarden worden gekoppeld aan de vergunning.



Figuur 5 Schematische voorstelling van diverse gebruikte begrippen.

<sup>7</sup> N.B. de referenties die genoemd worden zijn dan wel rapporten uit het MEP dan wel ondersteunende literatuur. Zie de tabellen aan het eind van ieder hoofdstuk voor de MEP rapportages en de hoofdstukken 12 en 13 voor het overzicht.



Er worden in het MER 2008-2012 drie belangrijke kennisleemten met betrekking tot de modellering van de effecten van zandwinning op slibconcentraties genoemd:

- 1) Wat is de omvang en massa van de vertroebelingspluim veroorzaakt door een zandwinning (op diverse ruimte- en tijdschalen)?
- 2) Wat zijn de bezinksnelheden van het vrijgekomen slib? Wat zijn de kritische stroomsnelheden voor erosie en sedimentatie?
- 3) Wat is de uitwisselingsnelheid van slib tussen waterkolom en het dynamische deel van de zeebodem (de bovenste 30 cm)?

Kennisleemte 1 gaat in feite over het effect van zandwinning op troebelheid en het onderwater-lichtklimaat. Kennisleemtes 2 en 3 gaan over de waarden van parameters die het slibmodel nodig heeft om voorspellingen te kunnen doen over effecten op troebelheid en lichtklimaat. Toename van de kennis op deze gebieden leidt dus ook tot een verbetering m.b.t. kennisleemte 1.

Diverse onderzoeken zijn uitgevoerd om de bovenstaande kennisleemtes op te vullen. De meetcampagnes (a, en b) genoemd onder hoofdstuk 3.2 zijn bedoeld om direct uit veldmetingen de vertroebelingeffecten van één specifieke zandwinning in kaart te brengen. De onderdelen c t/m h zijn bedoeld om waarden van modelparameters nauwkeuriger in te schatten of om tot betere modelformuleringen van specifieke processen te komen.

De onderdelen c en d zijn hiervan de meest omvangrijke. Het betreft langlopende (meerdere jaren) in situ metingen naar de parameters die cruciaal zijn bij de modellering van slibeffecten van zandwinning en waarvan de kennis in 2008 zodanig was, dat de modelresultaten met een ruime onzekerheidsmarge waren omgeven. De parameters in kwestie vallen allen onder kennisleemten 2 en vooral 3. Om deze leemte op te vullen zijn gedurende een aantal jaren het veranderlijke slibgehalte van het bovenste deel van de zeebodem gemeten en de slibgehalten, golfkrachten en stroomsnelheden van het zeewater er vlak boven. Dit is de meest directe manier om onder allerlei omstandigheden de wisselwerking tussen water en bodem in beeld te brengen.

### 3.2 Korte samenvatting en conclusies

De volgende meetcampagnes en model- en velddatastudies zijn uitgevoerd tussen mei 2007 en oktober 2012:

- a) *Meting van de T0 situatie in mei 2007 en meting van de slibpluim van een grote zandwinning nabij Huisduinen in september en oktober 2007 in combinatie met een modelsimulatie.*

In het mid-field gebied<sup>8</sup> is een toename van de slibconcentraties van enkele mg/l gemeten (Talmon, 2008a, 2008b). Deze resultaten zijn gebruikt om het numerieke model van de suspensiepluim te kalibreren. Met dit model is ook het far-field effect doorgerekend. Hierin was de slibtoename tijdelijk en minder dan 2 mg/l (Grasmeijer & Eleveld, 2010). Met de veldmetingen en het numerieke model is de ontwikkeling van de vertroebelingspluim van een enkele zandwinning gedurende enkele maanden in beeld gebracht. Deze activiteit geeft antwoord op de vraag met betrekking tot het effect van zandwinning op troebelheid en het onderwater- lichtklimaat (kennisleemte 1).

**Conclusie:** de meting en de modellering hebben geleid tot beter inzicht in mid-field verspreidingspatronen van slibpluimen. De feitelijke T0-situatie als referentiebeeld (voor effectbepalingen van zandwinning) kon niet met voldoende detail uit de metingen bepaald worden.

- b) *Analyse van korte en lange termijn satelliet- en in situ data van de troebelheid van het oppervlaktewater van de Nederlandse kustzone.* Hier zijn vier verschillende datasets voor gebruikt (Grasmeijer, 2010, Grasmeijer & Eleveld, 2010):

---

<sup>8</sup>: Near-field: < 1km, mid-field < 15 km, far-field > 15 km van de bron.

1. Concentratiewaarden (MWTL) van zwevende stof uit de periode 1975-1983 zijn vergeleken met waarden uit de periode 1984 -2008. De gehele periode is op trends onderzocht. De meeste meetstations vertonen een niet significant dalende trend. Een enkele heeft een niet significant stijgende trend (de zandwinningen begonnen in 1979 en werden in het begin van de jaren '80 echt grootschalig).
2. Metingen met een bodemframe (CEFAS Minipod) en een oppervlakteboei (CEFAS Smart Buoy) op 2 en 5 km uit de kust van Noordwijk zijn gebruikt om basale "data-driven" slibmodellen (een 1DV procesmodel en een neurale netwerk) af te regelen. Golfactiviteit blijkt volgens deze modellen de belangrijkste verklarende factor te zijn voor veranderingen in slibconcentraties.
3. Resultaten van de T0-meting in mei 2007 zijn vergeleken met die van de pluimmeting in september en oktober 2007 en met MWTL metingen. Het verschil tussen T0- en T1-metresultaten valt geheel binnen de natuurlijke variatie van de slibgehalten in de Nederlandse kustzone.
4. Remote sensing MERIS-RR satellietdata uit 2003-2007. Analyse van tijdreeksen van de troebelheid van de bovenste waterlaag van het zeegebied tussen Callantsoog en Huisduinen en uitschieters daarin die mogelijk het gevolg zijn van zandwinning of baggerstorten.

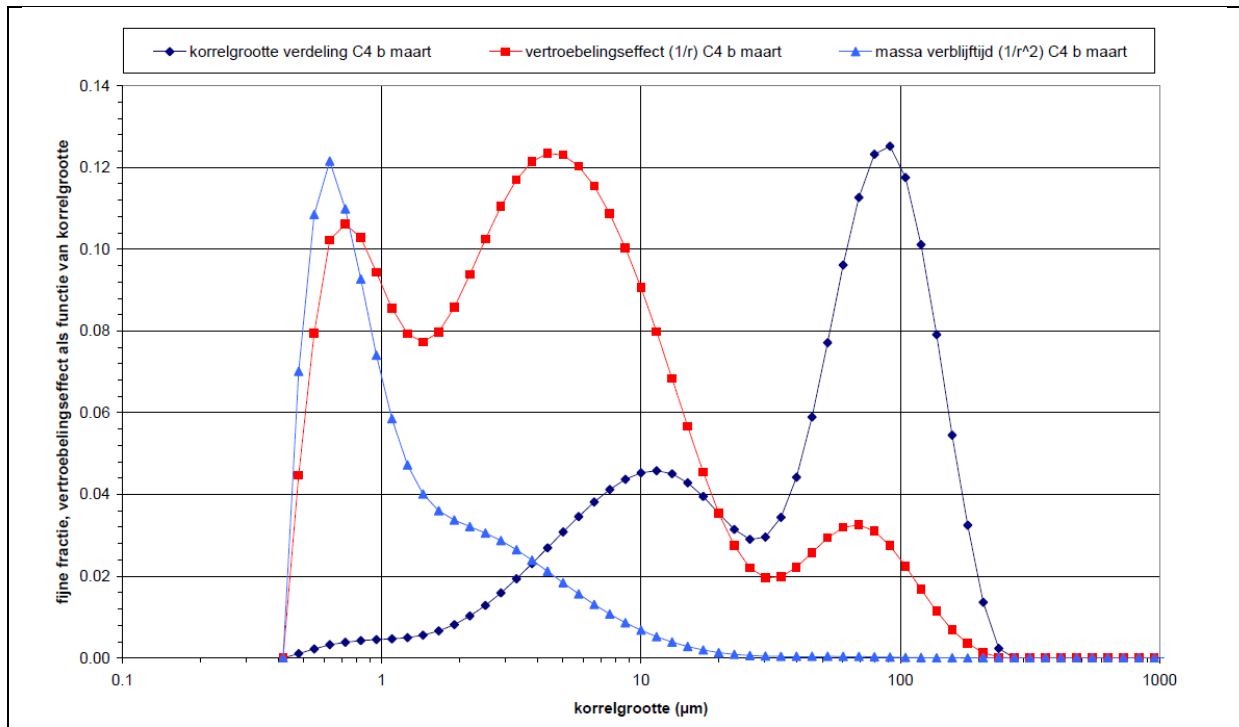
**Conclusie:** Op satellietbeelden is geen significant effect van zandwinning te zien.

Door de conclusies van dit onderzoek (Grasmeijer & Eleveld, 2010) is de ontwikkeling van de troebelheid rond zandwingebieden gedurende enkele maanden in beeld gebracht (kennisleemte 1). Tevens is aangetoond dat de invloed van zandwinning niet merkbaar is in de dataset afkomstig uit de standaard troebelheidsmetingen in de Nederlandse kustzone. Deze dataset omspant meerdere decennia.

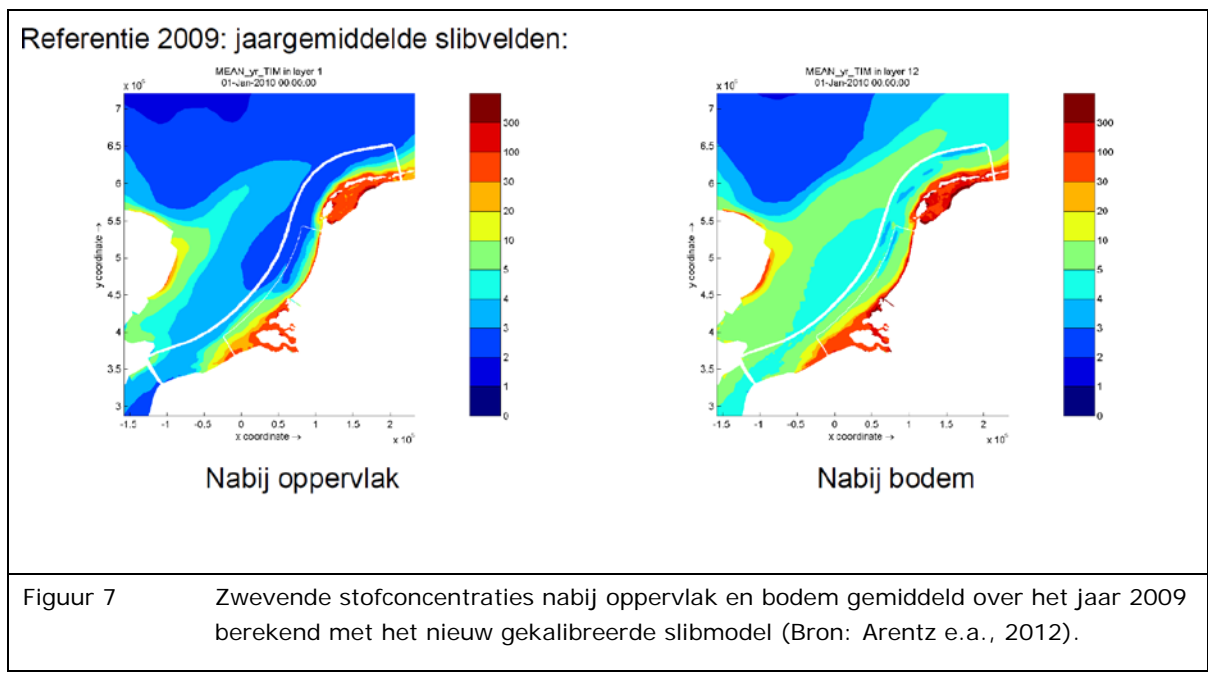
- c) *Meting van slibconcentraties in de dynamische bovenlaag van de zeebodem in kust-dwarse en kust-langse raaien nabij Egmond en Camperduin in 10 meetcampagnes in 2009, 2010 en 2012.* Hierbij is gebruik gemaakt van de Medusa sonde waarmee de natuurlijke radioactiviteit (o.a. Uranium en Thorium isotopen) van het slib in de zeebodem wordt gemeten. Op vaste punten zijn met de boxcore bodemmonsters genomen. De resultaten geven negatieve correlaties ( $R^2 = 0.4$  à  $0.5$ ) aan tussen de Uranium en Thorium concentraties (evenredig met bodemslibconcentraties) en de gemiddelde golfhoogten gedurende 24 tot 48 uur voor de meting (de Vries e.a. 2012, 2013). Met deze informatie is de bodem-wateruitwisseling in slibmodellen beter gereproduceerd (Harezlak e.a., 2012a,b).
- d) *Semicontinue meting van troebelheid, Chl-a, temperatuur en geleidendheid, stroomsnelheid, golfactiviteit en veranderingen van bodemhoogte in 2010, 2011 en 2012 op semipermanente bodemframes (NIOZ lander).* De meetresultaten geven een duidelijke respons aan van zwevende stof/sediment concentraties en bodemhoogte-veranderingen op verhoogde golfactiviteit. Hieruit kunnen modelparameters voor golfinvloed worden bepaald.
- e) Optimaliseren en standaardiseren van de analysemethode voor bodemmonsters (Blok & Arentz, 2012). Om de hoeveelheid slib in een bodemmonster te bepalen wordt een korrelgrootte-analyse uitgevoerd. Slib kan dan gedefinieerd worden als het materiaal met korrelgrootte  $< 63 \mu\text{m}$  met als subklasse  $< 35 \mu\text{m}$ . Om deze subklasse ging het onderzoek. De uitkomst van een korrelgrootteonderzoek is altijd sterk afhankelijk van de methode van voorbehandeling en de meetmethode zelf (laserdiffractie, pipetteren, coulter counter, zeven en wegen etc.). Er is een zinvolle voorbehandelingsmethode gevonden die een optimaal resultaat geeft bij een laserdiffractiemeting.
- f) *Verzamelen en analyseren (korrelgroottes) van boxcore bodemmonsters op een aantal vaste meetpunten tijdens alle vaartochten in 2009 – 2012 met het doel om vast te kunnen stellen of slib afkomstig van zandwinning zich in de bodem nestelt.* De korrelgrootteverdelingen beneden de  $35 \mu\text{m}$

van de bodemmonsters komen overeen met de in 2009 gemeten verdelingen in de waterkolom. De bodemmonsters bevatten echter ook veel materiaal groter dan 35  $\mu\text{m}$ . Dit materiaal komt niet of nauwelijks voor in de zwevende stofmonsters, omdat het door zijn grotere valsnelheid nooit lang in suspensie is (Figuur 6 lichtblauwe lijn). In Figuur 6 is ook goed te zien dat het materiaal uit de bodemmonsters met korrelgroottes rond de 5  $\mu\text{m}$  een zeer grote invloed kan hebben op de troebelheid als het in suspensie komt. Dit komt omdat dit materiaal relatief veel (zonlicht absorberend) oppervlak heeft. Dit geldt ook voor het materiaal rond de 0.7  $\mu\text{m}$ , dat bovendien een relatief lange verblijftijd in de waterkolom heeft nadat het uit de bodem is opgewoeld.

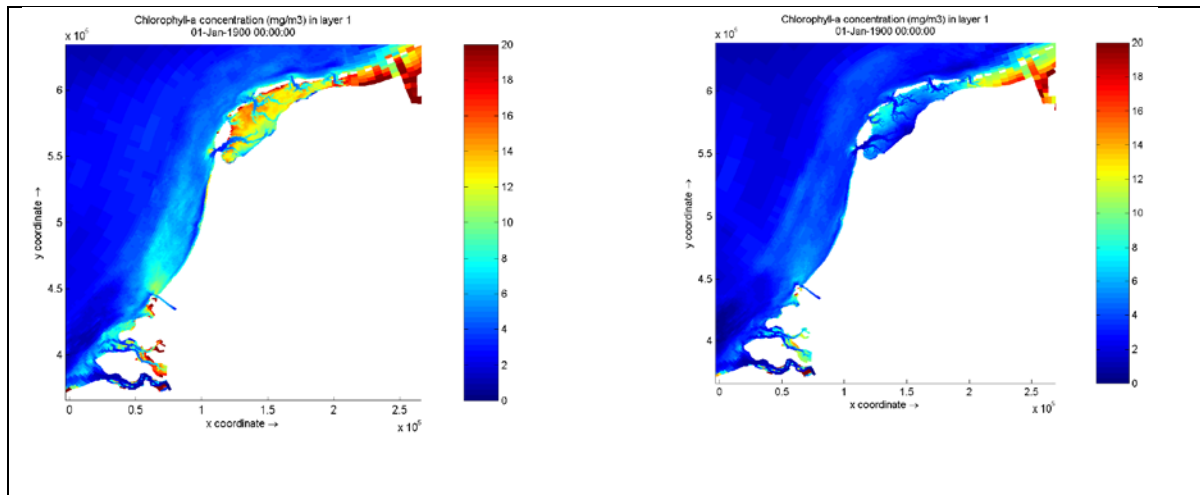
- g) *Modelberekeningen van de cadmiumconcentraties van de zeebodem van de Nederlandse kustzone in vergelijking met velddata van 1980 tot 2000.* De veranderingen in cadmium zijn evenredig met de uitwisseling van slib tussen de waterkolom en de dynamische bovenlaag van de zeebodem, omdat cadmium hier voornamelijk aan slib is geadsorbeerd. De beschikbare cadmiumdata zijn gebruikt om de water-bodem-uitwisselingscoëfficiënten van het slibtransportmodel af te regelen. De modelresultaten geven relatief korte verblijftijden aan voor cadmium en slib in de Nederlandse kustzone: ca. 2 jaar tussen Hoek van Holland en Huisduinen (Van Oeveren, 2011, van Kessel e.a., 2012). De resultaten zijn gebruikt voor de MER Zandwinning 2013-2017 van Rijkswaterstaat (Harezlak e.a. 2012a).
- h) *Modelkalibratie en -berekeningen van de slibconcentraties in bodem en water van de Nederlandse kustzone in 2010 en 2011 en vergelijking met de meetwaarden van de Medusa sonde, de boxcore en de bodemframes.* Deze activiteiten hebben een verbeterd slibmodel opgeleverd waarmee troebelheid en verblijftijden van slib nauwkeuriger worden berekend. De respons van de bodemslibgehalten op golfactiviteit komt in grote lijnen overeen met de meetwaarden. De berekende zwevende-stofconcentraties (Figuur 7) komen goed overeen met de validatiedata en zijn nauwkeurig genoeg om als basis te dienen voor de verdere ecologische modellering in dit geval met het Generiek Estuarium Model (GEM). Dit model berekent het tijdsverloop van concentraties van o.a. nutriënten en algen en daarmee primaire productie en concentraties van Chl-a (Figuur 8) en detritus (zie Arentz e.a. 2012). Naast de input van nutriënten is de hoeveelheid licht onder water een belangrijke parameter voor de primaire productie. Deze lichthoeveelheid wordt berekend uit de zoninstraling en de lichtextinctie door zwevende stoffen zoals slib. Het verloop en de verdeling van de slibconcentraties in ruimte en tijd zijn dus belangrijke invoergrootheden voor het GEM evenals de bijbehorende (constante) extinctiecoëfficiënt. Deze coëfficiënt is o.a. afhankelijk van de korreldiameter en de kleur van het slib. Hij wordt doorgaans afgeregeld op een optimale match tussen gemeten en berekende Chl-a waarden. Dat was ook in dit onderzoek het geval (Figuur 9).



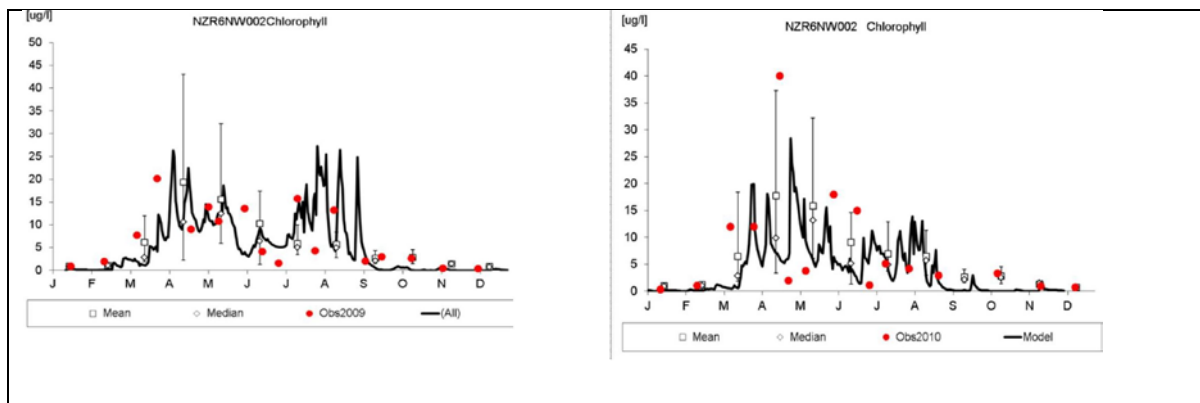
Figuur 6 Korrelgrootteverdeling (donkerblauw), vertroebelingseffect (rood) en verblijftijd in de waterkolom (lichtblauw) als functie van de korrelgrootte van de fijne fractie (gezeefd op 90 µm) van een bodemmonster (Bron: Blok & Arentz, 2012).



Figuur 7 Zwevende stofconcentraties nabij oppervlak en bodem gemiddeld over het jaar 2009 berekend met het nieuw gekalibreerde slibmodel (Bron: Arentz e.a., 2012).



Figuur 8 Chlorofyl-a concentraties ( $\mu\text{g/l}$ ) berekend op basis van modelmatig berekende slibvelden. Gemiddeld over 2009 (links) en over 2010 (rechts) (Bron: Arentz e.a., 2012).



Figuur 9 Ontwikkeling van de berekende Chlorofyl-a concentraties nabij het wateroppervlak op 2 km uit de kust van Noordwijk voor 2009 (links) en 2010 (rechts). De rode stippen zijn de waarden gemeten op 2 m onder het wateroppervlak (Bron: Arentz e.a., 2012).

### 3.2.1 Conclusies

De resultaten van bovengenoemde onderzoeksactiviteiten hebben geleid tot een belangrijke verbetering van de modellen die gebruikt worden voor het voorspellen van korte en lange termijn-effecten van zeezandwinning op de troebelheid. Vooral de nauwkeurigheid van de lange termijnvoorspellingen is sterk verbeterd en de onzekerheid met betrekking tot de duur van het effect is aanzienlijk teruggebracht; de voorspelling met het oude model dat voor de MER zandwinning 2008 is gebruikt gaf een vervaltijd<sup>9</sup> van 4 jaar aan (van Prooijen e.a., 2006). Het meest recente model voorspelt een worst-case effect met een vervaltijd van 2 jaar (Harezlak e.a., 2012a).

<sup>9</sup> Na de vervaltijd is 1/3 van het ingebrachte slib nog over.

### 3.3 Beantwoording van de evaluatievragen

In Ellerbroek e.a. (2008) zijn evaluatievragen geformuleerd die hieronder beantwoord worden.

#### 3.3.1 *Waren de (belangrijkste) effectvoorspellingen in de MER 2008-2013 juist?*

De effectvoorspelling was in zoverre juist dat het voorspelde effect inderdaad een "worst-case" effect is gebleken en een overschatting van het meest waarschijnlijke effect. Het "worst-case" effect volgens de nieuwste inzichten heeft een veel kortere tijdsduur.

#### 3.3.2 *Is er extra kennis gegenereerd i.v.m. de gesignaleerde leemten in kennis?*

Op het terrein van alle gesignaleerde kennisleemten is nieuwe kennis gegenereerd. Op het gebied van processen van bodem-wateruitwisseling ontbreekt nog steeds veel kennis, maar er zijn werkbare parameterisaties gevonden waarmee effectvoorspelling gemaakt kunnen worden, die op dit moment betrouwbaar genoeg zijn voor de MER zandwinning 2013-2017 (Harezlak e.a., 2012a,b).

#### 3.3.3 *Is er extra kennis gegenereerd i.v.m. aangescherpte eisen uit natuurbescherming?*

Op dit moment is er voldoende kennis om voorspellingen te doen t.a.v. de huidige hoeveelheden te winnen zand en t.a.v. de huidige eisen m.b.t. natuurbescherming. Echter, bij een toename van de te winnen zandhoeveelheden of een verscherping van de milieueisen zouden de modelresultaten misschien aangeven dat niet meer aan alle milieueisen wordt voldaan. Een algehele toename b.v. met 28 Mm<sup>3</sup> naar 40 Mm<sup>3</sup> totaal of een lokale verhoging van 8 Mm<sup>3</sup> nabij de Waddenzee leveren naar verwachting (Harezlak e.a., 2012a,b) zoveel extra slib op dat de verbeteropgave voor de Waddenzee m.b.t. enkele habitats en soorten mogelijk in gevaar komt. Omdat modelvoorspellingen geen onderschatting mogen geven en dus altijd een overschatting zijn van het werkelijke effect, is het in zo'n geval nodig een nog nauwkeuriger voorspelling te maken met een naar verwachting kleiner geschat worst case effect (wat echter *a priori* nog geen zekerheid geeft dat dit 'nieuwe' effect wel voldoet aan de milieueisen). Voor een betere nauwkeurigheid moet het slibverspreidingsmodel verbeterd worden en daarvoor is meer kennis nodig met betrekking tot bepaalde kennisleemten (zie kennisleemten in Tabel 1).

#### 3.3.4 *Welke inzichten in effecten zijn verkregen die kunnen leiden tot het bijstellen van uitvoeringseisen en eventuele kostenbesparing?*

Omtrent de duur van lange-termijn-effecten op troebelheid in Natura2000 gebieden zijn de inzichten verbeterd, aangezien de modellen nauwkeuriger zijn geworden. Dit kan mogelijk leiden tot het verlagen of het achterwege blijven van eventuele uitvoeringseisen t.a.v. winlocaties, winhoeveelheden of het gebruik van milieuvriendelijke baggertechnieken. Dit als gevolg van het feit dat een nauwkeuriger model bijna altijd een kleiner effect voorspelt dan een onnauwkeurig model dat immers altijd de onzekerheidsmarge bij het effect moet optellen.

### 3.4 Rapportages van het verrichte onderzoek

Tabel 3 Verzameltabel verrichte onderzoeken voor slib.					
Onderzoek	Doel	Methode	Resultaat	Nog kennis-leemtes ?	Referentie
Meting slibpluim Huisduinen 2007	Maximale concentratie  Grootte slibmassa  kennisleemte 1	Concentratie-metingen tot 14 km van zandwinning	Oppervlakte concentraties in mid-field kleiner dan 2 mg/l	Vermoedelijk nog slibmassa vlak boven de bodem die niet is gemeten	Talmon A.M. (2008a) Deltares rapport Z4481. Talmon A.M. (2008b) Deltares rapport Z4521. Talmon A.M. (2007) WL   Delft hydraulics rapport Z4426. <sup>10</sup>
Modellering slibpluim Huisduinen 2007	Maximale concentratie in far-field (> 14 km)  kennisleemte 1	3-D numerieke simulatie	Oppervlakte-concentraties in far-field zijn tijdelijk en kleiner dan 2 mg/l	Massa en bezinksnelheid van slib uit zandwinning	Grasmeijer, B.T. (2010a) Alkyon rapport 4500150916
Statistische analyse van MWTL metingen 1975 - 2008	Zijn slibgehalten toegenomen na het begin van de zeezandwinning in 1979?  kennisleemte 1	Trendanalyse op genormaliseerde meetwaarden	Er zijn geen significante lange termijn trends aangetroffen		Grasmeijer, B.T. (2010b) Alkyon rapport A2518.
1DV modellering, neuraal netwerk en bestaande CEFAS meetreeksen bij Noordwijk	Wat zijn de natuurlijke oorzaken van variabiliteit van slib-concentraties?  kennisleemte 2	1DV procesmodel en neuraal netwerk afregelen op seizoensmetingen van CEFAS	Oppervlaktegolven zijn de dominante factor	Zijn er nog meer seizoenseffecten (biologie, temperatuur) ?	Grasmeijer, B.T. (2010b) Alkyon rapport A2518.
Vergelijking T0- en T1- in situ metingen Huisduinen 2007	Is er een significante korte termijn toename van de slibconcentraties door zandwinning?  kennisleemte 1	Verskil bepalen tussen T0 en T1	Het verschil valt volledig binnen de natuurlijke variatie	Hoe bepalen natuurlijke invloeden het korte termijn beeld?	Grasmeijer, B.T., M.A. Eleveld (2010) Alkyon en Vrije Universiteit Amsterdam rapport A2273R2r1.
Analyse MERIS satellietbeelden	Is er een significante toename van de slibconcentraties door zandwinning?  kennisleemte 1	Verskil bepalen tussen T0 en T1 bepaald uit tijdreeksen van satellietbeelden	Er is geen significant effect (tov de natuurlijke variatie) te zien.	De analyse van reeksen langer dan 4 jaar laat mogelijk wel een significant effect zien	Grasmeijer, B.T., Eleveld, M.A. (2010) Alkyon en Vrije Universiteit Amsterdam rapport A2273R2r1.
Medusa	Hoe varieert het	Medusameet-	Er is een	Seizoenseffect is	de Vries, S., W.

<sup>10</sup> MEP 2007

metingen en boxcore monsternames tussen Egmond en Camperduin	slibgehalte in de bovenste 30 cm van de zeebodem. Is er een effect van zandwinning? kennisleemte 3	tochten (10x) en monsternames op verschillende vaste punten in diverse seizoenen verspreid over vier jaar	significante correlatie tussen bodemslibgehalten en golfhoogten. Er is een zwak seizoenseffect	mogelijk sterker. De variabiliteit van jaar tot jaar lijkt nu groter dan de seizoensvariatie.	Rooke, R.L. Koomans (2012) Medusa rapport 2012-P-391.
NIOZ-lander metingen	Kwantificeren van slibprocessen bij de bodem. Schatting modelparameters kennisleemte 2	Metten van variaties, correlaties en verticale verdelingen van fysische parameters met semipermanent bodemframe	Sterke verbanden tussen de gemeten fysische parameters zijn aanwezig, vooral in relatie met golfinvloeden	De geobserveerde verbanden moeten nog verwerkt worden tot modelparametrisaties.	Witbaard R., G.C.A. Duineveld, M. Bergman(2011, 2012, 2013) NIOZ rapporten project 2735.
Analyse van boxcore monsters op korrelgrootteverdeling	Vergelijken van korrelgrootteverdelingen van bodemmonsters met Medusa resultaten kennisleemte 3	Combinatie van voorberekingsmethoden, Malvern analyse en zeefmethodes geoptimaliseerd	Er is nu een eenduidige methode voor monsteranalyse	De grote variabiliteit op zeer kleine ruimteschalen levert nog een bepaalde onzekerheid op	Blok, B., L. Arentz (2012) Deltares rapport 1205620-000.
Simulatie cadmium concentraties	Berekenen van de verblijftijd van slib in de zeebodem kennisleemte 3	Een cadmium model wordt afgeregeld op bestaande meetwaarden. De verblijftijd van cadmium is sterk gekoppeld aan die van slib (vanwege adsorptie)	De verblijftijd van slib voor de Hollandse kust bedraagt enkele jaren.	Veranderende klimatologische omstandigheden kunnen hier grote invloed op hebben	Van Kessel, T., M.C. van Oeveren-Theeuwes, A.A. van Rooijen (2012). Deltares rapport 1203191-001. Van Oeveren-Theeuwes (2012). Deltares rapport 1203191-000
Modellsimulatie slib 2010- 2011	Verbetering model prognoses van troebelheid kennisleemte 1	Het slibmodel wordt gekalibreerd en gevalideerd aan de nieuw ingewonnen data	De resultaten van het slibmodel zijn nu geschikt als basis voor ecologische modellering	Als hogere eisen aan de nauwkeurigheid worden gesteld moet de afregeling van de modelparameters worden voortgezet. Flocculatie van slib in het model opnemen.	Arentz, L.,V. -Iak, T. van Kessel, T. van der Kaay (2012) Deltares rapport 1205620-000-ZKS-0014.
Effectschatting zandwinnings Rijkswaterstaat en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier	Theoretische schatting wat zandwinning aan extra slib en effecten op algen geeft	Toepassing verbeterde Delft3Dmodellen	Zandwinnings op kleine schaal hebben weinig effecten	Als hogere eisen aan de nauwkeurigheid worden gesteld moet de afregeling van de modelparameters worden	Harezlak, V., A. van Rooijen, Y. Friocourt, T. van Kessel, H.Los (2012a,b) Deltares rapport 1204963-000-0040,0041.



				voortgezet.	
Monitoring slib t.b.v. MEP winning suppletiezand Noordzee metingen 2012 en statistische analyse metingen 2009-2012.	Overkoepelende rapportage: Hoe varieert het slibgehalte in de bovenste 30 cm van de zeebodem. Is er een effect van zandwinning? kennisleemte 3	Overzicht en extra statistische analyses Medusameet-tochten (10x) en monsternames op verschillende vaste punten in diverse seizoenen verspreid over vier jaar	Er is een significante correlatie tussen bodemslibgehalten en golfhoogten. Er is een zwak seizoenseffect	Seizoenseffect is mogelijk sterker. De variabiliteit tussen jaren lijkt nu groter dan de seizoensvariatie.	de Vries S., Rooke W., Koomans R.L. (2013). Medusa rapport 2012-P-391-v4 04/2013.
Grain size distribution analysis of bottom samples.	Literatuur survey over methodiek	Combinatie van voorberekingsmethoden, Malvern analyse en zeefmethodes bekeken	Duidelijk overzicht	toepassen	Blok B. (2013). Deltares Memo, 21 March 2013.

## 4 Impact van slib en algen op benthos

### 4.1 Motivatie onderzoek

In het MER is een belangrijk uitgangspunt dat er geen beperking van groei door tekort voedsel is voor het pelagische systeem en het benthische systeem en dat benthos maximaal kan groeien (zie van Duin e.a., 2007, 2008 en ook Berkenbosch e.a., 2007). Voedselkwantiteit en -kwaliteit (algen versus detritus) kunnen wel degelijk sturend zijn op het aantal individuen, de grootte van de individuen en de samenstelling van gemeenschappen in de Noordzee (Graf, 1992, Rosenberg, 1995, Frid e.a., 1996, 2009, Boon e.a., 1998, Wiesink & Kröncke, 2003a,b, 2005, Kröncke e.a., 2004, 2011, Reiss & Kröncke, 2005, Phillipart e.a., 2007a,b, 2011, Schüchel e.a., 2010, Boon & Duineveld, 2012). Ook voor estuaria is het bekend dat de voedselbeschikbaarheid limiterend kan zijn voor de groei van benthos (Herman e.a., 1999, Troost e.a., 2010). Van heel veel suspension-feeders (mosselen, oesters, kokkels) zijn al enige tijd fysiologische groeimodellen beschikbaar, die gebruikt kunnen worden om de relatie tussen omgevingsfactoren en groei te onderzoeken (Dynamic Energy Budget modelling, DEB, van der Veer e.a., 2006, Cardoso, 2007, Cardoso e.a. 2006). Voor de Oosterschelde zijn die DEB modellen volledig geïntegreerd met de algenvoorspellingsmodule van Delft3D (GEM, zie bijvoorbeeld Troost e.a., 2010) maar ook als losse module om op basis van gemeten of theoretische algen-waarden de groei en kwaliteit van schelpdieren te voorspellen, zie bv Cardoso (2007) en ook Schellekens (2012a,b). Voor de Nederlandse Kustzone is de relatie tussen voedselvoorziening (algen) voor benthos en groei nog relatief onbekend. *Macoma balthica* (nonnetje), is een soort met mogelijkheden tot zowel suspension feeding als detritus feeding. Voor *Macoma* in de kustzone is met een DEB benadering en veldgegevens, gemodelleerd dat er de groei theoretisch nagenoeg maximaal is (Cardoso, 2007, Cardoso e.a., 2006). *Macoma* kan nog veel energie halen uit de overdaad aan detritus (van Duin e.a., 2007, 2008). Echter van het meest dominante schelpdier in de kustzone *Ensis directus* (*Ensis*) is nog veel onbekend qua voedselrelaties en andere aspecten van de ecologie.

In het MER van Duin e.a (2007) werd gesteld dat gezien de kleine veranderingen in primaire productie die optreden door de winning van suppletiezand in de periode 2008-2012, er waarschijnlijk geen beperking van groei van benthos door minder primaire productie optreedt. Het was wel duidelijk een leemte in kennis.

Groei hangt af van de beschikbaarheid aan algen. Dit is een relatie waarbij groei in eerste instantie lineair toeneemt met de algenc concentratie (Chl-a) om vervolgens af te vlakken tot een plateau (een saturatie volgens de Holling Type II respons<sup>11</sup>) omdat in toenemende mate bv. De voedselopname beperkend wordt. Op een gegeven moment is de maximale opnamecapaciteit (van kieuwen of darmen of enzymen) en daarmee de maximale groei bereikt. Dan zijn er enige uitwerkingen m.b.t. populatie groei:

1. De theoretisch maximaal haalbare groei van het individu (onder ideale voedselcondities).
2. De lokale maximaal haalbare populatie groei en productie worden bepaald door algen hoeveelheden gestuurd door aan- afvoer, primaire productie, lokale consumptie (dichtheid aan consumenten) en sterfte.
3. Als er (lokaal) minder algen zijn dan normaal, uit zich dat in:
  - a) Dat er (lokaal) een verlaging van de productie en massa van schelpdieren optreedt, door vertraging van individuele groei. Deze verlaging kan tot gevolg hebben dat de resterende hoeveelheden schelpdieren niet meer toereikend zijn voor hogere trofische niveaus als vogels. De predatoren zoeken dan elders hun heil.
  - b) Het (lokaal) sterven van de aanwezige populatie schelpdieren.

---

<sup>11</sup> Een theoretisch beschrijving voor individuele opname van voedsel is de type II respons van Holling (opname =  $I_{max} * R / (H + R)$ , met maximale opnamesnelheid  $I_{max}$  die slechts behaald kan worden onder ideale voedselcondities (R) en H de halfsaturatie-constante.

*Macoma* komt in de kustzone amper voor en in lage dichtheden. Dit heeft tot gevolg dat lokale voedseldepletie niet sterk is, en *Macoma* dicht tegen de theoretisch maximaal haalbare groei aan zit (Cardoso, 2007, Cardoso e.a. 2006). Een andere verklaring voor waarom *Macoma* dicht tegen de theoretisch maximale individuele groei aanzit, is dat de voedselvoorziening mogelijk rijk is. *Macoma* kan voedsel filtreren, maar is ook een detritus eter (Lin & Hines, 1994). Van Duin e.a. (2007, 2008) stellen dat er een overdaad detritus is, al is dat niet met waarnemingen gestaafd, waardoor opname van voedsel niet zeer gehinderd hoeft te worden.

*Ensis* is een soort die in veel hogere (lokale) dichtheden in de kustzone voorkomt en facultatief voedsel filtreert. Hierdoor wordt het waarschijnlijker dat voor *Ensis* lokaal voedseldepletie plaatsvindt en *Ensis* minder zijn theoretisch maximale individuele groei benadert dan *Macoma*.

Binnen het MEP RWS LaMER is onderzoek gedaan om meer inzicht te krijgen in deze leemte in kennis (de impact van verandering van algenproductie (in kwantiteit, kwaliteit en timing, door extra slib) op de daarvan afhankelijk voedselketens). Dit is uitgewerkt voor de meest aanwezige soort: *Ensis*. Om de grote vragen meer toegankelijk te maken is de set van onderstaande (voorbereidende) vragen het uitgangspunt geweest:

- 1) Wat zijn de effecten van extra anorganisch slib in de waterkolom en de hierdoor veroorzaakte vermindering van de algengroei (door zandwinning) op de groei van *Ensis* (als voorbeeldsoort van het benthos van de kustzone)?
- 2) Treden er veranderingen op in de lokale groei als gevolg van deze veranderende omstandigheden (dan wel door minder algen dan wel door te veel verlaagde filtratie-efficiëntie)?

Daarnaast zijn er nog twee niet-gearticuleerde vragen die een grote rol speelden bij de invulling van het onderzoek:

- i) Pak het onderzoek zodanig aan dat de voorspelling van de effecten van zandwinning op benthos verbeterd kan worden.
- ii) Genereer meer kennis over *Ensis* want van dit belangrijkste schelpdier van de Nederlandse kustzone is nauwelijks iets bekend.

#### 4.1.1 Korte samenvatting en conclusies

Er is een uitgebreide afweging gemaakt voordat er voor onderstaande benadering en doelsoort (*Ensis*) is gekozen. De groei van *Ensis* is op verschillende manieren benaderd: via groeimetingen in het veld waarbij tegelijkertijd de (a)biotiek is gemeten, groeimetingen in een mesocosm en het laboratorium. Daarnaast zijn historische data gebruikt. Al deze getallen zijn weer gebruikt om een DEB<sub>Ensis</sub> model te genereren. Een DEB model kan gebruikt worden om de effecten van veranderingen in voedselbeschikbaarheid door te vertalen in effecten op bepaalde organismen (hier dus *Ensis*). Het maakt gebruik van kennis van parameters zoals maximale voedselopnamesnelheid, respiratie, verzadigingscoëfficiënten etc. Een meer volledige rechtvaardiging is na te lezen in Bijlage A.

Het DEB<sub>Ensis</sub> model biedt eigenlijk een mooie volledige ingang die ook voor alle andere modellen gebruikt kan worden. Ten eerste kan het onafhankelijk gecreëerd worden met zowel bestaande data (vooral Waddenzee) en de nieuw te genereren data. Vervolgens is het DEB<sub>Ensis</sub> model inzetbaar om met veldgegevens aan fytoplankton, slib en temperatuur de gemeten groei van *Ensis* in het veld na te rekenen. Vervolgens kan eventueel een eerste effectschatting gemaakt worden door bijvoorbeeld de gemeten waardes van slib (van de lander) structureel te verhogen met 3-5% en van Chl-a structureel te verlagen met 2-3%. Hier mee kan het probleem van stapeling van fouten door modellen aan elkaar te koppelen worden voorkomen. Daarnaast kan het DEB model gekoppeld dan wel geïntegreerd worden in de ruimtelijke en conceptuele modellen (Troost e.a., 2010, Schellekens, 2012a,b, Wijsman e.a., 2012).

#### 4.1.2 De groei van *Ensis* in het veld in relatie tot (a)biotische factoren.

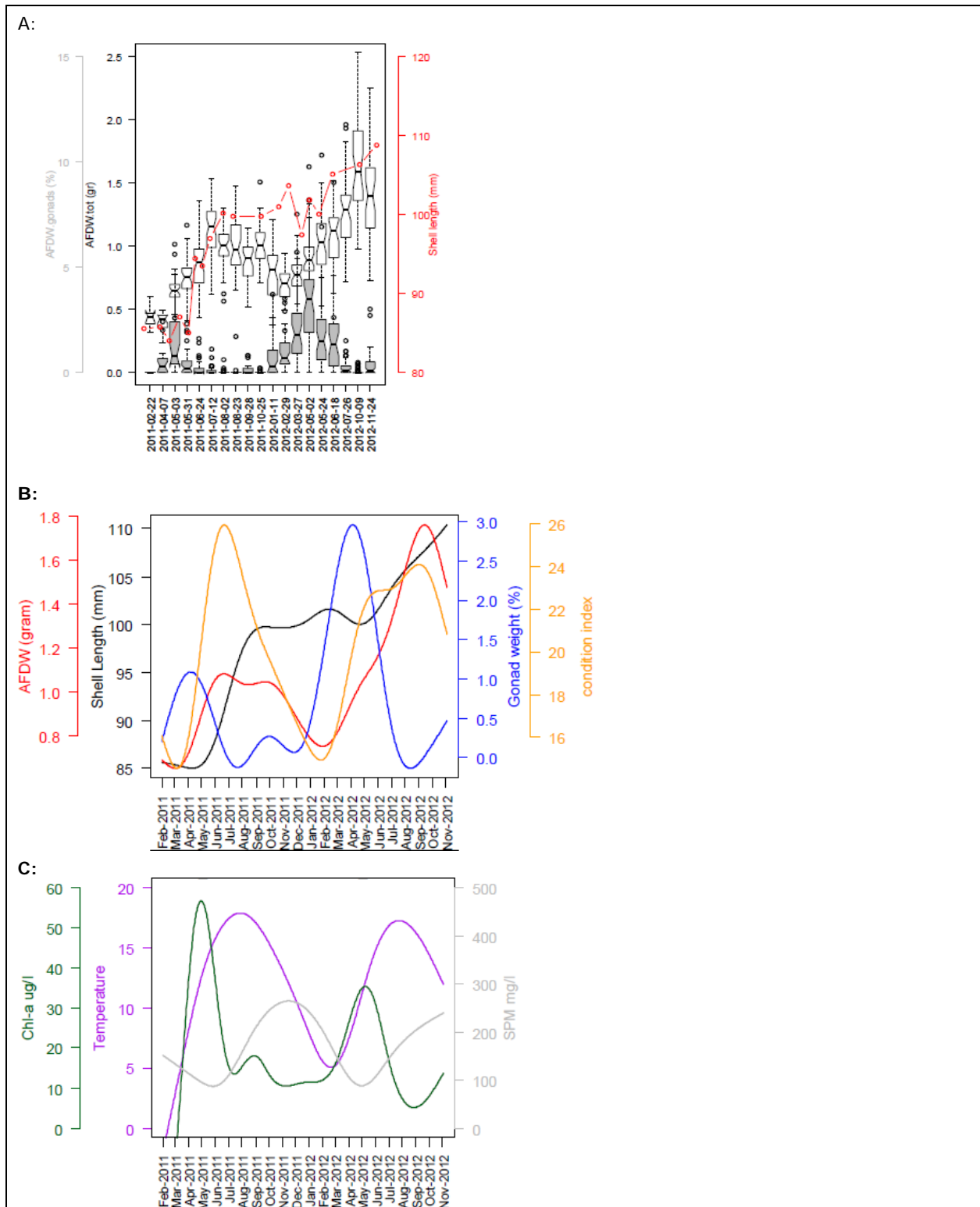
De eerste stap is het beschrijven van de groei in het veld in relatie tot de (a)biotische factoren (Figuur 10, Figuur 11, Figuur 12 Witbaard e.a. 2012, 2013). De groei van *Ensis* is gemeten in termen van de

variabelen die in het DEB model gebruikt worden: gonadenweefsel, somatische weefsels, de lengtegroei van de schelpenreserveweefsel (glycogeen). Daarnaast is ook de calorische inhoud van het weefsel gemeten en de conditie-index bepaald. Opvallend zijn de drie fases in de groei in het jaar 2011; eerst komt het gonadenweefsel, dan somatische weefsels, dan volgt pas de lengtegroei van de schelp. De analyses suggereren dat de eerste periode gonadenweefselgroei gebeurt door een reallocatie van energie uit het somatische weefsel (Witbaard e.a., 2012, 2013).

Om inzicht te krijgen in hoeverre de veranderingen in de conditie van *Ensis* (AFDW, schelplengte etc.) zijn gerelateerd aan de (gemiddelde) (a)biotische condities in de voorafgaande periode. Er zijn verschillende analyses gedaan (lineair en non-lineair, Figuur 11, Figuur 12).

In het algemeen zijn de conditie-indicatoren als glycogeen, conditie, percentage van de gonaden) het best gerelateerd aan waargenomen gewichtsveranderingen en niet zozeer aan veranderingen in de gemiddelde lengte. Dit suggereert dat schelpgroei en weefselgroei ontkoppeld zijn, althans gedeeltelijk.

**Schelpgroei:** Er blijkt een zwakke, maar significante, correlatie tussen de verandering van schelplengte en de watertemperatuur in de voorgaande periode. Schelpgroei is niet gecorreleerd met concentratie Chl-a, de concentratie zwevende deeltjes (Suspended Particulate Matter, SPM) of de verhouding tussen beide vertonen. Dit suggereert dat schelpgroei (verkalking) vooral temperatuurafhankelijk is.



Figuur 10

**A:** De groei van *Ensis* in 2011 en 2012 volgens de DEB variabelen: Gonadenweefsel, somatische weefsel en schelpenlengte (Witbaard e.a., 2013).

**B:** Generalized additive model (Gam) curve fits geven dezelfde seizoensmatige orde van groei maar nu gesmoothed.

**C:** Gam fits van de seizoensmatige ontwikkeling in Chlorofyl-a (Chl-a), Suspended Particulate Matter (SPM) en temperatuur.

**Somatisch weefselmassa:** De verandering in AFDW (vooral somatisch weefselmassa) vertoont geen significante correlatie met de temperatuur, maar heeft wel een significant positief correlatie met de Chl-a-concentratie in de voorafgaande periode<sup>12</sup>. De verandering in AFDW is negatief (significant) gecorreleerd met de concentratie SPM. Daaruit volgend, de verandering in AFDW is positief gerelateerd aan de verhouding tussen Chl-a en SPM. De verandering van AFDW is positief gecorreleerd met conditie-index en de verandering in de hoeveelheid glycogeen in het somatisch weefsel. Figuur 11 geeft de GAM analysis van de verandering van AFDW met Chl-a en slib. De groei in AFDW vertoont een afvlakkende (saturerende) functie met Chl-a (de Holling Type II respons). Op een gegeven moment is de maximale opnamecapaciteit dan wel maximale groei bereikt. Dan wel opname van algen door het kieuwapparaat, dan wel een fysiologisch aspect bv. opname door de darm of een enzymstelsel is beperkend voor de groei. Voor slib is er een min of meer lineair GAM model (Figuur 11). Het is echter onzeker of het vooral een seizoenseffect is wat parallel loopt met het slibmodel (Figuur 12) of dat er een soort tweedeling is van winter en voorjaar-zomer waarbij met name de maanden maart tot en met september van belang voor groei en waar slib eventueel een rol speelt.

**Gonaden:** Gonadenontwikkeling vindt plaats in de lente wat resulteert in een statistisch inverse relatie met de temperatuur van het water. Gonadenontwikkeling begint voordat de voorjaarsbloei plaats vindt. Op het moment dat voorjaarsbloei piekt, is het verlies in gonadale weefsel maximaal (wat wil zeggen dat de dieren aan het paaien zijn). Dit fenomeen resulteert in een negatieve correlatie tussen de verandering in gonadale weefsel en de concentratie Chl-a. Dit bevestigt de eerder gesuggereerde reallocatie van opgeslagen energie om de gonaden te laten groeien in plaats van dat gonaden ontwikkelen op basis van nieuw verkregen energie.

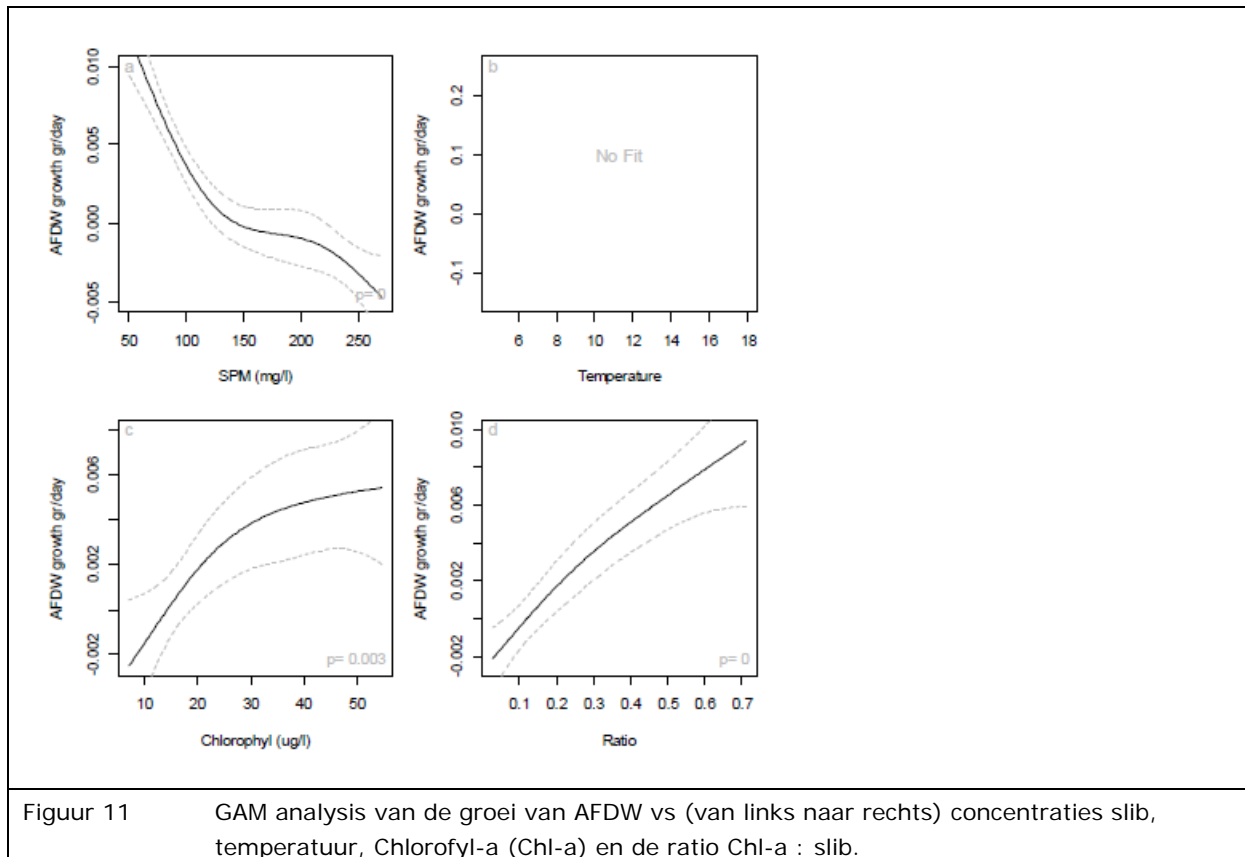
**Multiple regressies:** Mogelijk zijn meerdere factoren tegelijkertijd sturend. Om in te schatten welke van de omgevingsvariabelen het meest bijdraagt aan de gemeten groei- en conditieparameters van Ensis, zijn multiple regressie modellen gemaakt met de temperatuur en de verhouding tussen Chl-a en SPM als verklarende variabelen. Geen enkele multiple regressie model is significant. Lengte en gonadengroei blijven gecorreleerd met temperatuur, maar niet met de ratio [Chl-a]: [slib]. Toename van AFDW en verandering in conditie-index blijven gecorreleerd met ratio [Chl-a]: [slib] en niet met temperatuur.

Om het dominante seizoenseffect van slib enigszins te beperken zouden vervolganalyses gedaan kunnen worden met alleen data van het echte groeiseizoen (maart tot en met september).

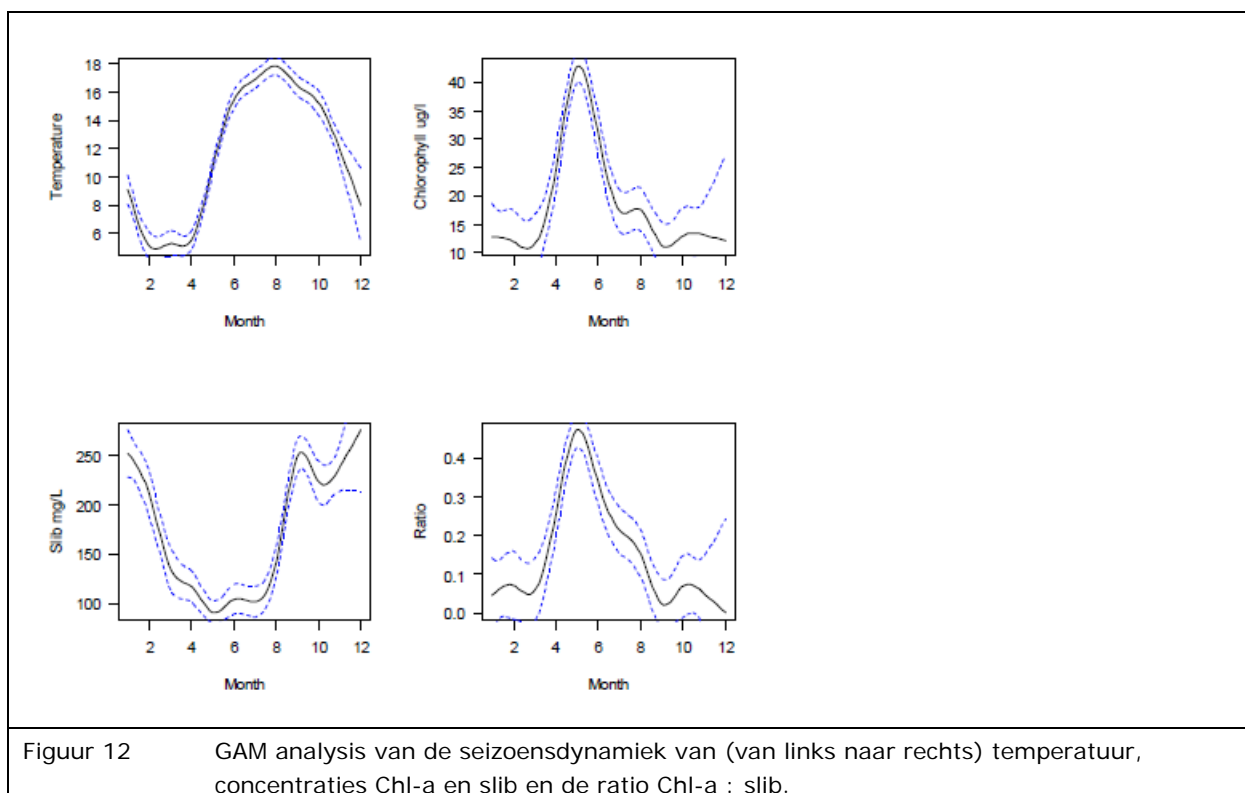
Concluderend, de groeimonitoring in het veld levert kwantitatieve gegevens voor statistische analyse van groei in relatie tot abiotiek en gegevens om het DEB<sub>Ensis</sub> model te kalibreren en valideren.

---

<sup>12</sup> Voor meer statistische details zie Witbaard e.a. (2013).



Figuur 11 GAM analysis van de groei van AFDW vs (van links naar rechts) concentraties slib, temperatuur, Chlorofyl-a (Chl-a) en de ratio Chl-a : slib.



Figuur 12 GAM analysis van de seizoensdynamiek van (van links naar rechts) temperatuur, concentraties Chl-a en slib en de ratio Chl-a : slib.

#### 4.1.3 Een klepstandmonitor om de reacties van *Ensis* op dynamiek te monitoren

Slib kan een grote invloed hebben op de filtratie-activiteit en de efficiëntie van de voedselinname (Witbaard & Kamermans, 2011, Kamermans e.a., 2011, Kamermans & Dedert, 2012, Wijsman e.a., 2012 en de referenties in deze rapporten). Om meer inzicht te krijgen in de gevoeligheid en reacties van *Ensis* op variaties in slib is de klepstandmonitor (KSM) aangepast op *Ensis*.

De *Ensis* vertonen af en toe synchroniciteit in klepstandbewegingen in een ritmiek van 12 dagen (de helft van een getijcyclus) waar mosselen dat hebben in een ritmiek van 24 dagen. De maximale klepstand opening is negatief gecorreleerd met een toename in deeltjesconcentraties (slib en Chl-a). De ecologische betekenis is nog niet geheel duidelijk. Een mogelijke verklaring kan zijn dat een verkleining van de klepopening een bescherming is tegen een overbelasting met deeltjes.

In het gebruik blijkt de klepstandmonitor voor *Ensis* kwetsbaar. Hoge sterftes zijn waargenomen voor *Ensis* waar de mossel hoge overleving heeft. De hoge sterfte samen met de moeilijke interpreteerbaarheid van het signaal hebben doen besluiten om vanuit het MEP de investering stop te zetten tot nadere evaluatie. Het NIOZ is evenwel doorgeslagen, omdat de meettechniek toch een ingang biedt in de ecologie van *Ensis*. En wellicht met meer resultaten valt er wellicht toch meer betekenis aan de observaties te geven in de toekomst.

#### 4.1.4 Ontwikkeling en toepassing van het fysiologische groeimodel (DEB model) voor *Ensis*

Er is een DEB<sub>Ensis</sub> groeimodel ontwikkeld, zowel om de veldresultaten in een context te kunnen plaatsen als ook om dit model te kunnen gebruiken ten behoeve van voorspellingen. Het DEB<sub>Ensis</sub> model (Wijsman, 2011, Schellekens, 2012a,b) is gebaseerd op bestaande veldgegevens (Cardoso e.a., 2011) en op resultaten van speciaal daarvoor uitgevoerde laboratoriumproeven (Kamermans e.a., 2011, Kamermans & Dedert, 2012). *Ensis* lijkt vooral een geschikt dier voor kortstondige proeven in laboratorium en mesocosms. Bij de laboratoriumproeven zijn belangrijke optimalisaties gedaan aan de opzet en uitvoering, zodat *Ensis* in de toekomst ook beter bestudeerd kan worden in het laboratorium (Kamermans & Dedert, 2012). Er is ook een mesocosm-achtige proef uitgevoerd (Witbaard e.a., 2011a). Hierin bleek wederom de kwetsbaarheid van *Ensis*. Er was veel sterfte en geen groei.

##### 4.1.4.1 Validatie van het DEB<sub>Ensis</sub> model aan de hand van veldgegevens

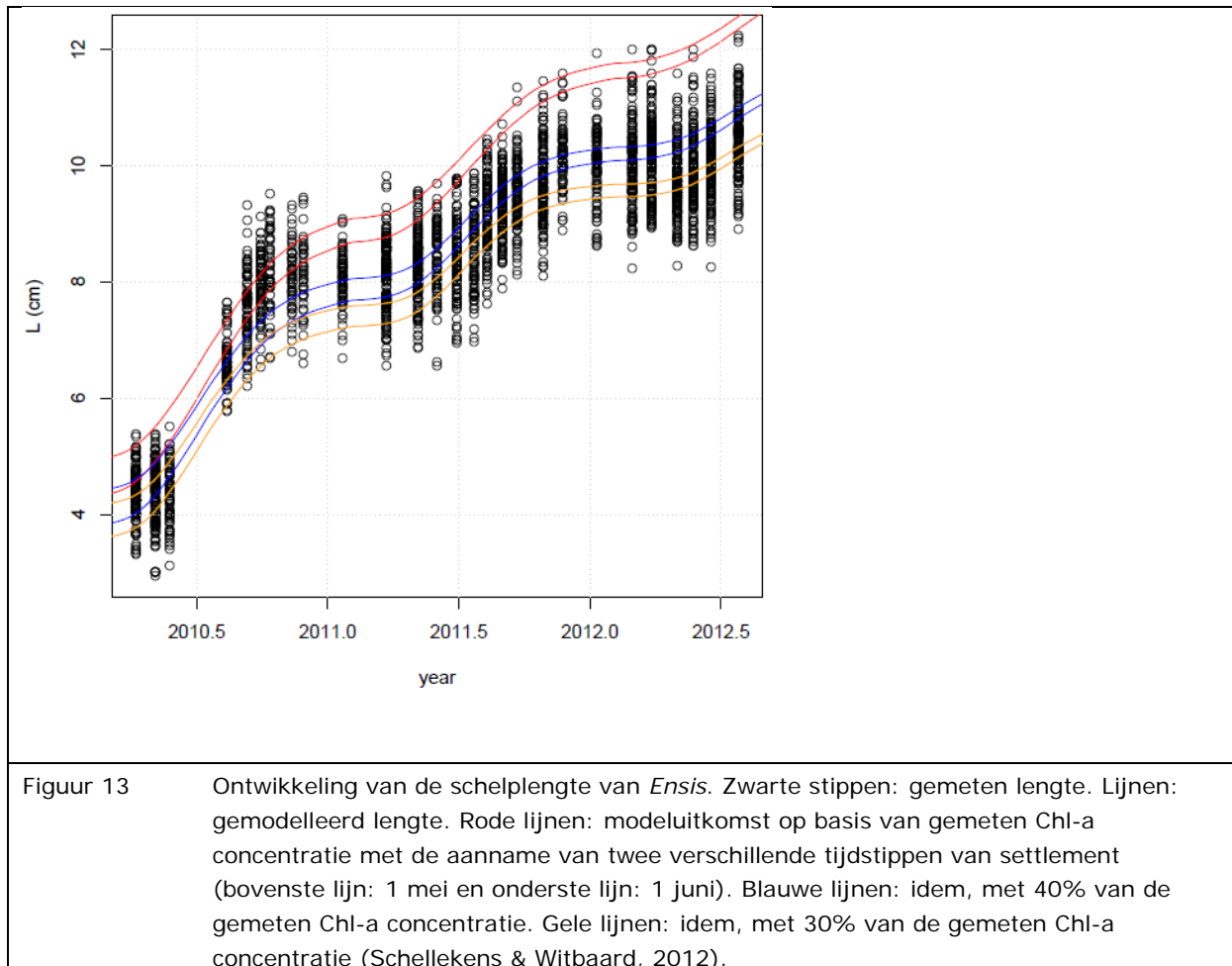
Om het model te valideren is de groei van *Ensis* voorspeld met de gegevens (T, Chl-a, SPM) van de deployment (Witbaard e.a., 2012, 2013). Vervolgens is de berekende groei vergeleken met de geobserveerde groei (Schellekens & Witbaard, 2012).

Alhoewel het toepassen van de gemeten Chl-a concentratie leidt tot een overschatting door het model van de gemiddelde groei, beschrijft het model de lokaal maximale gemetengroei kwalitatief goed. Hiermee is het model goed gevalideerd. Het blijkt daarnaast dat om de gemeten gemiddelde groei van *Ensis* op deze plek in deze periode te kunnen beschrijven met het model, aangenomen moet worden dat de voedselvoorziening aanzienlijk lager was dan die gemeten (Figuur 13). Via een modelmatige aanpassing van de voedselbeschikbaarheid (reductie tot 30%) is de gemiddelde lengteontwikkeling passend gemaakt. Ook het modelleren van een winterpauze in voedselopname door *Ensis* kan de fit aanmerkelijk verbeteren (Schellekens & Witbaard, 2012). Dit toont aan dat er in de gemeten populatie *Ensis* mogelijk lokale voedseldepletie plaatsgevonden heeft, waardoor individuele groei achtergebleven is t.o.v. het theoretisch maximum.

Om dit fenomeen te verklaren lijkt het DEB<sub>Ensis</sub>-model zelf niet de zwakste schakel in het totale complex van veld en model. Andere oorzaken van onzekerheid zijn waarschijnlijker en verdienen de voorkeur bij eventueel vervolgonderzoek. Er zijn enkele mogelijk oorzaken als lokale voedseldepletie door de hoge dichtheden (Palmer, 2004, Daan & Mulder, 2006, Degraer e.a., 2007 Dekker & Beukema, 2012, Dannheim & Rumohr, 2012), verschillen in voedselkwaliteit voor verschillende algensoorten en detritus dan de standaard alg waarmee gerekend is (Wiekling & Kröncke, 2003a,b, Kröncke e.a., 2004, Philipart e.a., 2011). Belemmerde opname als gevolg van veel hogere SPM concentraties in de buurt van de bodem dan de gebruikte gemeten concentraties op 30cm hoogte. Het kan zijn dat er verschillende



affiniteiten van de opname van de verschillende soorten algen zijn (Troost e.a., 2010). Eventueel speelt ook een te lage schatting van algen vanwege het feit dat de metingen op 30 cm van de bodem werden genomen en niet op het oppervlak van de bodem (gezien de toenemende gradiënt in algen van boven naar de bodem toe, Witbaard e.a. 2012, 2013).



Figuur 13 Ontwikkeling van de schelpenlengte van *Ensis*. Zwarte stippen: gemeten lengte. Lijnen: gemodelleerd lengte. Rode lijnen: modeluitkomst op basis van gemeten Chl-a concentratie met de aanname van twee verschillende tijdstippen van settlement (bovenste lijn: 1 mei en onderste lijn: 1 juni). Blauwe lijnen: idem, met 40% van de gemeten Chl-a concentratie. Gele lijnen: idem, met 30% van de gemeten Chl-a concentratie (Schellekens & Witbaard, 2012).

#### 4.1.4.2 De toepassing van het DEB model in de effectvoorspelling van zandwinning.

Na het gereedkomen van het DEB<sub>Ensis</sub>-model in dit MEP kan het DEB<sub>Ensis</sub>-model interactief gekoppeld worden aan meerdere ecologische modellen. Denk hierbij aan Structured Biomass Community modelling<sup>13</sup> zoals bv van de Roos e.a. (2007, 2008), Schellekens & Smaal (2012) en aan Ecowasp (Brinkman, 2012) of Delft3D (Harezlak e.a., 2012a,b).

Voor het nieuwe MER Zandwinning voor suppletiezand 2013-2017 en het MER Zwakke Schakel Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (van Duin e.a. 2012a,b) is het DEB<sub>Ensis</sub>-model ingezet in een offline modus aan Delft 3D slib en GEM (Figuur 14, Harezlak e.a. 2012, Schellekens 2012a,b). Centrale vraag bij het onderzoek was: Wat is het effect van zandwinning op de slib- en algenconcentraties in de Noordzee en Waddenzee als ook op de groei en conditie van de zwaardschede *Ensis directus* gegeven de berekende veranderingen in slib en algenconcentraties. De groei tijdens zandwinning (2013-2017) is vergeleken met de groei die op zou treden in de zogenaamde autonome situatie (scenario 0). In de autonome situatie werden alle zandwinactiviteiten gemodelleerd die vergund zijn dan wel realistische initiatieven zijn. In Figuur 14 valt te zien dat in de autonome situatie, voor de

<sup>13</sup> Zie sectie 12.4.1 Structured Biomass Community Modelling voor nadere uitleg.

start van de zandwinning van Rijkswaterstaat in 2013, *Ensis* een dip in de lengte- en AFDW-groei kent (gekoppeld aan de vele initiatieven rondom zandwinning die dan van start gaan). NB: het gaat hier om kortstondige zandwinning (2 jaar) in grote volumina zand vergelijkbaar met getallen die ook genoemd worden in de worst case scenario's van het Deltaprogramma (100 Milm<sup>3</sup> per jaar, langjarig). Deze dip herstelt zich rond 2020-2023. De modelberekeningen waarin de zandwinning van RWS is toegevoegd vertonen nagenoeg dezelfde resultaten. Voor verschillende plekken langs de kust wordt gemodelleerd dat *Ensis* een kleine, kortstondige dip kent in de groei van lengte, AFDW en de opbouw van gameet weefsel. De beide initiatieven resulteren vervolgens in kortstondige afname van gonadenmassa en kleine extra afname in leeftijd en lengte (Schellekens, 2012a,b). Deze resultaten maken duidelijk dat zandwinning in de huidige volumina voor kustlijn zorg geen probleem geven, en daarmee ook voor de volumina van RWS en LaMER van 2007 en 2008-2012.

Geconcludeerd is dat de beoogde (kleinschalige) zandwinactiviteiten van de initiatiefnemers slechts plaatselijk en momentaan effect hebben op de groei en kwaliteit van *Ensis*. Gemiddeld over de locaties is het effect van slib tijdens de geplande zandwinactiviteiten in 2013-2017 echter niet significant verschillend van de effecten (van slib en algen) in de autonome situatie (Schellekens, 2012a,b).

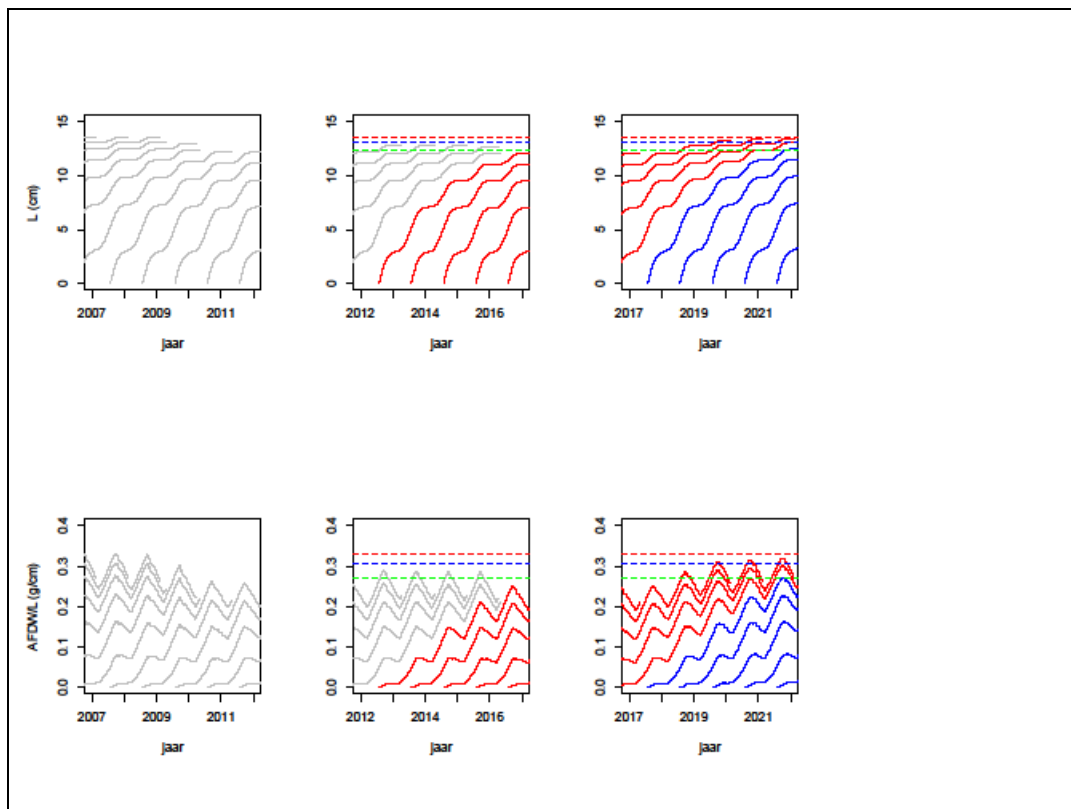
## 4.2 Conclusie en discussie

In het MER 2007 & 2008-2012 is een belangrijk uitgangspunt dat er geen beperking in groei is door te weinig voedsel voor het pelagische systeem en het benthische systeem (Boon e.a., 2006a,b, van Duin e.a., 2007, 2008) In het opgestelde evaluatieprogramma (Ellerbroek e.a., 2008) was het uitgangspunt dat er op een gegeven moment wel een omslagpunt is waar eventueel voedselbeperkingen kunnen optreden. De twee oorspronkelijke vragen omtrent de voedselrelaties in de Nederlandse Kustzone waren:

- 1) Wat zijn de effecten van extra anorganisch slib in de waterkolom en de hierdoor veroorzaakte vermindering van de algengroei (door zandwinning) op de groei van *Ensis* (als voorbeeldsoort van het benthos van de kustzone)?
- 2) Treden er veranderingen op in de groei als gevolg van deze veranderende omstandigheden (dan wel door minder algen dan wel door te veel verlaagde filtratie-efficiëntie)?

### 4.2.1 Wat zijn de effecten van extra anorganisch slib in de waterkolom en de hierdoor veroorzaakte vermindering van de algengroei (door zandwinning) op de groei van *Ensis* (als voorbeeldsoort van het benthos van de kustzone)?

Uitgaande van de affiniteiten van opname van algen en hindering door slib, is *Ensis* weinig gevoelig voor veranderingen van algen en slib (Witbaard & Kamermans, 2010, Kamermans e.a. 2011, Kamermans & Dedert, 2012, Schellekens, 2012a,b). In het veld blijkt min of meer hetzelfde (Witbaard e.a. 2013). Het DEB<sub>Ensis</sub> model is toegepast voor de MERren Zandwinning suppletiezand 2013-2017 en Zwakke Schakel Petten (Van Duin e.a., 2012a,b). Hier zijn verschillende scenario's doorgerekend. Ook hier worden de verschillende fenomenen teruggevonden. Voor verschillende plekken langs de kust wordt gemodelleerd dat *Ensis* een kleine, kortstondige dip kent in lengte, AFDW en de opbouw van gameet weefsel. Ecologisch gezien zijn deze effecten van weinig belang en uiteindelijk verschilt de ontwikkeling van *Ensis* onder invloed van de zandwinning van RWS, dan wel Zwakke Schakel Petten weinig van de autonome ontwikkeling (Schellekens 2012a,b). Gezien het feit dat de hoeveelheden van LaMER in lijn liggen met die van RWS, zullen deze winningen ook weinig effect hebben op de groei van *Ensis*.



Figuur 14 Bovenste panelen: Groei in lengte van individuen over de tijd (1 januari 2007 t/m 1 januari 2023) nabij Egmond in het autonome scenario 0. Ieder verticaal stijgende lijn stelt de groei van een individu van dat jaar voor (een cohort).

Linker paneel: voor de start van de RWS zandwinningen.

Midden paneel: tijdens de RWS zandwinning.

Rechter paneel: na de RWS zandwinning.

In grijs: individuen geboren voor de RWS zandwinning. In rood: individuen geboren tijdens de RWS zandwinning. In blauw: individuen geboren na de RWS zandwinning.

Horizontale gestippelde lijnen zijn hulplijnen die staan voor:

Rood: maximum van de groeiwaardes in een situatie nagenoeg zonder zandwinning (voor 2008).

Groen: minimum van de groeiwaardes in een situatie met zeer veel zandwinning.

Blauw: vertegenwoordigt het gemiddelde van de groeiwaardes.

Onderste panelen: As-vrij drooggewicht gedeeld door de lengte van individuen, gemodelleerd over de tijd. (Schellekens, 2012a).

#### 4.2.2 Treden er veranderingen op in de groei als gevolg van deze veranderende omstandigheden (dan wel door minder algen dan wel door te veel verlaagde filtratie-efficiëntie)?

Zowel i) de veldmetingen als ii) de theoretisch berekeningen laten een situatie zien waarin een vorm van voedselbeperking en daaruit resulterende effecten op de groei optreden. In de veldsituatie wordt een situatie van voedselbeperking beschreven voor een schelpdierbank. Een dergelijke voedselbeperking heeft wellicht te maken met factoren als lokale voedseldepletie door lokaal hoge dichtheden aan schelpdieren en het complex van voedselbeschikbaarheid, -selectie (door slib- en algenkarakteristieken)

en assimilatie efficiëntie. Minder algen door zandwinning kan betekenis hebben in deze situatie. Door een verminderde conditie (AFDW) van de schelpdieren, worden ze wellicht minder geschikt als prooidier voor zwarte zee-eenden. Ook kan een verminderde conditie betekenis hebben voor de meerjarige overleving. Zeker na de winter sterven veel *Ensis* met een gebrekkige conditie (Goudswaard, pers. observatie). Extra voedselstress kan die sterfte verhogen.

Ten tweede laten de berekeningen voor het MER Zandwinning 2013-2017 zien dat een kleine puls slib door zandwinning en de daarmee gepaard gaande reductie in algen slechts zeer beperkte effecten aan voedselbeperking heeft. Een grote puls zandwinning (twee jaar lang Deltaprogramma-achtige hoeveelheden door de accumulatie van projecten, ongeveer 10\* groter dan de reguliere RWS-zandwinning, van Duin e.a., 2012, Schellekens, 2012a,b) geeft echter veel grotere effecten op belangrijke conditieparameters als lengte en AFDW (Figuur 14). Dit gegeven is toch wel iets om rekening mee te houden wanneer men langjarig grote hoeveelheden wil winnen en suppleren in het kader van het Delta-programma.

Het is moeilijk nu te zeggen waar precies grenswaardes liggen en wat de betekenis is van sub maximale voedselomstandigheden. Het is ook erg afhankelijk van wat gekozen wordt als eindpunt: voortplanting, settlement, recruitment, populatie dynamisch, gemeenschapssamenstelling van het benthos of impact op daarvan afhankelijke dieren als schelpdieretende vogels? Eerste grove berekeningen in Witbaard & Kamermans (2010) laten zien dat *Ensis* orde grootte 25% van de primaire productie consumeren. Hierbij dient nog verdisconteerd te worden voor het feit dat de primaire productie ongelijkmatig verdeeld is in de tijd (algenbloei). Daarnaast bestaat in de kustzone een aanzienlijk deel van de primaire productie voor rekening van kolonievormende *Phaeocystis*. Het is onbekend in hoeverre *Ensis* deze (moeilijke) voedselbron kan benutten. Al met al lijkt het erop dat *Ensis* substantiële hoeveelheden aan primaire productie kan wegvangen. Om meer inzicht te krijgen in grenswaardes is een meer uitgebreide theoretische studie nodig bv. met een instrument als Structured Biomass Community Modelling (zie b.v. Schellekens & Smaal, 2012, Van Denderen e.a., 2013).

#### 4.2.3 Ecologische implicaties van de resultaten

Minder voedsel kan effect hebben op de lengte, leeftijd, gonadenopbouw en AFDW van algen etende organismen als schelpdieren en wormen. Voor *Ensis* gaat het niet zozeer om het effect dan wel op populatie-opbouw. Er zijn niet zoveel *Ensis* ouder dan 4 à 5 jaar (Goudswaard e.a., 2011). Belangrijker is dat groei in lengte en AFDW uitingen zijn van de conditie van een dier en zijn mogelijkheden om moeilijke omstandigheden te overleven. M.a.w. de mogelijkheden worden minder om bedreigende ecologische fenomenen als uitspoelen en weer ingraven of hoge zomertemperaturen met hoog metabolisme en lage voedselbeschikbaarheid te overleven. Dit zijn effecten die wel doorklinken op populatieniveau. Zandwinning in grote hoeveelheden kan er toe leiden dat *Ensis* een verlaagde conditie krijgt en minder goed om kan gaan met negatieve omstandigheden. Nu is *Ensis* een ongevoelige soort voor veranderingen in slib en algen. Andere soorten zullen hier op een andere manier op reageren. Ter vergelijking, een detritusetter als *Macoma* lijkt geen voedselbeperking te hebben in de kustzone (Cardoso, 2007, Cardoso e.a., 2006) maar die kan profiteren van het overschot aan detritus wat op de bodem valt. Suspensie-feeders als *Ensis* kunnen dit niet. Dit resultaat vraagt in ieder geval om meer duiding/betekenis en om vergelijkingsmogelijkheden zowel in ruimtelijke zin als ook tussen soorten.

Ook de relatie tussen schelpdierbanken en de daarop foeragerende zeevogels vraagt nog veel aandacht. Wat bepaalt of bv zwarte zee-eenden op een bepaalde dichtheid/aanwezige biomassa foerageren en wat is de impact van een verminderde voedselaanvoer (zie ook hoofdstuk 0)

Aanvullend zijn er nog de effecten op gonaden. Dit kan resulteren in een afnemende reproductie capaciteit en effecten op populatieopbouw. Het aantal eieren kan minder worden en ook de conditie van eieren en larven kan minder worden met mogelijke impact op de overlevingskans. Anderzijds worden over het algemeen de post-settlement processen van recruitment gezien als de populatiebepalende processen (Olafsson e.a., 1994). In de kustwateren van de Noordzee zijn de larvenhoeveelheden enorm.

In de tidal inlets zijn de concentraties zo één tot enkele honderden per liter (Pulfrich, 1996, Strasser & Günther, 2001, Bos e.a., 2006). In de Noordzee kan het ook zo'n 150 schelpdierlarven per liter zijn (>400.000 ind. m<sup>-2</sup>, M. Bergman pers. comm. in relatie tot Bergman e.a., 2010). De settlement is ook zeer talrijk: 1.000 tot 4.000 schelpdieren per m<sup>2</sup> (Reiss & Kröncke, 2005, Bergman e.a., 2010). Bijvoorbeeld van het aantal gesettelde *Spisula* in de kustzone bleef maar 1/20 over (Bergman e.a., 2010). Met deze verhoudingen is het minder aannemelijk dat aanvoer van larven beperkend worden kan.

### 4.3 Beantwoording Evaluatievragen

In Ellerbroek e.a. (2008) zijn evaluatievragen geformuleerd die hier beantwoord worden.

#### 4.3.1 *Waren de (belangrijkste) effectvoorspellingen juist?*

De aanname was dat er voldoende voedsel lijkt te zijn en als dat niet het geval is, kan detritus als een achtervang dienen (van Duin e.a. 2007, 2008). Eigenlijk is het antwoord hierop tweeledig.

Deze aanname geldt voor detritus-eters als *Macoma*, aangezien de kustzone ruim voldoende voedsel (=detritus) bevat (Nihou & Polk, 1976, Cardoso, 2007). Veel algenmateriaal zakt als detritus naar het bodemcompartiment. In de Duitse Bocht was dergelijke sedimentatie voldoende om de gemeenschap te bedienen (Kröncke e.a., 2004). De Duitse Bocht is echter wel een plek met grote aanvoer uit andere gebieden.

Voor suspensie-feeders kan het anders liggen. Huidige resultaten laten zien dat op één locatie met hoge dichtheden, *Ensis* suboptimaal groeit. Dat kan meerdere oorzaken hebben. Binnen het project is een betrouwbaar fysiologisch groeimodel gereed gekomen dat toegepast kan worden en dat vertrouwenwekkende resultaten genereert.

#### 4.3.2 *Welke extra kennis is gegenereerd i.v.m. de gesignaleerde leemten in kennis?*

Er was weinig bekend over de voedselrelaties van het benthos in de kustzone. Daarnaast was er zeer weinig bekend over *Ensis*. Het huidige MEP heeft meer inzicht geleverd in beide leemtes. Er zijn relaties tussen groei en (a)biotiek gebaseerd op veldgegevens. En er is een DEB<sub>Ensis</sub> model ontwikkeld wat gebruikt kan worden voor studies naar effecten of van meer verkennende aard. Het DEB<sub>Ensis</sub> kan een input ontvangen van gemeten, gemodelleerde of verrekende concentraties aan algen en slib. Door de combinatie van veldmetingen en modelmatige vertalingen, kunnen in het vervolg ook effectstudies gedaan worden met lichte conceptuele modellen of zwaardere ruimtelijke modellen.

#### 4.3.3 *Welke extra kennis is gegenereerd i.v.m. de aangescherpte eisen uit natuurbescherming?*

Een zorg voor N2000-gebieden is de waarborg voor voldoende voedsel. Het gaat hierbij vooral om schelpdierbanken en om het behoud van langlevende, kwetsbare soorten. De onderzoeken uit het MEP leveren de gewenste extra kennis om effecten beter te beoordelen. Daarnaast is het ook de belangrijkste schelpdierbank vormende soort. De opgedane kennis levert meer inzicht in de voedsel生态学 van *Ensis* in het bijzonder en schelpdieren in het algemeen en leidt daarmee tot beter gefundeerde effectschattingen. Het onderzoek levert meer inzicht in *Ensis* als dominante soort die eventueel de andere langlevende soorten beïnvloedt en eventueel weg kan concurreren.

#### 4.3.4 *Welke inzichten in effecten zijn verkregen die kunnen leiden tot het bijstellen van uitvoeringseisen en eventuele kostenbesparing?*

Het resultaat van dit onderdeel van het MEP is een module omtrent benthos die gebruikt kan worden om in een modelmatige aanpak de effecten op het belangrijkste schelpdier van de kustzone beter in te schatten. De effectschatting is verbeterd waardoor beter beoordeeld kan worden of uitvoeringsmaatregelen al dan niet nodig zijn. Bij toepassing in het MER Zandwinning 2013-2017 bleek dat de winningen van RWS niet leiden tot een significant effect. Er zijn geen uitvoeringsmaatregelen noodzakelijk.

#### 4.4 Rapportages van het verrichte onderzoek.

Tabel 4 Verzameltabel verrichte onderzoeken voor de relatie tussen slib, algen en de groei van benthos ( <i>Ensis</i> ).					
Onderzoek	Doel	Methode	Resultaat	Nog kennis-leemtes ?	Referentie
De bruikbaarheid van de klepstandmonitor op <i>Ensis directus</i> ten behoeve van de monitoring van aan zandwinning gerelateerde effecten.	Ontwikkelen klepstandmonitor  Laboratorium test aangaande filtratie van <i>Ensis</i>	Doorontwikkeling van de mossel klepstandmonitor  Klassieke filtratie proeven	Werkende klepstandmonitor  Bevredigende, eerste resultaten	Test in het veld  Bredere range verkennen	Witbaard R., Kamermans P. (2010) NIOZ rapport 2009-10.
Verslag; Havenproef <i>Ensis</i> monitor en <i>Ensis</i> groei.	Mesocosm proef voor groei van <i>Ensis</i> .	Groei volgen in een handzame setting	Veel sterfte van <i>Ensis</i>	Ligt ter discussie: een mesocosm mogelijkheid is handig	Witbaard R. (2010) NIOZ rapportage Zaak LM-10093.
Voorjaars lander deployment RWS.	Uittesten Lander mogelijkheden	Plaatsen lander	De lander voldoet	Een langdurige proef inzetten	Witbaard R. (2010) NIOZ Rapportage LM-10092.
Expeditie verslag; najaars lander deployment RWS.	Uittesten Lander mogelijkheden	Plaatsen lander	De lander voldoet	Een langdurige proef inzetten	Witbaard R. (2010) NIOZ Rapportage LM-10485.
First pionering laboratory experiments on filtration, respiration and growth of the razor clam ( <i>Ensis directus</i> , Conrad).	Groeiproeven <i>Ensis</i> in het laboratorium	Laboratorium opstelling	Veel sterfte, te lage groei	Optimalisatie noodzakelijk	Kamermans P., Brummelhuis E., Wijsman J. (2011) IMARES Wageningen UR Rapport C115/11
Environmental monitoring off the coast of Egmond in 2010.	Eindrapport voor zowel het testen van de lander en de havenproef	-Plaatsen van een lander  -Volgen van de groei in een mesocosm	Voldoet zeer goed  Veel sterfte	Een langdurige proef inzetten  Ligt ter discussie: een mesocosm mogelijkheid is handig maar niet meer in dit MEP	Witbaard R., Duineveld G.C.A., Bergman M. (2011). NIOZ Report 2011-project 2624.
Methode voor de leeftijd bepaling in <i>Ensis directus</i>	Basis gegevens voor DEB model	Isotopen analyse	Voldoet, basis gegevens voor DEB model beschikbaar	DEB model is nu goed	Cardoso J.F.M.F., Nieuwland G., Wijsman J., Witbaard R., Van der Veer H.W.
Overzicht	Basis gegevens	Data analyse	Voldoet, basis		

bestaande data	voor DEB model		gegevens voor DEB model beschikbaar		(2011) NIOZ-Report 2011-9: 33 pp.
Dynamic Energy Budget (DEB) parameters for <i>Ensis directus</i> .	Genereren van een DEB model voor <i>Ensis</i>	Gemeten data gebruiken in een specifiek DEB model	Een eerste goede aanzet	Met name element filtratie dient verbeterd te worden	Wijsman J.W.M. (2011) IMARES Wageningen UR Report C116/11.
Effect van variaties in de concentratie van algen en slib op de filtratie en de groei van <i>Ensis directus</i> .	Groeiproeven <i>Ensis</i> in het laboratorium	Laboratorium opstelling en optimalisatie tests	Weinig sterfte, goede filtratie, groei	Optimalisatie lijkt succesvol	Kamermans P & M Dedert (2012). IMARES Wageningen UR Report C017/12.
Tussenrapport: de langdurige lander observaties naar de groei van <i>Ensis</i> .	Het volgen van de groei van <i>Ensis</i> in het veld relatie tot de (a)biotiek	Bemonstering van <i>Ensis</i> op gezette tijden en gelijktijdig de abiotiek meten	Succesvolle data reeks met een hoog verklarend vermogen	Verbreding naar andere soorten om meer grip te krijgen op de ecologie van de kustzone met speciale aandacht voor schelpdierbanken	Witbaard R., Duineveld G.C.A., Bergman M. (2011). NIOZ Report 2011-project 2735.
Tussenrapport: de langdurige lander observaties naar de groei van <i>Ensis</i> .	Het volgen van de groei van <i>Ensis</i> in het veld relatie tot de (a)biotiek	Bemonstering van <i>Ensis</i> op gezette tijden en gelijktijdig de abiotiek meten	Succesvolle data reeks met een hoog verklarend vermogen	Verbreding naar andere soorten om meer grip te krijgen op de ecologie van de kustzone met speciale aandacht voor schelpdierbanken	Witbaard R., Duineveld G.C.A., Bergman M. (2012). NIOZ Report 2012-7.
Eindrapport: De langdurige lander observaties naar de groei van <i>Ensis</i> .	Het volgen van de groei van <i>Ensis</i> in het veld relatie tot de (a)biotiek	Bemonstering van <i>Ensis</i> op gezette tijden en gelijktijdig de abiotiek meten	Succesvolle data reeks met een hoog verklarend vermogen	Verbreding naar andere soorten om meer grip te krijgen op de ecologie van de kustzone met speciale aandacht voor schelpdierbanken	Witbaard R., Duineveld G.C.A., Bergman M. (2013). NIOZ Report 2013-2.
Groei en conditie van <i>Ensis directus</i> voor, tijdens en na geplande zandwinning in 2013-2017; Berekeningen voor het RWS.	Modelmatige effectschattingen van zandwinning middels het DEB model voor <i>Ensis</i>  Toerpassing van de resultaten van het MEP	Model berekeningen met als input de 3-D slib algenberekeningen voor zandwincenarios	Binnen de beperkingen van een modellentrein een goede schattingsmethode die een onderscheid kan maken in intensiteiten van winning	Verbreding naar andere soorten om meer grip te krijgen op de ecologie van de kustzone met speciale aandacht voor schelpdierbanken	Schellekens T. (2012). IMARES Wageningen UR Rapport C088/12.
Groei en conditie					Schellekens T.

van <i>Ensis directus</i> voor, tijdens en na geplande zandwinning in 2013-2017; Berekeningen voor het HHNK.					(2012). IMARES Wageningen UR Rapport C089/12.
Een vergelijking van groei gemodeleerd met $DEB_{Ensis}$ met de groei data uit het veld.	Validatie van $DEB_{Ensis}$ model	Groei modelleren op basis van gemeten (a)biotiek en vergelijken met gemeten groeigetallen	Het $DEB_{Ensis}$ model voldoet goed. Het is niet het zwakster punt in de schakel	Meer betekenis en duiding geven door andere soorten te bekijken	Schellekens T., Witbaard R. (2012) IMARES Wageningen UR Report C155/12.



## 5 Impact van slib op een zichtjager; de grote stern

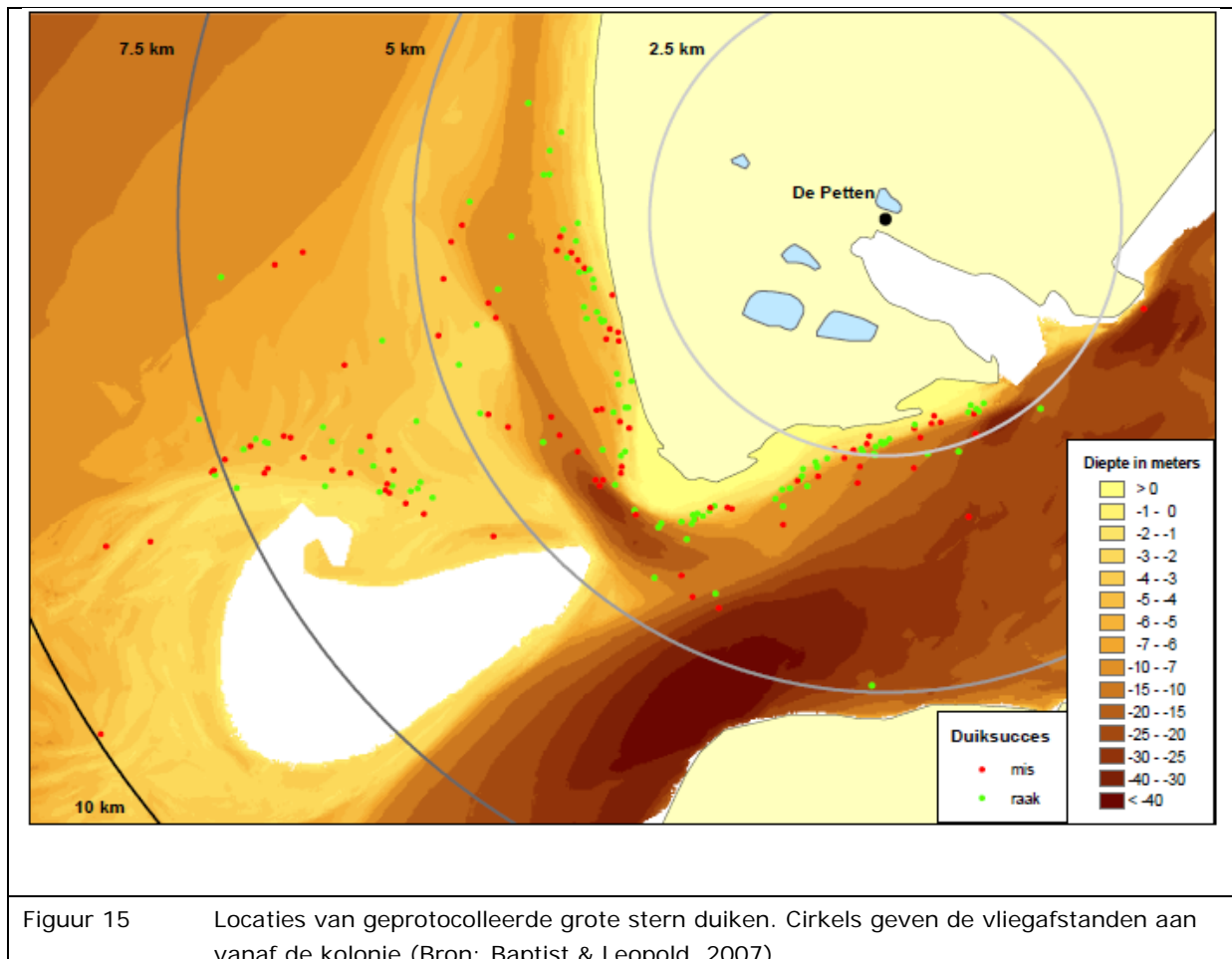
### 5.1 Motivatie onderzoek

In het MER Suppletiezand 2007 (Boon e.a., 2006a,b) is gesteld dat er geen effect is op zichtjagende vogels gezien de beperkte omvang van de effecten en de ruime uitwijkmogelijkheden voor vogels. Wel is geconstateerd dat de hoeveelheid informatie voor afweging beperkt is. In het MEP 2007 is dit opgepakt in een onderzoek naar de effecten van zichtdiepte op het vangstsucces van grote sterns (Tabel 5).

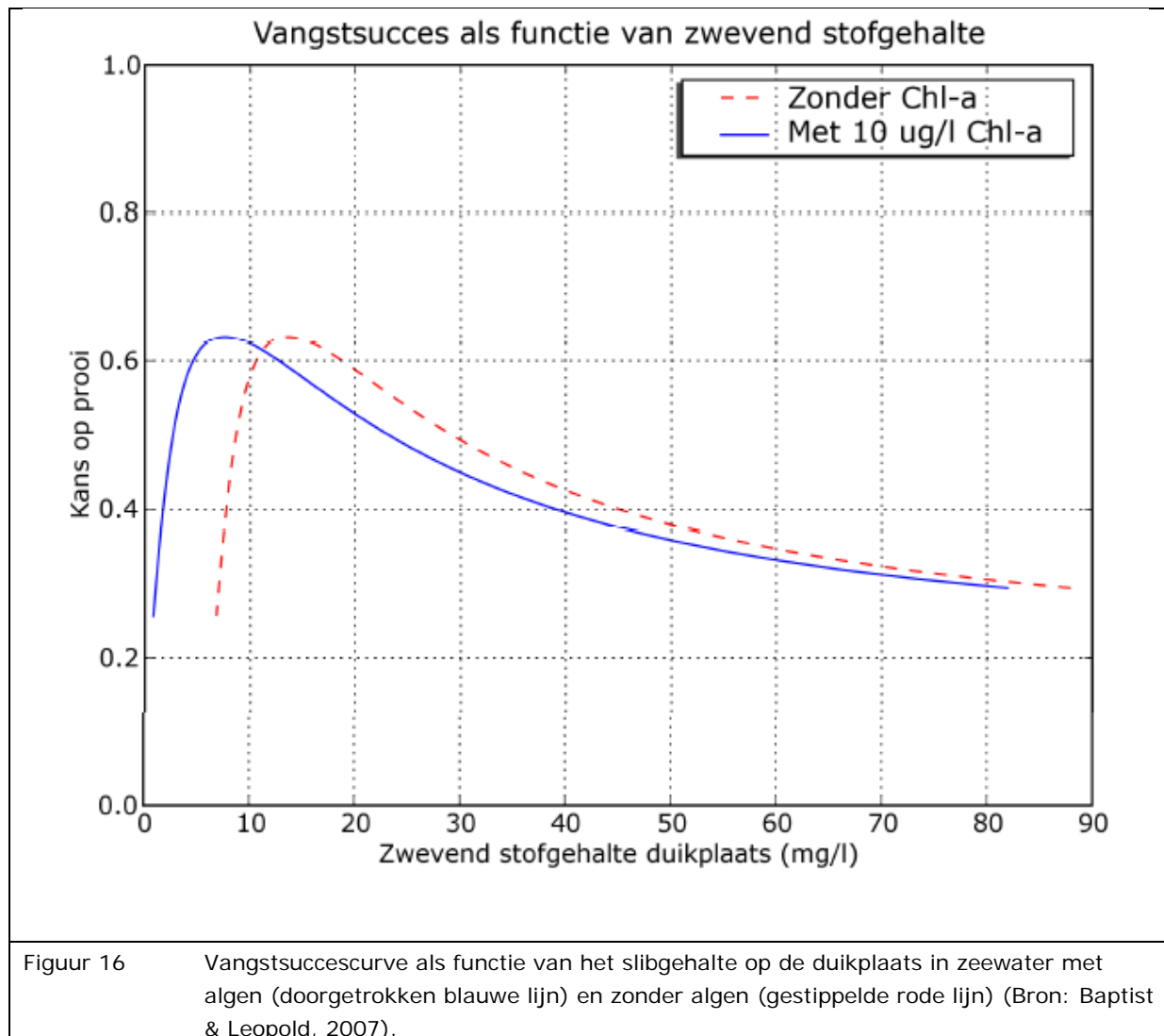
### 5.2 Korte samenvatting en conclusies

In dit onderzoek is gekeken naar de relatie tussen zichtdiepte en het vangstsucces van de grote stern. De veldwaarnemingen van het vangstsucces zijn met berekeningen geïnterpreteerd naar de betekenis van de extra vertroebeling ten gevolge van zandwinning op zee op het vangstsucces. Het onderzoek richt zich op een grote broedkolonie van de grote stern, nabij de zuidpunt op Texel. Deze vogels foerageren in het Marsdiep en tussen de Razende Bol en Texel (Figuur 15).

Het blijkt dat deze grote sterns veelal ondiep water (-2 tot -8 m) kiezen gedurende deze periode (einde broedperiode) terwijl dieptes van -1 tot >-30 m voorhanden zijn (Figuur 15). De broedperiode is een periode waarin de grote stern gebonden is aan één locatie (broedlocatie, Baptist & Leopold, 2007). Daarnaast is uit onderzoek gebleken dat de grote stern zijn methode van vangen aanpast aan veranderende condities (Baptist & Leopold, 2007, 2010).



Figuur 15 Locaties van geprotocolleerde grote stern duiken. Cirkels geven de vliegafstanden aan vanaf de kolonie (Bron: Baptist & Leopold, 2007).



Rondom De Hors en het Marsdiep blijkt het hoogste vangstsucces bij een zichtdiepte van ongeveer 1,75 m (met een range van 1,5 – 2,0 m). Dit komt overeen met 5-10 mg/l slib bij gemiddelde zomerwaarden voor Chl-a (Figuur 16). Het vangstsucces vertoont een optimum, bij minder of meer zichtdiepte neemt het vangstsucces af. De gemiddelde zomercondities nabij de kust, 10-30 mg/l Total Suspended Matter (TSM) (Suijlen & Duin, 2001), zijn, vergeleken met het gevonden optimum, ongunstiger voor sterns. 's Winters neemt het slibgehalte (door stormen en golven) toe naar 30-100 mg/l TSM. Het lijkt er op dat de sterns een afweging maken tussen vangstsucces en terugvliegen naar de kolonie indien een vis van de juiste lengte voor het jong is gevangen. Verder op zee zijn vangstomstandigheden gunstiger ten opzichte van de kustzone, omdat het water minder slib bevat (Figuur 16, NB zoals blijkt uit deze figuur kan te helder ook weer ongunstig zijn), maar vliegen duurt langer en kost meer energie (Baptist & Leopold, 2010). Daarnaast speelt waarschijnlijk ook de prooibeschikbaarheid een rol. Minder helder water heeft vaak meer vis nabij de oppervlakte (Baptist & Leopold, 2007).

Op basis van Figuur 16 is een aantal theoretische berekeningen gemaakt over de gevolgen van een near-field pluim en de far-field effecten. Hierbij zijn een groot aantal aannames gedaan (zie Baptist & Leopold, 2007 voor het volledige plaatje). De verandering nabij de kust is slechts 1 tot enkele mg slib per liter. Dat betekent een minimale verschuiving in de grafiek (Figuur 16) terwijl er meer dan voldoende compensatie mogelijkheid in tijd is om het verlies in vangstefficiëntie goed te maken (dan wel winst in vangstefficiëntie). Bij een gelijkblijvend prooiaanbod lijkt het far-field effect nabij Texel geen probleem. Voor de near-field pluim geldt dat deze nauwelijks aan de oppervlak waarneembaar is (Hichcock & Bell, 2004, Talmon, 2008a,b, Grasmeijer & Eleveldt, 2010). De grootste massa aan slib dat vrij komt, bevindt

zich dan ook in een dichtheidsgedreven stroom nabij de bodem (Aarninkhof e.a., 2010, Spearman e.a., 2011). Ook voor de near-field zijn geen problemen te verwachten, omdat de oppervlaktelaag niet of nauwelijks qua zichtdiepte verandert. Daarnaast zijn de grote sterns die zo ver foerageren niet meer gebonden aan een vaste locatie

### 5.3 Beantwoording Evaluatievragen

In Ellerbroek e.a. (2008) zijn evaluatievragen geformuleerd die hier beantwoord worden.

#### 5.3.1 *Zijn de (belangrijkste) effectvoorspellingen juist?*

De aanname is dat er weinig effect is van de slibpluim op zichtjagers (Boon e.a. 2006a,b). Veldobservaties laten zien dat de grote stern weinig gevoelig is voor lokale veranderingen van concentraties slib in de range zoals die door zandwinning voorspeld worden. De achteruitgang van de zichtdiepte door slib is waarschijnlijk gering (~ een toename van 1 mg/l). De nabij Texel broedende grote sterns hebben meer dan voldoende gelegenheid deze achteruitgang te compenseren in hun foerageergebied rond de Razende Bol door iets meer te duiken. Dit lijkt ook breder toepasbaar op andere gebieden (Stienen & Brennikmeijer, 1993, 1994, Brennikmeijer e.a. 2002). Voor de Westerschelde lijken er ook optimumkrommes te zijn voor de relatie vangstsucces : zichtdiepte (Brennikmeijer e.a. 2002). In Guinée-Bissau wordt ook een redelijk vlakke lijn voor de relatie vangstsucces met zichtdiepte gemodelleerd voor meerdere soorten sternachtigen (Stienen e.a. 1993, Stienen & Brennikmeijer, 1994). De veranderingen van ~1mg/l slib zullen weinig verschuivingen geven in de grafieken die zij laten zien. De resultaten lijken daarmee algemeen geldig te zijn voor grote sterns.

Nabij een sleepopperzuiger zal in tegenstelling tot de verwachting (Boon e.a., 2006a,b) waarschijnlijk geen tot weinig pluim aan de oppervlakte komen. De grote sterns die hier foerageren zullen dus weinig tot geen verandering van zichtdiepte merken en daarmee ook geen verandering in hun vangstsucces. Het effect van extra slib op het gedrag en daarmee beschikbaarheid van de prooi is niet onderzocht. NB: sterns die verder op zee worden aangetroffen (voorbij de doorgetrokken -20 m NAP) zijn zeer waarschijnlijk niet meer plaatsgebonden aan de broedkolonie of verplichtingen aan de jongen (Stienen, 2006, Vanaverbeke e.a., 2009).

#### 5.3.2 *Welke extra kennis is gegenereerd i.v.m. de gesignaleerde leemten in kennis?*

Er was iets bekend over de relatie tussen zichtdiepte en vangstsucces bij grote sterns maar nog steeds twijfel over de correctheid van effectinschatting. In dit onderzoek is de relatie vangstsucces met zichtdiepte onderzocht voor de locatie op Texel. Daarnaast is voor het eerst ook non-lineaire statistiek toegepast om de relatie tussen zichtdiepte en vangstsucces te beschrijven. Daarnaast is een theoretische doorvertaling gedaan naar de betekenis van enkele mg/l slib extra op het vangstsucces van Sterns. Hieruit is gebleken dat de nabij Texel broedende grote sterns meer dan voldoende gelegenheid hebben de achteruitgang te compenseren in hun foerageergebied rond de Razende Bol door iets meer te duiken. De twijfel die er was over mogelijke effecten is weggenomen.

#### 5.3.3 *Welke extra kennis is gegenereerd i.v.m. de aangescherpte eisen uit natuurbescherming?*

Vanuit de Nb-wet en N2000-gebieden is het noodzakelijk zeker te weten dat er voldoende voedsel gevangen kan worden door grote sterns. Zeker in de broed- en zorgperiode was er twijfel of grote sterns wel voldoende tijd hebben voor het binnenhalen van voldoende vis. Het lijkt dat een grote stern de toename van ~0,3 duiken per vis, mogelijk veroorzaakt door extra slib van zandwinning, ruimschoots aankan. De bepalende factor voor broedsucces zal eerder gaan liggen in het voedselaanbod van prooi van de juiste lengte op het juiste moment (Vanaverbeke e.a., 2009).

#### 5.3.4 *Welke inzichten in effecten zijn verkregen die kunnen leiden tot het bijstellen van uitvoeringseisen en eventuele kostenbesparing?*

Er zijn geen voorzorgmaatregelen genomen omtrent dit onderwerp. Er was wel enige twijfel over de effectschatting. De kennisleemte voor broedende grote sterns foeragerend nabij de Razende Bol is ingevuld.

#### 5.4 Rapportages van het verrichte onderzoek

Tabel 5 Verzameltabel met de verrichte onderzoeken voor de relatie tussen vangstsucces van sterns en zichtdiepte					
onderzoek	doel	methode	resultaat	Nog kennisleemtes ?	Referentie
De relatie tussen zichtdiepte en vangstsucces van de grote sterns van De Petten, Texel.	Valideren effectschatting MER 2007	Veldobservaties en berekeningen	De verwachte $\Delta$ [slib] zal naar verwachting weinig impact hebben onder de gemeten omstandigheden	Impact $\Delta$ [slib] op prooiverdeling Effecten bij andere zichtjagers: fuut, aalscholvers, andere sternachtigen	Baptist M.J., M.F. Leopold (2007) WUR IMARES Wageningen UR Rapport C097/07

## 6 Rekolonisatie van de Zeeuwse banken

### 6.1 Motivatie onderzoek

Een van de vragen rondom zandwinning betreft het herstel van het gebied waar zand gewonnen is. Bij zandwinning voor suppletiezand verdwijnt de toplaag met al het dierlijk leven. Onder andere door de Commissie MER en bij de inspraak bij de MERren Zandwinning is zorg uitgesproken voor wat betreft de rekolonisatie van deze ontgonnen gebieden. Speciale belangstelling is er voor het gebied van de Zeeuwse Banken waar nog relatief weinig van bekend is. In een review aangaande rekolonisatie (Rozemeijer, 2009) is geconstateerd dat, gezien de beheer- en beleidsaspecten (o.a. intensief gebruik van de Zeeuwse Banken voor zandwinning), er meer duidelijkheid dient te komen over rekolonisatie van de regio Zeeuwse Banken.

De hier beschreven resultaten betreffen een samenvatting van de in het MEP kader uitgevoerde onderzoek aan de Zeeuwse Banken (Goudswaard & Perdon, 2009, Goudswaard & Escaravage, 2010, Goudswaard e.a., 2012, Wijsman e.a., 2013a, b).

Het MEP onderzoek Zeeuwse Banken loopt nog tot eind 2013. De resultaten die hier besproken worden, zijn dus nog niet volledig. Zo ontbreken de analyses van de boxcore data van 2012. De conclusies zijn dan ook voorlopig.

#### 6.1.1 Vraagstelling ten aanzien van huidige toestand Zeeuwse Banken en rekolonisatie

De vragen richten zich enerzijds op de rekolonisatie van de Zeeuwse Banken en anderzijds op de rekolonisatievragen ten aanzien van de huidige situatie van het Zeeuwse Bankengebied. Dit gebied stond aangewezen als potentieel N2000 gebied.

De onderzoeksvragen Zeeuwse Banken zijn:

- 1) Welke gemeenschappen bevinden zich op verschillende locaties op de Zeeuwse Banken. Zijn hierbij kwalitatieve verschillen aan te tonen?
- 2) Zijn er verschillen tussen toppen van de banken en troggen?
- 3) Vergelijk de gevonden gemeenschappen met die van de omgeving (Vlaamse Banken, Voordelta en nabijgelegen Noordzee. Doe een uitspraak over de uniciteit van de aangetroffen gemeenschappen. Is dit nu heel speciaal (zeldzame natuur) of verschilt het eigenlijk niet zoveel van de omgeving?
- 4) Zijn de Zeeuwse Banken een potentieel gebied voor schelpdierbanken? Geef een kwantitatieve inschatting op basis van de monsters en aanvullende expert judgement of op de winlocaties schelpdierbanken aanwezig zijn.
- 5) Vergelijk de twee methodes boxcoren en schaven met elkaar: leveren ze andere gemeenschappen op bij gemeenschapsanalyses of voldoen beide methodes even goed om eventueel een locatiespecifieke afweging te maken?

De onderzoeksvragen rekolonisatie zijn:

- i) Wat kan afgeleid worden over de tijdspanne die nodig is om te komen tot volledige rekolonisatie?
- ii) Kan op basis van de aangetroffen dieren en gemeenschappen worden gesteld dat er aanleiding is te verwachten dat rekolonisatie in de Zeeuwse Banken anders verloopt dan in andere gebieden als men kijkt naar de grootschalige processen van settlement en recruitment zoals beschreven in Rozemeijer (2009)?
- iii) Is het mogelijk om ten aanzien van de stadia van rekolonisatie onderscheid te maken tussen de gebieden?
- iv) Voldoet het aantal monsters voor de vereiste statistische resolutie? En zo niet, geef een analyse hoeveel monsters nodig zijn indien het noodzakelijk is aanvullend onderzoek te doen.

## 6.2 Korte samenvatting en conclusies

### 6.2.1 Aanpak

Over het bodemleven en de bodemsamenstelling in het Zeeuwse bankengebied was er nog weinig bekend. Om de vragen ten aanzien van de ecologische waarde van het bodemleven en ten aanzien van de snelheid van rekolonisatie na zandwinning heeft plaatsgevonden te kunnen beantwoorden dient er in het veld gemonitord te worden. Er is een uitgebreid vierjarig monitoringsplan opgezet en uitgevoerd gebruikmakend van boxcoremonsters en bodemschaafmonsters (Figuur 17). De bodemsamenstelling is bepaald met behulp van de boxcoremonsters. De bodemschaaf geeft een beter beeld van de grotere soorten en de boxcore geeft een beter beeld van de kleinere soorten (zoals bv. wormachtigen). De verkregen gegevens zijn geanalyseerd en vergeleken met andere monitoringsgegevens uit naastgelegen gebieden, zoals de Vlaamse banken in België, de Zeeuwse Voordelta en de diepere Noordzee.

Om de snelheid van de rekolonisatie na te gaan zijn in en om het zandwingebied vergelijkbare monsters genomen, waarna de gegevens tijdens en na de winning zijn vergeleken met monsters uit de omgeving. Hierbij is gebruik gemaakt van gebieden (Kabelzone, S7X, Figuur 17) waarin geen zandwinning heeft plaatsgevonden. De vergelijkingen zijn uitgevoerd met behulp van gemeenschapsanalyses en clusteranalyses.

### 6.2.2 Vergelijking uitkomsten boxcore en bodemschaaf

Het aantal soorten dat bemonsterd wordt met boxcore en bodemschaaf verschilt. Met de boxcore worden meer soorten gedetecteerd dan met de schaaaf, hierdoor zijn de uitkomsten van boxcore en bodemschaaf zeker niet vergelijkbaar. De verschillen tussen de dataset van de boxcore en de bodemschaaf wijzen eerder op de complementariteit van deze monstertuigen (Goudswaard e.a., 2010). In Wijsman e.a. (2013b) is daarom een gemeenschapsanalyse uitgevoerd op de gezamenlijke dataset van bodemschaaf en boxcore gegevens.

### 6.2.3 Gemeenschapsanalyses

Over het algemeen zijn de monsters zeer soortenarm. Gemiddeld worden er ongeveer 6 soorten per locatie aangetroffen. De monsters die zijn genomen in 2011 en 2012 zijn soortenarmer dan de monsters die in 2009 en 2010 zijn genomen. De gemeenschap wordt gekarakteriseerd door gemeenschappen van *Nephtys*, *Ophelia* en *Bathyporeia* op de meer geëxponeerde flanken van de banken, overgaand naar meer *Urothoe* en *Echinocardium* net voor de top van de bank. In de luwte achter de top is de gemeenschap het meest soortenrijk en worden de hoogste dichtheden aangetroffen. *Abra alba* wordt voornamelijk gevonden in de dalen waar de slibpercentages hoger zijn. Uit deze analyses volgt dat:

- Het gebied van de Zeeuwse Banken relatief arm is in bodemdiergemeenschap. Dit komt ook overeen met de observaties in de aangrenzende Vlaamse banken.
- De trog tussen de twee parallelle zandbanken evenals de meest zuidelijke van de parallelle zandbanken zijn relatief meer divers in bodemgemeenschap en hebben een hogere biomassa.
- Temporele variatie is relatief gering (Wijsman e.a., 2013b).

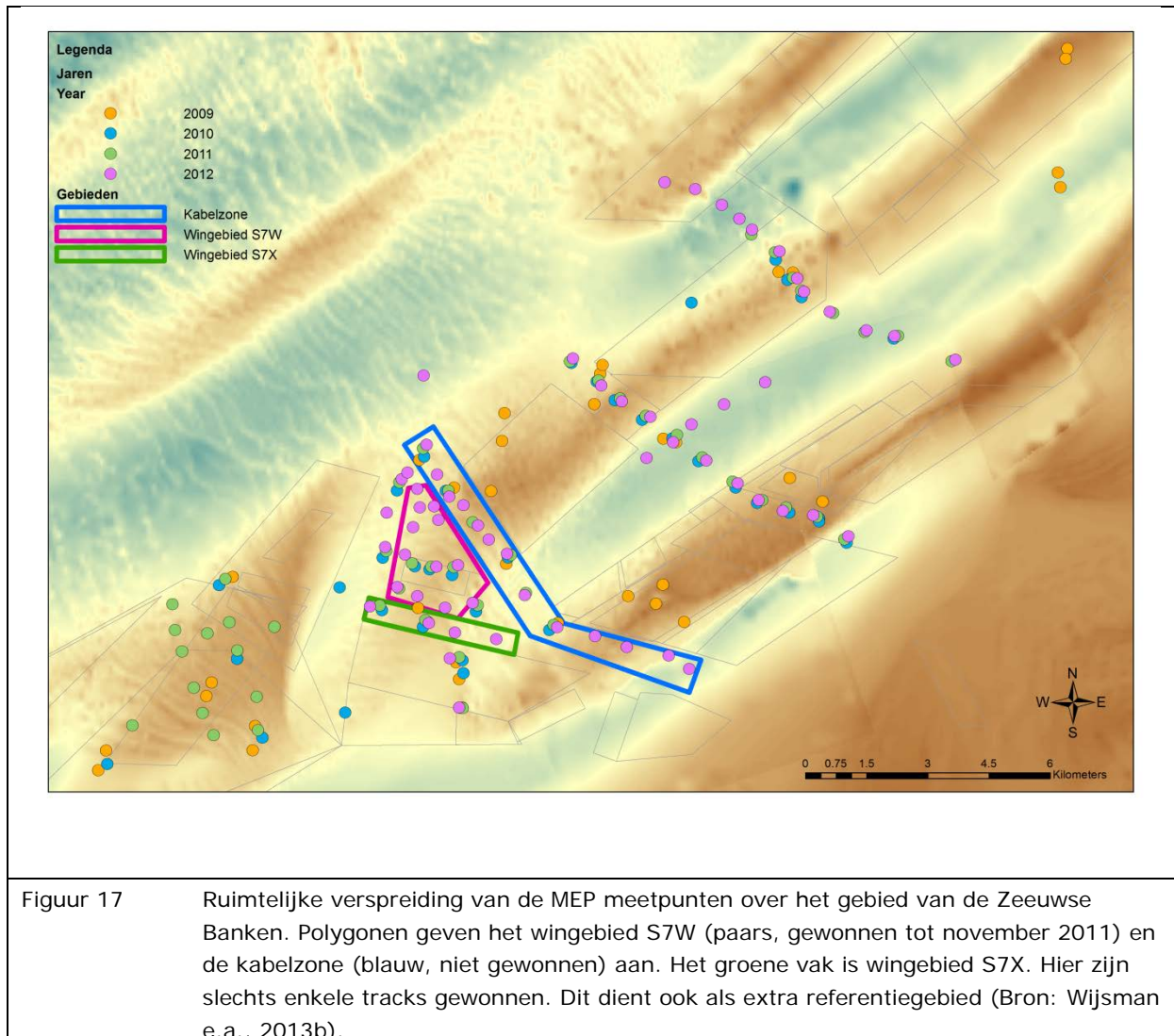
### 6.2.4 Onderscheid tussen toppen en dalen

De waarden m.b.t. het aantal soorten, de dichtheid en de biomassa zijn hoger in de dal- dan in de locaties op de toppen. In alle gevallen zijn de waargenomen verschillen significant ( $p < 0.05$  voor aantal soorten en dichtheid in schaaftmonsters en  $p < 0.01$  voor de overige karakteristieken).

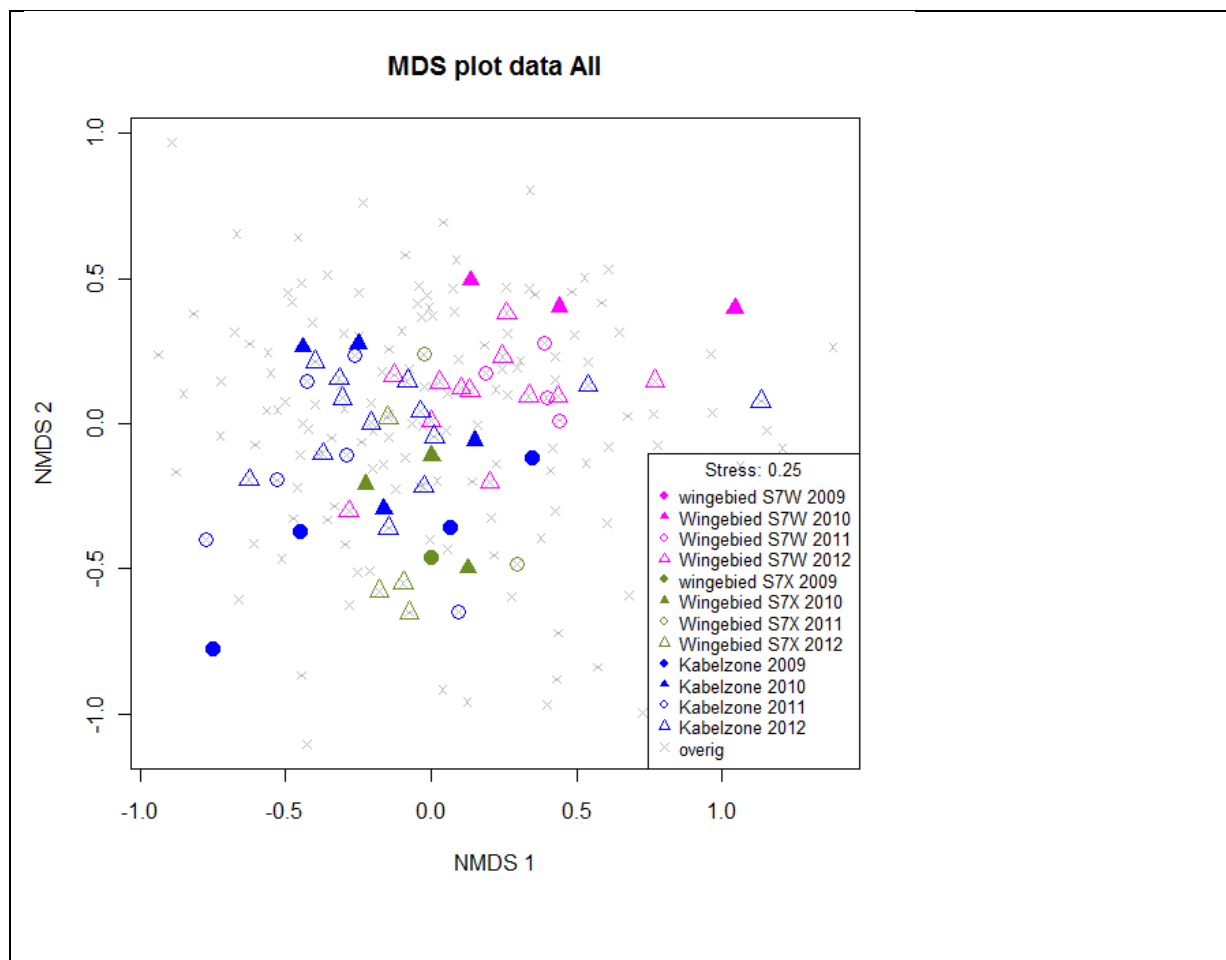
### 6.2.5 Resultaten rekolonisatie

Omdat er in S7W op de Zeeuwse Banken tot ongeveer eind 2011 gewonnen is, is het vaststellen van volledige rekolonisatie nog niet mogelijk. Wel is het mogelijk om een vergelijking te maken tussen het gebied waar zand gewonnen is (wingebied S7W) en de naastgelegen gebieden waar een nog in gebruik zijnde kabel ligt en waar geen zand gewonnen mag worden of nagenoeg niet gewonnen is (S7X, <1%, Figuur 17). Van het wingebied (paars) is bekend dat er zand gewonnen is tot en met november 2011, ieder jaar het gehele vlak. Daarna is het gebied gesloten voor zandwinning. Het gebied was vergund voor

winning tot 6 meter diepte. Het gebied is uiteindelijk voor 60% uitgeput waardoor het gebied (uitgaande van gelijkmatige winning over het gebied) tot 3.6 meter is verdiept. Door de bodemdiersamenstelling in het wingebied te vergelijken met het gebied van de kabelzone kan een eerste indruk worden verkregen over het herstel van de bodemfauna. Effecten van de bodemberoerende visserij zijn niet uit te sluiten en bemoeilijken het rekolonisatie onderzoek. Een nader onderzoek naar visserijdruk kan inzicht geven of er verschil was tussen beide gebieden.



**Figuur 17** Ruimtelijke verspreiding van de MEP meetpunten over het gebied van de Zeeuwse Banken. Polygonen geven het wingebied S7W (paars, gewonnen tot november 2011) en de kabelzone (blauw, niet gewonnen) aan. Het groene vak is wingebied S7X. Hier zijn slechts enkele tracks gewonnen. Dit dient ook als extra referentiegebied (Bron: Wijsman e.a., 2013b).



Figuur 18 nMDS plot van de stations in de zandwingebieden S7W (paars), S7X (groen) en in de kabelzone (blauw). In 2009 is niet in het wingebed S7W bemonsterd. In wingebed S7X zijn slechts enkele tracks gewonnen. Dit dient ook als extra referentiegebied (Bron: Wijsman e.a., 2013b).

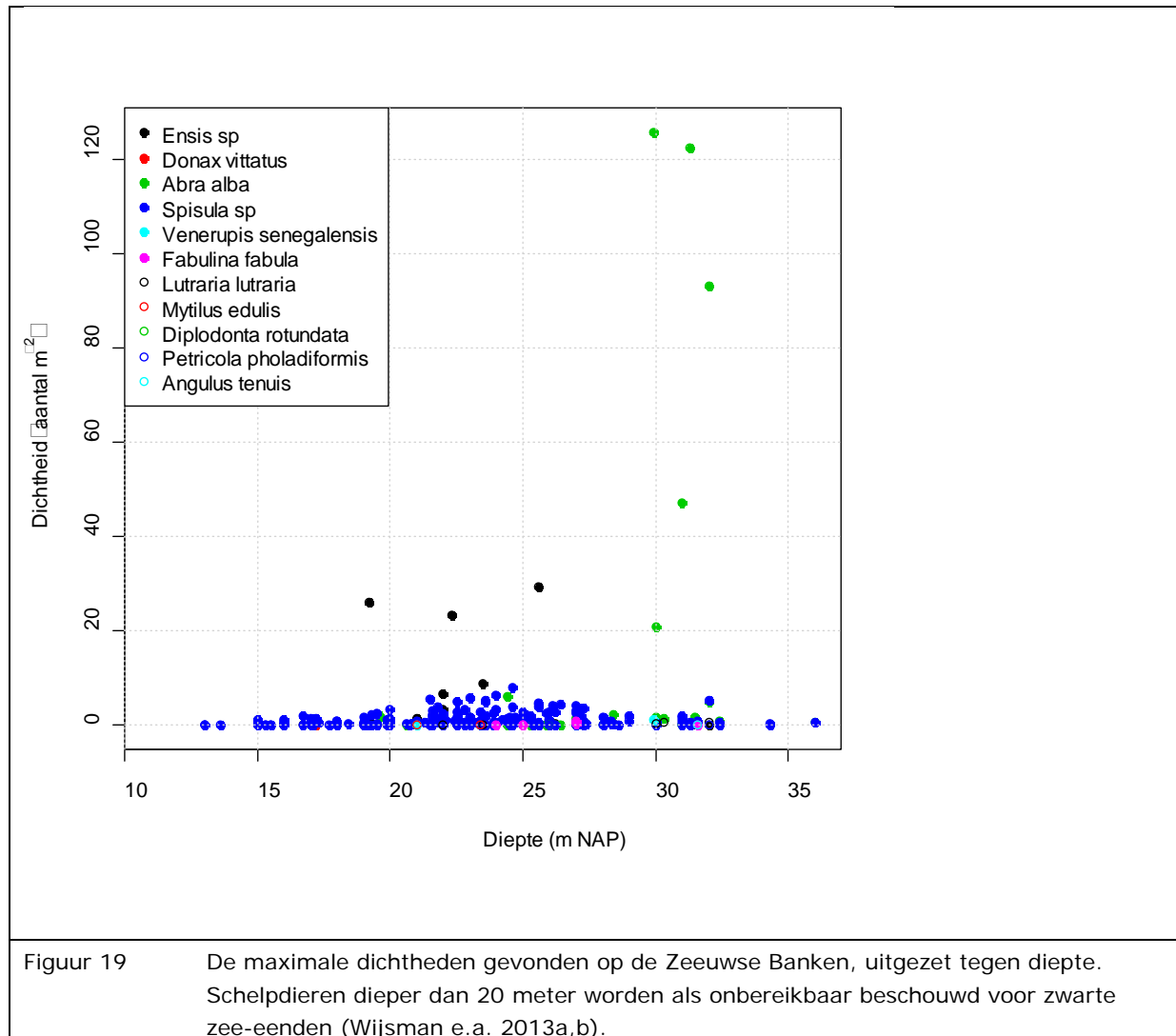
Uit de clusteranalyse en nMDS analyse van de gezamenlijke bodemschaaf en boxcore-data blijkt dat het wingebed S7W zich één jaar na stopzetting van de winning al weinig onderscheidt van de kabelzone (Figuur 18, Wijsman e.a., 2013b). Vooral in de jaren 2010 en 2011 is er verschil tussen de kabelzone en het wingebed. In 2012, minder dan een jaar na de sluiting van de zandwinning in het wingebed, zijn de verschillen tussen de gebieden aanzienlijk kleiner (Wijsman e.a., 2013b). De kabelzone kent meer gemeenschappen dan wingebed S7W en het andere gebied S7X. Het is dan ook ruimtelijk meer divers (meer habitats). De gemiddelde diversiteit per locatie binnen de kabelzone is lager dan de gemiddelde diversiteit in het wingebed S7W. Dit is vooral het geval in de jaren 2009 tot en met 2011. Ook het wingebed S7X is minder divers van wingebed S7W. De wingebeden S7W en S7X zijn in vergelijking met de kabelzone ruimtelijk homogener met relatief soortenrijke stations. Er is geen duidelijk jaarpatroon in de bodemdiersamenstelling in wingebed S7X (Wijsman e.a., 2013b). De lagere diversiteit in de niet-gewonnen gebieden kan duiden op een aspect van rekolonisatie dat een lege habitat meer kansen biedt voor settlement en daardoor (tijdelijk) grotere soortenrijkdom.

Het blijkt dat er in 2012, ongeveer een half jaar na de winning, nog nauwelijks verschillen zijn tussen win- en kabelgebied en dat voor dit gebied lijkt te gelden dat de rekolonisatie binnen een jaar grotendeels plaatsvindt.

**6.2.6 Het belang van aanwezige benthos op de Zeeuwse Banken en een vergelijking met de omgeving**  
De gevonden aantallen en concentraties van schelpdieren op de Zeeuwse Banken zijn laag en lijken niet te voldoen niet aan de criteria om als potentiële voedselbron voor schelpdierenetende vogels te kunnen



worden beschouwd (Figuur 19). Het hier gehanteerde criteria betreft de minimum dichtheid, die afhankelijk is van de grootte van de prooidieren, het vleesgewicht (Brinkman e.a., 2003, Leopold e.a., 2010, 2013) en diepte (> -20 meter, De Mesel e.a., 2011a,b, Leopold e.a., 2013). De dichtheden aan *Ensis* zijn gemeten op 160-300 ind./m<sup>2</sup> en 8 tot 13 gram AFDW/m<sup>2</sup> (Leopold e.a., 2010). Dit is gedaan op een ondiepe plek (-5 tot -10m), gemakkelijk bereikbaar voor zwarte zee-eenden. Hoge dichtheden ondieper dan -20 m en >160 ind./m<sup>2</sup> worden voor geen enkele soort gehaald (Figuur 19). De aangetroffen hoogste dichtheden (30 individuen per m<sup>2</sup>) van *Ensis* liggen op 19-25 meter diepte en daarmee op de grens of buiten bereik van schelpdieretende zee-eenden. *Abra alba* komt in grotere dichtheden voor (en een zeer globaal ingeschat AFDW van 1 gram /m<sup>2</sup>) nabij de -30 meter en dieper, te diep voor zwarte zee-eenden en minder nog dan 160 ind./m<sup>2</sup>.



#### 6.2.7 Concluderend voor de Zeeuwse Banken

De conclusies zijn:

- De waargenomen dichtheden van schelpdieren op de Zeeuwse Banken van alle monstertochten in 2009, 2010, 2011 en 2012 zijn laag en wettigen geen classificatie als schelpdierbank of als zijnde van belang als voedselgebied voor schelpdieretende vogels.

- Het onderzoek naar rekolonisatie is nog niet volledig afgerond, omdat zandwinning heeft plaatsgevonden tot eind 2011. Rekolonisatie<sup>14</sup> is een proces dat naar verwachting zo'n vijf jaar duurt, na stopzetting van een winning.
- De data laten wel zien dat gedurende de winningen en één jaar na stopzetting van de winning dat de rekolonisatie op de Zeeuwse Banken snel (orde een jaar of minder) op gang komt met zowel wormen, schelpdieren als epifauna. De gemeenschappen aangetroffen in het wingebied ontwikkelen zich het eerste jaar na stopzetting van de winning al richting de gemeenschappen in het referentiegebied. De temporele variatie is echter groot (Wijsman e.a., 2013b).
- Op basis van de soortensamenstelling ziet het er voorsnog naar uit dat de rekolonisatie op de Zeeuwse Banken op dezelfde manier verloopt als alle andere rekolonisatieprocessen van benthos gemeenschappen langs de kust.

### 6.3 Beantwoording evaluatievragen

#### 6.3.1 *Waren de (belangrijkste) effectvoorspellingen juist?*

Ten aanzien van de Zeeuwse Banken waren geen specifieke effectvoorspellingen gegeven in het MER. De algemene conclusie aangaande rekolonisatie was dat het vier tot zes jaar duurt. De aangetroffen soortensamenstelling op de Zeeuwse Banken geeft geen aanleiding te denken dat het voor dit gebied meer zou zijn. De voorlopige resultaten laten zien dat dit mogelijk sneller gaat, het onderzoek hiernaar loopt nog.

#### 6.3.2 *Welke extra kennis is gegenereerd i.v.m. de gesignaleerde leemten in kennis?*

Ten aanzien van de status van het Zeeuwse Bankengebied is veel kennis gegenereerd. Geconstateerd mag nu worden dat het een arm gebied is en veel lijkt op de Vlaamse Banken. In de bemonsteringsjaren zijn geen schelpdierbanken aangetroffen noch andere schelpdierdichtheden die het gebied van belang maken als voedselgebied voor schelpdieretende vogels (Figuur 19).

Ten aanzien van rekolonisatie is het vanwege de doorgaande winning nog niet mogelijk gebleken om conclusies te trekken over volledige rekolonisatie. Echter gelet op de aangetroffen beginstadia van rekolonisatie die ziet het er naar uit dat de rekolonisatie op de Zeeuwse Banken op dezelfde manier verloopt als alle andere rekolonisatieprocessen van benthos gemeenschappen langs de kust.

#### 6.3.3 *Welke extra kennis is gegenereerd i.v.m. de aangescherpte eisen uit natuurbescherming?*

De discussie was of dit Gebied met Bijzondere Ecologische Waarden (GBEW) mogelijk kwalificeert als N2000-gebied (zie bijvoorbeeld Cleveringa e.a., 2012). Het benthos geeft daar niet direct aanleiding toe. Op 30 januari 2013 is door het ministerie van EZ voorgesteld, op basis van nadere studie (Goudswaard e.a., 2011 en de MEP resultaten noemend in dit MEP), om het gebied niet onder bescherming van Vogel- of Habitatrichtlijn te laten vallen. Hoewel het habitatype "permanent overstroomde zandbanken" (H1110) aanwezig is in het gebied Zeeuwse Banken, onderscheidt dit zich onvoldoende van de naastgelegen, en reeds voor dit habitatype aangewezen, gebieden Voordelta en Vlakte van de Raan. Tevens voldoen de aantallen vogels in het gebied niet aan de selectiecriteria (Wijsman e.a., 2013a,b).

#### 6.3.4 *Welke inzicht in effecten zijn verkregen die kunnen leiden tot het bijstellen van uitvoeringseisen en eventuele kostenbesparing?*

Geconstateerd is dat het Zeeuwse Bankengebied op de meetpunten een arm gebied is. Het is onwaarschijnlijk dat dit gebied van belang is als voedselgebied voor schelpdieretende vogels. Uitvoeringseisen ten aanzien van het vermijden van schelpdierbanken zijn dan ook waarschijnlijk niet nodig.

---

<sup>14</sup> Rekolonisatie kent meerdere fases: het begint met de eerste aankomst van opportunisten (van r-strategen) die zich snel kunnen voortplanten, in grote aantallen zijn met vaak een kleine biomassa. Vervolgens nemen de diversiteit en de biomassa toe waarbij de overige soorten die meer op duurzaamheid gericht zijn (K-strategen) ook onderdeel gaan vormen van de gemeenschap.

## 6.4 Rapportages van het verrichte onderzoek.

Tabel 6 Verzameltabel met de verrichte onderzoeken voor de rekolonisatie van de Zeeuwse Banken.					
onderzoek	doel	methode	resultaat	Nog Kennis-leemtes ?	Referentie
Review ten behoeve van de onderzoeks- aanpak	Onderzoeks-aanpak	Literatuur onderzoek	Onderzoeks-aanpak	De beschreven kennisleemtes zijn aangepakt in het voorliggende MEP	Rozemeijer M.J.C. (2009) Memo RWS-Waterdienst NWOB/MJCR-2009.01.
Meting T0 Zeeuwse Banken.	Bepaling ecologische waarde van het gebied.	Bodemmeting benthos met boxcore en bodemschaaf.	Beschrijving ecologische waarde van de Zeeuwse Banken en van het rekolonisatie proces	Geen grote kennisleemten	Goudswaard P. C. en K.J. Perdon (2009) IMARES Wageningen UR Rapport C031/09
Bemonstering en Rapportage van de macrofauna op de Zeeuwse Banken in 2009.	Bepaling ecologische waarde van het gebied.	Bodemmeting benthos met boxcore en bodemschaaf.	Beschrijving ecologische waarde van de Zeeuwse Banken en van het rekolonisatie proces	Geen grote kennisleemten	Goudswaard P.C. en V. Escaravage (2010) IMARES Wageningen UR Rapport C120/09 en CEME
Bemonstering en Rapportage van de macrofauna op de Zeeuwse Banken in 2010.	Bepaling ecologische waarde van het gebied.	Bodemmeting benthos met boxcore en bodemschaaf.	Beschrijving ecologische waarde van de Zeeuwse Banken en van het rekolonisatie proces	Geen grote kennisleemten	Goudswaard P.C., J.W.M. Wijsman en V. Escaravage (2012) IMARES Wageningen UR Rapport C046/11 en NIOO CEME.
Bemonstering en Rapportage van de macrofauna op de Zeeuwse Banken in 2011.	Bepaling ecologische waarde van het gebied.	Bodemmeting benthos met boxcore en bodemschaaf.	Beschrijving ecologische waarde van de Zeeuwse Banken en van het rekolonisatie proces	Geen grote kennisleemten	Wijsman J.W.M., Goudswaard P.C., Escaravage V., Wijnhoven S. (2013a) IMARES Wageningen UR NIOZ Rapport C032/12.
De macrobenthosgemeenschap van de Zeeuwse Banken na zandwinning. Een overzicht van drie T0 jaren en een eerste jaar van rekolonisatie	Bepaling ecologische waarde van het gebied.	Bodemmeting benthos met boxcore en bodemschaaf.	Beschrijving ecologische waarde van de Zeeuwse Banken en van het rekolonisatie proces	Geen grote kennisleemten, voor opvolging rekolonisatie nog aanvullende metingen nodig.	Wijsman J.W.M., Goudswaard P.C., Escaravage V., Wijnhoven S. (2013b) IMARES Wageningen UR Rapport C164/13, NIOZ, Monitor Taskforce Publication Series 2013 – 17. Concept.

## 7 Schelpdierbanken

### 7.1 Motivatie onderzoek

Verstoringen door zandwinning en zandsuppletie kunnen de ruimtelijk en temporele verspreiding van schelpdieren, schelpdierbanken en de schelpdiereters beïnvloeden (Ellerbroek e.a., 2008).

Schelpdierbanken zijn van belang als stapelvoedsel en ze beïnvloeden de ruimtelijke verspreiding van zwarte zee-eenden en eiders. De bestanden zijn ieder jaar weer anders hoewel er waarschijnlijk wel gebieden zijn met verhoogde kans (bijvoorbeeld bij Ameland) van bezetting door hoge dichtheden. De ruimtelijke en temporele verspreiding van schelpdierbanken worden ieder jaar gemonitord door MWTL (Ministerie van I&M) en het jaarlijks Wettelijke Onderzoekstaken (WOT) programma van het Ministerie van EZ.

De Commissie MER heeft in haar toetsingsadvies geadviseerd om kort voordat in de beoogde winkavels de zandwinning van start gaat, door middel van bodembemonsteringen dan wel door een andere eenvoudig toe te passen meettechniek zeker te stellen dat zich daar geen banken van levende organismen, waaronder ingegraven of schelpdieren bevinden.

Een andere benadering bestaat uit de ontwikkeling van een methodiek om de kans op de aanwezigheid van schelpdierbanken te voorspellen, waardoor geen extra onderzoek van gekozen winkavels nodig zou zijn (Ellerbroek e.a., 2008).

De volgende paragrafen gaan over de in het MEP 2008-2012 uitgevoerde onderzoeken gericht op het vastleggen van de trends in het voorkomen en verspreiding van schelpdierbanken op zee. Van daaruit worden de eerste stappen gezet om het voorkomen van schelpdierbanken te voorspellen.

### 7.2 Korte samenvatting van de vragen, aanpak en conclusies

#### **Aanpak:**

Om de vragen rondom schelpdierbanken te beantwoorden is gekozen voor een meervoudige aanpak met meerdere onderzoekslijnen:

- 1) Extra metingen in wingebeden.
- 2) Statistische analyse van de bestanden.
- 3) Habitat Geschiktheidskaarten.
- 4) Trendanalyses.
- 5) Prioritering van de onderzoekslocaties aan de hand van de aanwezigheid van predatoren (zwarte zee-eenden).
- 6) Quick-scan methodes (zie hoofdstuk 0).

#### *7.2.1 Extra metingen in wingebeden*

Een aantal extra metingen is uitgevoerd in zandwingebeden (Goudswaard & Perdon, 2009a,b, Goudswaard & Escaravage, 2010, Goudswaard e.a., 2011b, Wijsman e.a., 2013a,b). Daar werden geen schelpdierbanken gevonden. In Goudswaard & Perdon (2009b) werd geadviseerd de monsterpunt dichtheid per wingebed op te voeren. Aan de andere kant, het bestaande WOT schelpdierprogramma is geoptimaliseerd voor de detectie van schelpdiervoorraden. De hoogste bemonsteringsdichtheid in de jaarlijkse kustsurvey voor alle schelpdieren is één monsterpunt per 6.6 hectare (Goudswaard e.a., 2009b). Daar waar de verwachtingen laag zijn (bv buiten de -20 m), is de meetinspanning laag. Dit zijn twee tegengestelde interpretaties waar nog geen antwoord op is.

#### *7.2.2 Statistische analyse van de bestanden*

De hoofddoelstelling bij dit onderzoek "Ruimtelijk en temporele verspreiding van schelpdierbanken" is gericht op het ontwikkelen van een methodiek waarmee de kans op de aanwezigheid van schelpdiergemeenschappen en -banken in bepaalde gebieden en perioden voorspeld kan worden (Ellerbroek e.a., 2008).

### 7.2.2.1 Habitat Geschiktheidskaarten

De aanpak bij dit onderzoek begint met het in beeld brengen van de Habitat Geschiktheidskaarten (HGKs) van vijf geselecteerde schelpdieren (*Ensis* sp., *Spisula*, *Macoma*, *Donax vittatus*, *Tellina fabula*) gekoppeld aan de abiotische gegevens die het voor komen van bodemdieren kunnen beïnvloeden. Voorbeeldfactoren zijn waterdiepte, sedimentsamenstelling, voedselbeschikbaarheid en stroomsnelheid. Op basis van de gemeten en berekende (a)biotische factoren zijn verschillende statistische methodes getest en modellen gemaakt waarmee een eerste stap is gezet ten behoeve van het later kunnen opstellen van HGKs voor schelpdierenbanken (De Mesel e.a., 2011a,b).

*Spisula* kan wijdverspreid voor komen (Figuur 20). Het is een duidelijk mariene soort: het zoutgehalte mag niet te laag zijn. Het voor komen is gecorreleerd met dieptes groter dan 5m, met blijkbaar een lichte voorkeur voor de zone van 5 tot 10m diepte. Vanaf ongeveer 20m diepte wordt de respons negatief. *Spisula* heeft een voorkeur voor relatief vlakke bodems (BPI-zone = 7, helling < 1%). De stroomsnelheden mogen ook niet te hoog zijn: mediane waardes < 0.3 m/s en maximale waardes < 0.45 m/s. Ze hebben, net als *Ensis*, een lagere correlatie met grovere sedimenten (mediane korrelgrootte > 400 µm), maar daaronder is hun voorkeur minder uitgesproken. In deze studie heeft *Spisula* een (lichte) correlatie voor de lagere slibgehalten, en met name voor zuivere zandbodems. Rest tot slot nog de minimale stroomrichting, die het meest bijdraagt aan het model. Deze variabele moet hierbij als proxy gezien worden voor geografische verschillen in een niet in het model meegenomen abiotische variabele, analoog aan de vaak gebruikte geografische positie. De minimale stroomrichting is vooral boven de Waddeneilanden hoog, en verder in het mondingsgebied van Westerschelde en Oosterschelde. In overige gebieden is de minimale stroomrichting laag.

*Ensis* is ook een mariene soort met een hogere correlatie met de hogere zoutgehalten. Ze hebben verder een voorkeur voor de ondiepe kustzone (Figuur 20). De voorkeur gaat ook niet naar erg ondiepe gebieden: negatieve respons als diepte kleiner is dan 5m. Wat overigens niet betekent dat ze niet op andere dieptes gevonden kunnen worden. De correlatie is hoger bij relatief vlakke bodems (anders dan in de Waddenzee waar *Ensis* meer in de geulen en geulwanden wordt aangetroffen, Dekker & Beukema (2012)). Stroomsnelheden mogen niet te hoog zijn (maximale stroomsnelheid < 0.4 m/s). *Ensis* vertoont een hogere correlatie met fijn zandige, weinig slib houdende sedimenten: een positieve respons bij mediane korrelgroottes tot ongeveer 200 µm, een negatieve respons voor sedimenten met een mediane korrelgrootte boven de 400 µm. Maar ze hebben blijkbaar wel een brede tolerantie en worden ook in slibrijke bodems en grof zand gevonden.

*Macoma* is duidelijk gebonden aan de ondiepe kustzone, met een voorkeur voor dieptes tussen ongeveer 2m en 12m. Ze hebben ook een voorkeur voor lage stroomsnelheden. Er is ook een voorkeur voor gebieden waar de minimale stroomrichting hoger is dan 60°. Deze variabele moet als proxy gezien worden voor geografische verschillen. De minimale stroomrichting is vooral boven de Waddeneilanden hoog, en verder in het mondingsgebied van Westerschelde en Oosterschelde. De factor slib blijft wat onbepaald. In de Nederlandse kustzone is de kans op voor komen dus het grootst dicht bij de kust, en met name in het gebied vanaf Terschelling tot de Duitse grens.

De abiotische variabelen die het meest bijdragen aan het model voor *Donax* zijn het detritusgehalte, de mediane korrelgrootte en het slibgehalte van het sediment, de helling van de zeebodem en de diepte. Er is een duidelijk negatieve respons op lage detritus-gehalten, wat wijst op voedsellimitatie in een deel van de Nederlandse kustzone. *Donax* heeft een voorkeur voor slibarme (< 10%), fijnzandige sedimenten met een negatieve respons voor sedimenten met een mediane korrelgrootte groter dan 400µm. Binnen deze grenzen zou het dier zich ook het vlugst in het sediment kunnen ingraven, zeker nodig voor een dier dat voor komt tot in de brandingszone. Ze hebben een gespierde voet en kunnen ze zich na uitspoelen weer binnen enkele seconden ingraven. Ze zouden bij de geprefereerde korrelgroottes ook het minste energie moeten spenderen aan het sluiten van de kleppen. Tot slot heeft het zaagje ook een voorkeur voor vlakke bodems (kleine helling), al is de relatie met de BPI-zone zwakker dan bij bijv. *Spisula* en *Ensis*.

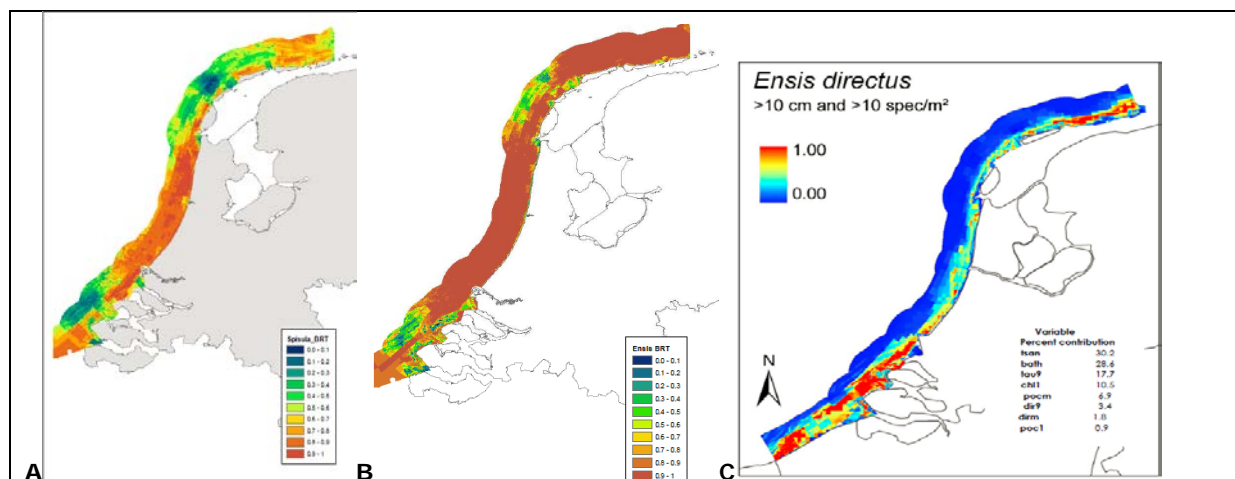
De kans op voor komen is vooral in noordelijke gebieden groot, met de hoogste trefkans uit de kust bij Terschelling en Nood-Holland.

*Tellina* laat, net als bij het zaagje, een duidelijk negatieve respons zien op lage detritus-gehaltenes, wat waarschijnlijk wijst op voedsellimitatie. *Tellina* is hoger gecorreleerd met fijnere sedimenten, en heeft een negatieve respons op grovere sedimenten (mediane korrelgrootte > 350 µm). Wat diepte betreft, heeft *Tellina* een voorkeur voor waterdieptes groter dan 10m. Er is ook een voorkeur voor gebieden waar de minimale stroomrichting kleiner is dan 10°, en de maximale stroomrichting kleiner is dan 230°. Deze variabelen moeten, zoals eerder gezegd, als proxy gezien worden voor geografische verschillen. De minimale stroomrichting is vooral boven de Waddeneilanden hoog, en verder in het mondingsgebied van Westerschelde en Oosterschelde. De maximale stroomrichting is vooral in de Voordelta en in de zeegaten bij de Waddeneilanden laag.

### 7.2.2.2 Schelpdierbanken

Voor *Ensis* heeft een algemene HGK, gebaseerd op grote en kleine *Ensis* en gebaseerd op maximaal aangetroffen dichtheden, duidelijk andere (ruimere) contouren (De Mesel e.a. 2011a,b) dan een HGK voor *Ensis* groter dan 10 cm en in dichtheden van 10 ind./m<sup>2</sup> (Houziaux e.a., 2011) (Figuur 20B,C). De eerste benadering resulteert in een Habitat geschiktheidskaart waarbij nagenoeg de gehele kustzone geschikt lijkt. Bij de tweede benadering (feitelijk een vervolgstap) wordt duidelijk, ondanks alle verschillen in de gebruikte model (zie onderschrift Figuur 20), dat voor oudere *Ensis* minder habitat geschikt blijkt. Het lijkt er op dat de eerste *Ensis* kaart (Figuur 20B) vooral laat zien waar *Ensis* een goede recruitment kan hebben en de volgende kaart (Figuur 20C) laat zien waar *Ensis* zich langduriger kan handhaven. Een dergelijk patroon werd ook waargenomen in de Belgische kustzone (Houziaux e.a., 2011).

De vraag blijft nog open wat de HGKs zijn voor schelpdierbanken (bijvoorbeeld > 100 van ind./m<sup>2</sup> van kleine (<10cm) en grote *Ensis* en voor banken van *Spisula*. Huidige onderzoeken (De Mesel e.a., 2011a,b, Houziaux e.a., 2011) hebben de voorbereidende stappen gezet de data te ontsluiten door de eerste verkenningen te doen.



Figuur 20 De Habitat Geschiktheidskaarten voor:  
A: *Spisula* (model: Boosted Regression Trees, De Mesel e.a., 2011a,b)  
B: *Ensis* (model: Boosted Regression Trees, De Mesel e.a., 2011a,b)  
C: *Ensis* (model: Maxent model, Houziaux e.a. 2011)

### 7.2.3 Conclusies voor de Habitat Geschiktheidskaarten

Het onderzoek heeft geleid naar het in kaart brengen van de ruimtelijke en de temporele verspreidingspatronen van vijf schelpdiersoorten langs de Nederlandse kust. De verspreidingskaarten zijn

gebaseerd op dichtheid- en biomassagegevens uit de jaarlijkse WOT schelpdiersurvey over de periode 1995-2009.

De HGKn en de onderliggende (a)biotische drivers komen voor iedere soort goed overeen met wat men uit de algemene ecologie kent van iedere soort.

#### 7.2.4 Trendanalyses

De doelstelling van het trendanalyse-onderzoek is om de ruimtelijke en de temporele trends in de KRM indicatoren voor Zeebodemintegriteit te beschrijven. Als eerste is het doel om hiermee inzicht te krijgen in wat de basismonitoringsinspanning zou moeten zijn om menselijke drukfactoren als zandwinning te detecteren in een van nature variabel systeem als de Noordzee. Ten tweede zet het de eerste stappen in de definitie van het "relevante areaal"<sup>15</sup> om de effecten van zandwinning tegen af te zetten. Dit is een steeds weer terugkomende discussie met de Commissie MER. Dienen de effecten te worden afgezet tegen een juridisch relevant areaal (bv gerelateerd aan de N2000 gebieden in het kader van de externe werking, de juridische zandwinzone tussen de doorgetrokken -20m en de 12 mijl) of tegen de meer ecologisch relevante range (de verspreiding van bodemgemeenschappen, de foerageerrange van een vogel).

Hierbij is gebruik gemaakt van de EUNIS Habitatype classificatiesystematiek<sup>16</sup> en daarin drie EUNIS-schaalniveaus (EUNIS-niveau 3, 4 en 5, De Mesel e.a. 2012a,b). Hiermee kan potentieel de impact van zandwinning en andere menselijke handelingen op zee onderscheiden worden van natuurlijke trends die van invloed zijn op de indicatoren.

Uitgangspunt in het onderzoek was om bestaande data uit de huidige monitoringsinspanningen (WOT en MWTL) te gebruiken. De geschiktheid van data uit de monitoringinspanningen (MWTL en WOT) is getoetst voor het gebruik van trendanalyses en het detecteren van menselijke invloeden (drukfactoren) op de zeebodem. Data verzameld met de boxcorers in het kader van de MWTL zijn geschikt voor de berekening van de multimetrische en biodiversiteitindices, zoals gedefinieerd in Descriptor 6 'zeebodemintegriteit' van de KRM. Voor de berekening van trends voor een aantal schelpdieren en zeldzame organismen en andere KRM indicatoren, lijkt de MWTL methodiek minder geschikt vanwege de lage trefkans voor deze soorten en groepen. Hiervoor is de bemonstering met een bodemschaaf (WOT) beter geschikt (De Mesel e.a. 2012a,b).

De EUNIS-niveau 3, is te grof gevonden voor het berekenen van de ruimtelijk en de temporele trends in de benthos data. EUNIS-niveau 4 en 5 laten significante trends zien in bepaalde deelgebieden. EUNIS-niveau 4 lijkt een betere schaal te zijn en de huidige vorm van EUNIS-niveau 5 kan weinig informatie extra brengen ten opzichte van EUNIS-niveau 4. Dit suggereert dat om trends echt te kunnen monitoren (van natuurlijke dan wel humane oorsprong) gemonitord zou moeten worden in een EUNIS-niveau 4 benadering in tijd, resolutie en ruimte. Voor de discussie omtrent het relevant areaal is nu een eerste stap gezet. Het is duidelijk geworden wat de waarde is van de huidige metingen en hoe gemeten dient te worden om zandwinning als effect te kunnen gaan onderscheiden. Nu is er een vervolgstap nodig om per criterium een afweging te maken tussen juridische en ecologische argumenten wat het relevant areaal is.

---

<sup>15</sup> Ruimtelijke en temporele effecten van zandwinning, baggerstort en visserij zijn onderscheiden door middel van verschillende schalen van "relevant areaal". Bij "relevant areaal" is de vraag tegen welk oppervlak (onbeïnvloed gebied) een beïnvloed gebied afgezet dient te worden. Het beïnvloed gebied is dan de teller, het relevant areaal staat in de noemer.

<sup>16</sup> Binnen de EUNIS systematiek wordt habitat gedefinieerd als de begrenzing van een gebied waar planten of dieren normaal leven, primair op grond van de fysische eigenschappen (topografie, bodemkenmerken, het klimaat, waterkwaliteit, etc.) en secundair door de soorten planten en dieren die er wonen. Met een toename in de hoogte van het EUNIS niveau, neemt de verfijning van het habitat toe. EUNIS 3 kent bv 5 habitats, waar EUNIS 5 er 11 kent (De Mesel e.a., 2012a,b).

Zeker in het licht van toekomstige schaalvergrotingen (Deltaprogramma), is de vraag of een relevant areaal ter grootte van de juridische zandwijnzone het mogelijk maakt om grote winningen te doen.

De WOT data zijn beter geschikt voor trendanalyses want voor slechts 4 van de 24 gevallen voldeed de dataset niet. Menselijk handelen alleen had geen additionele verklarende waarde voor het voor komen van soorten. Abiotische variabelen waren telkens nodig als eerste verklarende set. De dichtheden van elke soort en diversiteitsindices zijn daarom primair geanalyseerd op correlatie met abiotische omstandigheden en vervolgens is het belang van menselijk handelen in het verklaren van de variatie als co-variabele getest. Met deze methode kon toch iets gezegd worden over de verhouding natuurlijke trends en menselijk handelen waar de databeschikbaarheid en –resolutie zich er eigenlijk weinig toe leenden.

Daarnaast is het CUMULEO-RAM model ingezet om cumulatieve effecten van menselijk handelen op de indicatoren in te schatten. Het CUMULEO-RAM model is een generiek model dat in staat is de drukfactoren van een groot aantal activiteiten te cumuleren en te vertalen naar een potentieel effect op een populatie. Er is onderzocht of het model, dat oorspronkelijk is ontwikkeld voor AMOEBE indicator soorten, kan worden ingezet voor het gehele NCP en voor een set van bodemdiersoorten die relevant zijn voor KRM en effectschatting voor zandwinning. Het blijkt dat dit model bijdraagt tot een beter begrip van de ruimtelijke spreiding van menselijke druk op de onderzochte soorten op het NCP. Cumuleo kan ingezet worden voor de KRM. Daarnaast kan ook een duidelijk onderscheid gemaakt worden in de effecten op een K-strateeg (bijvoorbeeld de noordkromp, duidelijk gevoeliger) en een R-strateeg als *Ensis* die minder gevoelig blijkt.

De prioritering van de locaties aan de hand van de predatoren (zwarte zee-eenden) en het gebruik van quick-scan methodes staan beschreven in respectievelijk hoofdstuk 0 en 8 in dit rapport.

### 7.3 Beantwoording Evaluatievragen

#### 7.3.1 Waren de (belangrijkste) effectvoorspellingen juist?

De vraag was of er extra behoefte is aan extra meetinspanningen om de aanwezigheid van schelpdierbanken te controleren. De reguliere WOT metingen hebben laten zien dat bij de huidige meetdichtheid geen schelpdierbanken worden aangetroffen buiten de -20 m NAP (Goudswaard e.a., 2008, 2009c, 2010b, 2011b, 2012b). Ook de aanvullende metingen o.a. op de Zeeuwse banken lieten zien dat op de gemeten locaties geen schelpdierbanken zijn aangetroffen (Goudswaard e.a. 2009a,b, 2010a, 2012a, Wijsman e.a. 2013a,b).

De statistische analyses laten zien dat voor *Spisula* en *Ensis* de zone voorbij de doorgetrokken -20 m NAP potentieel een geschikt habitat is (De Mesel e.a., 2011a,b). Er zijn trends in de aanwezigheid van *Spisula* en *Ensis*. *Spisula* neemt duidelijk af waar *Ensis* toeneemt (De Mesel e.a. 2011a,b, 2012a,b, Goudswaard e.a. 2011, 2012b). De discussie of het noodzakelijk is om extra te meten is nog niet beslecht. Aan de ene kant lijken de grote schelpdierconcentraties minder diep te zitten, kustwaarts van de zandwijnzone (Leopold e.a. 2013, Houziaux e.a. 2011). Ook de zwarte zee-eenden (de predatoren) verblijven eerder op ondiepe locaties (De Mesel e.a., 2011a,b, Leopold e.a., 2013). Aanvullend heeft het reguliere WOT programma een lage dichtheid buiten de -20 m NAP omdat de aantrefkans voor schelpdierbanken laag is. Ook aanvullende metingen vanuit dit programma lieten zien dat er geen schelpdierbanken waren. Aan de andere kant wijzen de langjarig gemiddelde verspreidingskaarten aan dat de regio voorbij de doorgetrokken -20 m NAP goed geschikt is voor *Ensis* en *Spisula*. Er is ook wel degelijk kans op schelpdierconcentraties (*Ensis*) van  $>100$  individuen  $m^{-2}$  dieper dan de doorgetrokken -20 m NAP (Witbaard & Kamermans, 2010, Lindeboom e.a. 2008, De Mesel e.a. 2011a,b).

Niet alleen de banken, geschikt voor zwarte zee-eenden, dienen beschermd te worden. Aangezien schelpdierbanken op 100 m afstand gemeden moeten worden bij zandwinning (Ministerie van V&W, 2010) lijkt het zaak verder te gaan met de bestandsbemonsteringen dan wel statistische analyses om



aanvullende zekerheden te genereren over de waarschijnlijkheid dat schelpdierbanken worden aangetroffen voorbij de doorgetrokken -20 m NAP.

De effectschattingen in het MER 2008-2012 en in de vergunningaanvragen van afgelopen periode zijn correct geweest maar ze bieden geen garanties voor de toekomst.

#### *7.3.2 Welke extra kennis is gegenereerd i.v.m. de gesignaleerde leemten in kennis?*

De temporele - en ruimtelijke verspreidingen van vijf benthos soorten (*Ensis*, *Spisula*, *Macoma*, *Donax*, en *Tellina*) in het kustgebied zijn geanalyseerd door middel van HGKs op basis het MWTL en het WOT monitoringinspanningen. Hiermee is achtergrondmateriaal voor effectschatting gegenereerd.

Voor KRM en projectmonitoring is duidelijk gemaakt dat voor schelpdieren de juiste methode gebruikt dient te worden (schaaf, dan wel meerdere boxcores per monsterlokatie). De EUNIS niveau 4 is de meest geschikte schaal voor het afzetten van menselijk effecten op de zeebodem versus het relevante areaal. Het lijkt erop dat op NCP niveau natuurlijke trends belangrijker zijn dan menselijk handelen.

#### *7.3.3 Welke extra kennis is gegenereerd i.v.m. de aangescherpte eisen uit natuurbescherming?*

Eventuele effecten van zandwinning, -transport en -suppletie zijn verder inzichtelijk gemaakt evenals de effecten van ander menselijk handelen in relatie tot de natuurlijke trends en dynamiek. De ontwikkelde kennis kan ook ingezet worden in de evaluatie van de gesloten gebieden in het kader van KRM, VIBEG en de verbeteropgave H1110.

De habitatkaarten zijn gebaseerd op veel factoren. Bij toepassing van verschillende statistische modellen bleek ook iedere keer een andere combinatie van factoren de beste fit te geven. Dat maakt het weinig waarschijnlijk dat er echt dominante factoren zijn die de verdeling van de onderzochte schelpdieren bepalen.

#### *7.3.4 Welke inzicht in effecten zijn verkregen die kunnen leiden tot het bijstellen van uitvoeringseisen en eventuele kostenbesparing?*

De uitvoeringseis is om extra zekerheden te verkrijgen over de afwezigheid van schelpdierbanken in zandwinlocaties. Dit MEP heeft de voorbereidende stappen gezet om schelpdierbanken beter en sneller te meten (zie hoofdstuk 0). Het MEP heeft ook de eerste stappen gezet in het ontginnen van de bestaande databestanden (WOT en MWTL). Hieruit volgt dat nagenoeg de gehele Nederlandse Kustzone geschikt is voor hoge concentraties *Ensis* en *Spisula*. Een samenwerking met het project EnSIS heeft daarop een vervolgstap gemaakt voor *Ensis* door te kijken naar de distributie van *Ensis* > 10 cm in dichtheden > 10 ind./m<sup>2</sup>. Dat verspreidingsgebied is aanmerkelijke kleiner (Houziaux e.a. 2011). Het MEP onderzoek lijkt hiermee iets te zeggen over de potentie voor recruitment. De resultaten voor EnSIS (Houziaux e.a., 2011) lijken iets te zeggen over consolidatie van oudere dieren.

In de trendanalyses is een bruikbare methodiek ontwikkeld om de effecten van natuurlijk en menselijke drukfactoren inzichtelijk te maken ondanks lage databeschikbaarheid. Deze methode kan verder gebruikt worden voor het schatten van de effecten van menselijke handelingen.

## 7.4 Rapportages van het verrichte onderzoek

Tabel 7 Verzameltabel met de verrichte onderzoeken ten bate van de bestandsschattingen en statistische analyse van bestaande benthos data. HGK staat voor Habitat Geschiktheidskaart.					
onderzoek	doel	methode	resultaat	Nog kennisleemtes?	Referentie
HGK voor schelpdieren	verbetering inzicht algemene ecologie schelpdieren voor verbeterde effect voorspelling	Statische analyse	HGK voor vijf relevante soorten	HGK voor schelpdierbanken bv met schelpdier concentraties ( <i>Ensis</i> , <i>Spisula</i> ) van >100 individuen m <sup>-2</sup> (zowel volwassen dieren als 0-jaars)	De Mesel I, Craeymeersch J, Schellekens T, van Zweeden C, Wijsman J, Leopold M, Dijkman E, Cronin K (2010) IMARES Wageningen UR rapport C042/11. Met bijlagen
Relatie benthos dichtheden en biomassa's met zwarte zee-eenden	Vaststellen wat de minimale behoefte aan benthos voor zwarte zee-eenden om uitvoeringsmaatregelen te optimaliseren	Statische analyse	Prioritering van onderzoeksgebied	Relatie benthos dichtheden met zwarte zee-eenden	De Mesel I, Craeymeersch J, Schellekens T, van Zweeden C, Wijsman J, Leopold M, Dijkman E, Cronin K (2010) IMARES Wageningen UR Rapport C042/11. Met bijlagen
Trends in indicatoren van KRM Zeebodintegriteit. Impact van natuurlijke factoren en menselijke handelen.	Kunne met de huidige meetinspanningen trends worden onderscheiden	Statische analyse	Schaafmethode voldoet voor de KRM indicatoren	Nadere duiding gevonden trends	De Mesel I, Craeymeersch J, P. de Vries, T. Schellekens, J. T. van der Wal, E. Brummelhuis (2012) IMARES Wageningen UR Rapport C119/12 met bijlagen
Kwalitatieve bemonstering in het zandwingsgebied Zeeland in 2009 op de aanwezigheid van schelpdierbanken	Controle op afwezigheid schelpdierbanken	Veld bemonstering	Geen schelpdierbanken gevonden	Afweging of extra meetinspanning wel wenselijk is	Goudswaard, P. C., K.J. Perdon (2009a) IMARES Wageningen UR Rapport C031/09
Kwalitatieve bemonstering in de zandwinlocatie Hollandse Kust in 2009 Q13K en Q2D op de aanwezigheid van schelpdier	Controle op afwezigheid schelpdierbanken	Veld bemonstering	Geen schelpdierbanken gevonden	Afweging of extra meetinspanning wel wenselijk is	Goudswaard K., Perdon J. (2009b) IMARES Wageningen UR Rapport C053/09

voorkomens.					
-------------	--	--	--	--	--

## 8 Quick-scan methodes voor schelpdierbanken

### 8.1 Motivatie onderzoek

Schelpdierbanken zijn van belang als stapelvoedsel en sturen de plaatsgebondenheid van zwarte zee-eenden en eiders. Daarnaast dient een zandwinning op minstens 100 m van een schelpdierbank te gebeuren (Ministerie V&W, 2010). De ruimtelijke verspreiding is ieder jaar weer anders alhoewel er waarschijnlijk wel gebieden zijn met verhoogde trefkans (zoals bijvoorbeeld bij Ameland). De ruimtelijke en temporele verspreiding van schelpenbanken worden ieder jaar gemonitord door MWTL (Ministerie I&M) en het jaarlijks WOT programma (Ministerie EZ, voorheen EL&I). De Commissie MER heeft in haar toetsingsadvies geadviseerd om kort voordat in de beoogde winkavels de zandwinning van start gaat, door middel van bodembemonsteringen dan wel door een andere eenvoudig toe te passen meettechniek zeker te stellen dat zich daar geen banken van levende, waaronder ingegraven, schelpdieren bevinden. Eenvoudig toe te passen meettechnieken, waardoor geen extra onderzoek van gekozen winkavels nodig zou zijn, worden momenteel nog niet gebruikt voor deze doeleinden (voorspellen van schelpenbanken). Een andere benadering zou kunnen bestaan uit de ontwikkeling van een methodiek om de kans op de aanwezigheid van schelpenbanken te voorspellen. Daartoe zijn binnen dit MEP drie nieuwe quick-scan methodes onderzocht op hun bruikbaarheid. Daarnaast is ook de bestaande bodemschaafmethode van de WOT schelpdiersurvey geëvalueerd. Aanvullend is gebruik gemaakt van een recent rapport waarin de Multibeam-techniek wordt geëvalueerd (Troost e.a., 2013). De onderzochte technieken zijn:

- 1) Medusa.
- 2) Side scan sonar.
- 3) Videocamera.
- 4) Bodemschaaf.
- 5) Multibeam.

### 8.2 Korte samenvatting en conclusies

In de volgende subsecties worden kort de resultaten en conclusies besproken. In Bijlage A worden evaluerende tabellen gegeven met meer detail over de gebruikte techniek. De hoop is een techniek te vinden die met een beperkte inspanning voldoende zekerheid genereert om de aanwezigheid van schelpdierbanken te beoordelen. De verschillende technieken worden middels een criteriatabel (ingevuld door de uitvoerenden) en begeleidersindrukken geëvalueerd.

#### 8.2.1 Medusa

Dit apparaat gebruikt een radiometrisch signaal om slib en korrelgroottes te meten. Daarnaast wordt ook een akoestisch signaal gemeten. Dit akoestische signaal kan gebruikt worden om bv debris, dode schelpen en levende schelpdieren te meten. Aangezien de Medusa werd ingezet om een slibsignaal te meten werd besloten het gelijktijdig ingewonnen akoestische signaal te analyseren op bruikbaarheid voor schelpdierbankdetectie. Bij toepassing bleek het akoestisch signaal niet specifiek genoeg. Er was dermate veel onzekerheid over het signaal dat additionele boxcores nodig zijn om te bepalen wat het geluidssignaal vertegenwoordigt (schelpengruis of schelpdieren, Koopmans e.a. 2012). Hiermee vraagt deze techniek een zwaardere expeditie waarbij bijv. een boxcorer of van Veen happer wordt meegenomen om het signaal te verifiëren.

#### 8.2.2 Side scan sonar

Ten bate van het onderzoek voor zwarte zee-eenden werden gebieden op benthos gekarakteriseerd met een van Veen happer (Leopold e.a., 2010). Aanvullend werden deze gebieden gescand met de side scan sonar. Met de resolutie van dat moment was de side scan sonar niet in staat om concentraties van *Ensis* (>160 kleine individuen/m<sup>2</sup>) of *Echinocardium cordatum* (>20 individuen/m<sup>2</sup>) te onderscheiden (Paap, 2011). Er zijn meer metingen nodig om het grootschalige beeld ("landschap") te koppelen aan een bepaalde benthosgemeenschap. Een databank kan dan eventueel ter kalibratie en validatie dienen om deze techniek te gaan gebruiken als maat voor schelpdierbanken of gemeenschappen. Gezien het geringe reliëf van macrobenthos, en de moeilijk te interpreteren plaatjes is het echter de vraag of deze

techniek (die het bodemprofiel meet; morfologie) ook na meer investeringen de gewenste nauwkeurigheid heeft om technieken waarbij je direct een beeld krijgt van het benthos (schaaf, camera, boxcorer, van Veen happer) te vervangen.

### 8.2.3 Camera

Onder water 'kijken' in plaats van bemonsteren kan een geschikte methode zijn om kennis te verzamelen over het leven op en in de zeebodem op een grotere ruimtelijke schaal. Kenmerk van deze methode is dat bij een opname de vergaarde kennis minder gedetailleerd is dan bij bemonsteren met een bekende techniek als de boxcorer. Een belangrijk voordeel van 'kijken' is echter, dat er informatie wordt verzameld van een veel groter oppervlak zeebodem dan bij bemonsteringen. Dit kan, bijvoorbeeld bij het in kaart brengen van de precieze ligging en de contouren van schelpdierbanken, van grote waarde zijn. Een algemeen gebruikte techniek voor onderzoek en inventarisaties onder water is het inzetten van videocamera's; gesleept dan wel handbediend (duikers).

De methode is getest in gebieden met weinig benthos (Zeeuwse Banken, buitendelta Ameland) en met veel benthos (Voordelta en Ameland) (Lengkeek e.a., 2010 en Didden e.a., 2011). De methode blijkt flexibel en snel, zeker als er kleine sloepachtige schepen gebruikt worden. De videobeelden zijn overtuigend bij epifauna en als er hoge dichtheden zijn aan *Ensis* die een karakteristiek plaatje geven met hun sifons in de zeebodem. Andere infauna is lastiger te onderscheiden. Hiervoor is extra confirmatie nodig met de klassieke methodes (schaaf, boxcorer, van Veenhapper), waarmee het voordeel vervalft van de lichte, goedkope schepen.

Daarnaast is de methode gevoelig voor doorzicht. Het dient enige dagen stil weer met weinig zeegang te zijn voordat een camera optimaal inzetbaar is.

### 8.2.4 Schaaf

De schaaf is ingezet bij extra metingen die zijn uitgevoerd in zandwingebieden (Goudswaard & Perdon, 2009a,b). Hier is aangesloten bij de lopende Wettelijke Onderzoekstaken (WOT) schelpdiersurvey van EL&I (EZ). In deze schelpdiersurvey wordt gebruik gemaakt van een schaaf van 10 cm breed die over 100-150 m getrokken wordt (10-15 m<sup>2</sup>). Dit betreft een bewezen techniek die zeer geschikt is voor bemonsteren van schelpdieren (De Mesel e.a. 2012). De methode voldoet en geeft zekerheid voor wat betreft de schelpdieren ter plekke. Het is in vergelijking tot de camera wel omslachtiger om grotere oppervlaktes te bemonsteren en minder weergevoelig. Zodra de golven voldoende laag, zijn kan men trekken doen. Daarnaast bestaat er een langjarige dataset wat het makkelijker maakt de ingewonnen resultaten van betekenis en context te voorzien. In de Mesel e.a. (2012) blijkt de methode geschikt om trends in schelpdieren te signaleren.

### 8.2.5 Multibeam

De Multibeam is ingezet in een tweetal onderzoeken door derden (Houziaux e.a. 2011, Troost e.a., 2013). Het eerste onderzoek was vooral verkennend. In Troost e.a. (2013) is zeer uitgebreid getest door veel punten met meerdere technieken tegelijkertijd te bemonsteren. Een akoestisch signaal van *Ensis* sp. kon gedetecteerd worden, maar vanwege een hoge mate van variatie is de voorspellende kracht van de correlatie laag en daarom nog niet algemeen toepasbaar. Dit kan verbeterd worden middels meer geavanceerde methoden voor pre- en post-processing van de Multibeamdata. Voordat Multibeam-technologie meer generiek kan worden toegepast moeten er nog een aantal stappen genomen worden.

### 8.2.6 Concluderend voor de quick-scan methodes

Van de vijf besproken methodes zijn de camera- en schaafmethode technieken die direct voldoende functioneren om schelpdierbanken te detecteren. Multibeam-techniek lijkt veel belovend. Het combineert de mogelijkheid van grotere oppervlaktes zoals de camera en is tegelijkertijd meer inzetbaar. Er is nog wel ontwikkeling nodig. Medusa en side scan sonar lijken vooralsnog geen geschikte methodes voor de detectie van schelpdierbanken.

Beide geschikte methodes hebben hun voor- en nadelen. Met de cameramethode kan men makkelijk en snel grotere gebieden scannen. De cameramethode is echter wel weersgevoelig. Daarnaast is het minder geschikt als de benthosgemeenschappen dieper ingegraven zijn, aangezien deze dan moeilijker te detecteren zijn. Ook verder op zee (NCP) zal deze methode minder makkelijk werken. Bij expedities verder uit de kust worden vaak grotere schepen ingezet. Deze hebben meestal een vastgestelde agenda. Een dag van slecht weer met slecht zicht betekent meteen een uitvaldag die waarschijnlijk niet meer ingehaald kan worden.

De schaafmethode is een bekende methode die meer zekerheid biedt in de uitvoerbaarheid (minder weersafhankelijk) en per monsterpunt grote oppervlaktes kan bemonsteren. Het is echter minder mobiel dan de cameramethode. Gezien de langjarige reeksen en het feit dat de methode ook gebruikt kan worden voor trendanalyse, verdient deze methode de voorkeur. De Multibeam-methode vraagt nog veel aanvullend onderzoek. De cameramethode is een goede achtervang voor (ecologische) vraagstellingen en expedities die gericht zijn specifiek op de verdeling en ecologie van schelpdierbanken.

### **8.3 Beantwoording Evaluatievragen**

#### *8.3.1 Waren de (belangrijkste) effectvoorspellingen juist?*

In het MER is het uitgangspunt dat voorbij de -20 m NAP, in de zandwingebieden, weinig tot geen schelpdierbanken te vinden zijn. Commissie MER had verzocht om extra metingen te verrichten. Met het huidige MEP 2008-2012 zijn voorbereidende stappen gezet om deze extra metingen te verrichten met quick-scan methodes (met de argumenten sneller, goedkoper, hogere ruimtelijke dekking). Een vijftal meetmethodes is geëvalueerd: schaaft en camera blijken voldoende te functioneren, Multibeam vraagt nog om verdere uitwerking.

#### *8.3.2 Welke extra kennis is gegenereerd i.v.m. de gesignaleerde leemten in kennis?*

Quick-scan methodes voor benthos surveys zijn momenteel in ontwikkeling. Het MEP RWS LaMER 2008-2012 heeft extra, bruikbare informatie toegevoegd aan deze discussie hoe men sneller, goedkoper, met hogere ruimtelijke dekking en bij voorkeur met behoud van selectiviteit kan meten.

#### *8.3.3 Welke extra kennis is gegenereerd i.v.m. de aangescherpte eisen uit natuurbescherming?*

Schelpdierbanken zijn stapelvoedsel voor doelsoorten als Zwarte zee-eenden. De gegenereerde kennis draagt bij aan het makkelijker en goedkoper kunnen detecteren van presentie en dichtheid van schelpdiersoorten (en ook schelpdierbanken) Hiermee kan ook gericht de ecologie van schelpdierbanken onderzocht worden. M.a.w. er is voorbereidende kennis gegenereerd.

#### *8.3.4 Welke inzicht in effecten zijn verkregen die kunnen leiden tot het bijstellen van uitvoeringseisen en eventuele kostenbesparing?*

De uitvoeringseis was het verkrijgen van extra zekerheid over de aan- dan wel afwezigheid van schelpdierbanken. Eigenlijk is dat onderzoek nog in volle gang. Voor zowel de statistische analyses aangaande schelpdierbanken (hoofdstuk 7) alsook de quick-scan methodes zijn voorbereidende stappen gezet.

#### 8.4 Rapportages van het verrichte onderzoek

Tabel 8 Verzameltabel met de verrichte onderzoeken naar quick-scan methodes.					
onderzoek	doel	methode	resultaat	Nog kennisleemtes?	Referentie
Kwalitatieve bemonstering in het zandwingsgebied Zeeland in 2009 S7W, SW) en S7X op de aanwezigheid van schelpdierbanken.	Controle zandwingsgebied op aanwezigheid schelpdierbanken	Bodemschaaf	Geen schelpdierbanken	Eventueel verder afweging tegen Multibeam of camera	Goudswaard, P. C., K.J. Perdon (2009) WUR IMARES Wageningen UR Rapport C031/09.
Een kwalitatieve en kwantitatieve bemonstering van de Zeeuwse Banken in 2009 op de macrofauna gemeenschappen.	Controle zandwingsgebied op aanwezigheid schelpdierbanken	Bodemschaaf	Geen schelpdierbanken	Eventueel verder afweging tegen Multibeam of camera	Goudswaard P.C., V. Escaravage (2010) IMARES Wageningen UR Rapport C120/09.
Monitoring van het slibgehalte in de toplaag van de zeebodem, september 2009 – maart 2010.	Test methode op bruikbaarheid aantonen op aanwezigheid schelpdierbanken	Medusa: akoestisch	Niet specifiek genoeg	Gestopt	de Vries S., M. Huizinga, R.L. Koomans (2011) Medusa rapport 2009-P-260-Evaluatie v3.
Benthos kartering met behulp van side scan sonar voor de kust van Noordwijk.	Test methode op bruikbaarheid aantonen op aanwezigheid schelpdierbanken	side scan sonar	Te lage resolutie	Gestopt	Paap B. (2011) Deltares rapport 1203108-000.
Onderwater videobeelden van de Voordelta en de Zeeuwse banken.	Test methode op bruikbaarheid aantonen op aanwezigheid schelpdierbanken	videocamera	Potentieel bruikbaar; wel kwetsbaar voor weer en zichtdiepte	Nogmaals confirmeren	Lengkeek, W., Bouma S., van den Boogaard B. (2010) BuWa rapport 10-036.
Onderwater videobeelden van de zeebodem ten noorden van Ameland. Een test van een videoteknik als quick-scan methode om benthos te inventariseren.	Test methode op bruikbaarheid aantonen op aanwezigheid schelpdierbanken	videocamera	Potentieel bruikbaar; wel kwetsbaar voor weer en zichtdiepte	Eventueel verder afweging tegen Multibeam of camera	Didderen K., S. Bouma, W. Lengkeek (2011) BuWa rapport 11-140.

## 9 Verstoring van gewone en grijze zeehonden

### 9.1 Motivatie onderzoek bovenwaterverstoring

Zeehonden kunnen gevoelig zijn voor (onderwater- & bovenwater-)geluid dan wel visuele verstoringen veroorzaakt door het winnen en transporteren van zand. Met name die dieren die (tijdelijk) gebonden zijn aan een bepaalde locatie, bijvoorbeeld voor rust, zogen of foerageren kunnen extra gevoelig zijn voor terugkerende verstoringen. De wettelijk vastgestelde afstand tussen zeehonden en de baggerschepen varieert van 1200 tot 1500m afhankelijk van gebied en kader (Ministerie V&W, 2010). Deze afstanden komen voort uit een algemeen verstoringsonderzoek uitgevoerd door Brasseur & Reijnders (1994, zie ook Brasseur & Fedak, 2003). Op basis van Brasseur & Reijnders (1994) is gekozen voor de worstcase benadering, waarbij een afstand gekozen is waarmee verstoring uit te sluiten is (1200-1500m is geldig voor speedboten).

De transportroute van het zandwingsgebied naar de suppletielocatie wordt mede bepaald door de diepgang van de sleepopperzuiger in combinatie met de aanwezige geulen en voldoende diepte in de ondiepe kustzone. Zowel voor de suppletielocatie Texel zuid, alsmede ten westen van de kop van Schouwen loopt de enige mogelijke transportroute dicht langs een droogvallende zandplaat waar zeehonden op rusten. Hierbij is het onmogelijk gebleken om de vastgestelde afstand van 1200m te allen tijden aan te houden.

Mede naar aanleiding hiervan is besloten onderzoek te doen naar de daadwerkelijke verstoring van zeehonden door langsvarende sleepopperzuigers. In 2009 is het verstoringsonderzoek uitgevoerd op de Razende Bol. Omdat deze resultaten niet 1:1 door te vertalen zijn naar andere locaties, zoals kop van Schouwen (mate van verstoring wordt beïnvloed door verschillende factoren) is besloten het onderzoek daar te herhalen. Tijdens deze onderzoeken zijn naast de reactie van zeehonden op sleepopperzuigers ook alle andere verstoringbronnen zoals voetgangers, andere type schepen, helikopters etc. meegenomen.

### 9.2 Korte samenvatting en conclusies Bovenwaterverstoring

#### 9.2.1 *Rechtvaardiging aanpak*

Kennis over verstoring van zeehonden op zee wordt door Rijkswaterstaat verzameld via vier onderzoekssporen:

- 1) Onderzoek naar de ecologische betekenis van verstoring: relaties tussen activiteiten en populatiegroei op platen en verklaringsmodellen voor de verspreiding van zeehonden in relatie tot (a)biotiek en activiteiten (zenderonderzoek, Rijkswaterstaat Waterdienst, verschillende MERren windmolenparken).
- 2) Algemeen onderzoek naar verstoring van zeehonden door diverse bronnen waaronder met name werkzaamheden van Rijkswaterstaat op en nabij platen en recreatie (Rijkswaterstaat Directie Zeeland, Rijkswaterstaat Waterdienst).
- 3) Specifiek onderzoek naar verstoring van zeehonden door baggerschepen (voor vergunningaanvragen in het kader van de Nb-Wet en de Flora & Faunawet).
- 4) Onderzoek naar de verstoringcontouren van zeehonden door onderwatergeluid.

De punten 2 en 3 zijn belangrijk omdat een onvrijwillig te water gaan door verstoring kan leiden tot aanzienlijk warmteverlies bij oudere dieren wat veel moeite kan kosten om weer op te vangen (Erdsack e.a., 2012). Daarnaast is er ook een behoefte voor volwassenen om een bepaalde mate van zonlicht te ontvangen gedurende de rui periode (Brasseur e.a., 1996, Brasseur & Fedak, 2004). Verstoring van jongen van gewone zeehonden kan leiden tot een tekort aan foerageertijd en vervolgens sterfte (zie bv Reijnders, 1981, Brasseur & Fedak, 2004). Dit effect is echter minder relevant, omdat er momenteel een uitvoeringsverbod is (-maatregel) om gedurende de werp- en zoogperiode van gewone en grijze zeehonden langs platen, daar waar pups aanwezig zijn, te varen en te suppleren.



### 9.2.2 Resultaten

In 2009 en 2011 zijn diverse studies uitgevoerd om te onderzoeken hoe zeehonden reageren op sleephopperzuigers en op andere menselijke activiteiten:

- 1) Onderzoek naar reacties van zeehonden op de Razende Bol op langsvarende baggerschepen en andere menselijke activiteiten (Bouma e.a., 2010, Figuur 21).
- 2) Onderzoek naar het gedrag van zeehonden op de Verklikkerplaat en de Middelplaat (Voordelta) in het voorjaar (referentiegedrag; geen baggerschepen aanwezig) (Bouma e.a., 2011) en het najaar (Didderen e.a., 2012) (Figuur 22).
- 3) Onderzoek naar reacties van zeehonden op de Hooge Platen (Westerschelde) op commerciële zandwinschepen (Bouma e.a., 2011; Didderen e.a., 2012) (Figuur 22).
- 4) Onderzoek (interviews met medewerkers van baggerschepen) naar aanwezigheid en gedrag van zeehonden bij een aanleg projectgebied waar sleephopperzuigers werden ingezet om zand aan te voeren (Bouma & van den Boogaard, 2011).

De aanwezige zeehonden zijn relatief weinig verstoring gevoelig voor sleephopperzuigers in vergelijking met andere menselijke activiteiten die in de directe nabijheid plaatsvinden. Op de verschillende zandplaten waar de onderzoeken zijn uitgevoerd (Razende Bol, Verklikkerplaat, Hooge platen) waren tot op 700 meter weinig verstoringen in gedrag waar te nemen. Alleen bij de Middelplaat kwamen de hopperzuigers dichterbij (300-500 m), wat aanleiding gaf tot meer onrust (vooral kop-op). Daarnaast was het gedrag 'te water gaan' op de middelplaat verhoogd (in plaats van 0.7% in referentie situatie, ging  $\pm 1.5-2\%$  van de zeehonden in het water (2-4 dieren) mogelijk veroorzaakt door de aanwezigheid van een sleephopperzuiger.

Er zijn (kleine) verschillen in gedrag te zien tussen de verschillende onderzochte locaties. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door de tijd van het jaar en de vorm/licging van de plaat. Structurele aanwezigheid van menselijke activiteiten lijkt ook een rol te spelen, wat zich uitmondde dat er gewinning kan optreden (Hooge Platen) dan wel juist een verhoogde alertheid (Verklikkerplaat).



Figuur 21 Het onderzoeksgebied Razende Bol. Zie rechtsonder Den Helder, rechtsboven Texel en links de Razende Bol. De witte lijnen geven de routes van de sleephopperzuigers, de groen en rood gekleurde lijnen de momenten waarop de sleephopperzuigers zich gedurende de onderzoeksperiode binnen een afstand van 1200 meter van de zeehonden bevonden (scheepsloggen aangeleverd door Rijkswaterstaat, Bouma e.a., 2010).



Figuur 22 Ligging van de Verklikkerplaat, de Middelplaat en de Hooge Platen (Bouma e.a., 2011).

### 9.3 Motivatie onderwatergeluid

Tijdens zandwinning, transport en de zandsuppletie produceren sleepopperzuigers geluiden die storend kunnen zijn voor zeehonden. Grote sleepopperzuigers hebben een diepte van meer dan vijf meter en een lengte van 100-150 meter. Deze sleepopperzuigers kunnen tijdens transport een Source Level (SL) produceren van 170 tot 190dB, re 1  $\mu$ Pa op 1 m en binnen een spectrum van frequenties tussen 20 en 100.000 Hz met een piek rond 30 tot 106 Hz. (Nedwell & Parvin, 2006; Kent & McCauley, 2006, Ainslie e.a., 2009, Nedwell e.a., 2010). Zo'n geluidsbron kan verstoring zijn voor de gewone en grijze zeehond.

Er bestaan nog veel kennisleemtes op het gebied van verstoring van zeezoogdieren door onderwatergeluid geproduceerd door sleepopperzuigers. Het doel bij dit onderzoek was om vast te leggen welk door sleepopperzuigers geproduceerd onderwatergeluidsniveau vermijdingsgedrag veroorzaakt bij zeehonden. Het onderzoek was ingedeeld in drie fasen (verkennde studie naar de methodiek, voorbereiding en experimenteren). Alleen de eerste fase van het onderzoek is uitgevoerd binnen dit MEP.

#### 9.3.1 Korte samenvatting en conclusies onderwatergeluid

Het onderwatergeluid van sleepopperzuigers kent zijn piek bij lage frequenties. Dat maakt dat onderzoek naar de effecten op zeehonden niet in ieder bassin kan gebeuren. Als eerste zijn diverse methoden voor het onderzoek naar het effect van onderwatergeluid op vermijdingsgedrag van

zeehonden onderzocht (Nedwell e.a., 2010). De meest geschikte methode is het uitvoeren van een experiment in zeer ruime insluiting met diepe bodem waar boxen het onderwatergeluid van sleeppopperzuigers reproduceren. De zeehonden krijgen voldoende bewegingsruimte om vervolgens hun positie in de ruimte te kiezen ten opzichte van de geluidsbron (conform Kastelein e.a., 2006). Daarnaast is een geschikte plek voor het uitvoeren van het onderwatergeluidsonderzoek gevonden (Pinniped Research Center, Marine Science Center, University of Rostock). Na het vaststellen van de mogelijkheden voor het doen van onderzoek is ook geconstateerd dat het geluidsniveau van sleeppopperzuigers niet tot de top zeven van de belangrijkste geluidsbronnen behoort (Ainslie e.a., 2009). Het lijkt wel erg op het geluid van varende schepen (Heinis e.a., 2013). De bovenste zeven zijn door de werkgroep onderwatergeluid IDON geprioriteerd om de onderzoeksfondsen op te focussen. Aangezien het onderwatergeluid van sleeppopperzuigers niet tot die prioriteitenlijst behoort en het onderzoek zeer kostbaar is (o.a. omdat een gehele faciliteit dient te worden aangepast), is aan bevoegd gezag voorgelegd of dit onderzoek tijdelijk gestopt kan worden tot nadere evaluatie voor nut en noodzaak.

#### **9.4 Beantwoording Evaluatievragen bovenwaterverstoring**

##### *9.4.1 Waren de (belangrijkste) effectvoorspellingen juist?*

In het MER was het uitgangspunt dat zandwinning en zandsuppletieactiviteiten verstorend zijn voor de verspreidingspatronen van Gewone- en Grijze Zeehonden (Ellerbroek e.a., 2008). Uitgangspunt was hierbij de huidige verstoringscontour van 1200-1500m (Ministerie V&W, 2010). De in het MEP uitgevoerde observatieonderzoeken laten zien dat deze afstand een (extreme) worstcase benadering is geweest. Zeehonden op platen werden niet of nauwelijks verstoord door langsvarende sleeppopperzuigers op een afstand van >700m. Pas op 300-500 m worden reacties waargenomen op sommige locaties, van kop op tot in enkele gevallen te water gaan. Dit maakt duidelijk dat zeehonden bij het aanhouden van de verstoringsafstanden en ook afstanden tot 700 m nabij, niet geforceerd te water gaan waarbij ze het risico lopen om zeer veel warmte verliezen doordat hun huid bezig is met ventileren (Erdsack e.a., 2012).

##### *9.4.2 Welke extra kennis is gegenereerd i.v.m. de gesignaleerde leemten in kennis?*

Het is duidelijk geworden dat de mate van verstoring van op land rustende zeehonden door menselijke activiteiten (inclusief langsvarende sleeppopperzuigers) afhankelijk is van vele factoren. Periode in het jaar, ligging van een geul en aanwezigheid van structurele menselijke activiteiten zijn allemaal factoren die een belangrijke rol spelen. Zeehonden blijken weinig verstoringsgevoelig voor sleeppopperzuigers. Daarnaast is het duidelijk geworden dat andere menselijke activiteiten (bv. recreatievaart, helikopters, wandelaars en fietsers) in de directe omgeving van de zandplaten meer verstorend kunnen zijn voor de zeehonden dan sleeppopperzuigers.

##### *9.4.3 Welke extra kennis is gegenereerd i.v.m. de aangescherpte eisen uit natuurbescherming?*

De wettelijk vastgestelde verstoringsafstand voor sleeppopperzuigers t.a.v. zeehonden varieert van 1200 tot 1500m (Ellerbroek e.a., 2008, Ministerie V&W, 2010). De diverse observatieonderzoeken laten zien dat de wettelijk vastgestelde afstanden een (extreme) worst case benadering is en niet in verhouding staat met de gemeten verstoringsafstanden bij de Razende Bol en Schouwen. Voor de onderzochte locaties zou eventueel een minder grote afstand voor varende baggerschepen tot de zandplaten kunnen voldoen. Nb, mogelijke effecten op populaties zijn niet onderzocht.

##### *9.4.4 Welke inzicht in effecten zijn verkregen die kunnen leiden tot het bijstellen van uitvoeringseisen en eventuele kostenbesparing?*

De observatieonderzoeken laten zien dat de gemeten verstoringsafstanden en de wettelijk vastgestelde verstoringsafstanden tussen de zeehonden en de sleeppopperzuigers een ruime marge hebben. Daar waar afstand tot rustende zeehonden een probleem veroorzaakt (omdat er bv. geen alternatieve route is) zijn de observatieonderzoeken uitgevoerd. Op locaties waar omgevaren moet worden door de wettelijke afstand van 1200m-1500m, zou een kortere afstand aangehouden kunnen worden (700m).

Bijstelling van de verstoringafstand vraagt om een afwegingsproces waarbij ook de effecten op populaties nader worden onderzocht en worden meegenomen. Het probleem van verplichte vaarroutes vanwege geulen en platen speelt echter op niet veel locaties.

## 9.5 Evaluatie onderwatergeluid

Diverse methoden voor onderzoek naar het effect van onderwatergeluid op vermijdingsgedrag van zeehonden zijn beschreven. Daarnaast is een geschikte plek voor het uitvoeren van onderwatergeluidsonderzoek gevonden (Pinniped Research Center, University of Rostock). In de Nederlandse omstandigheden behoort het geluidsniveau van sleephopperzuigers niet tot de top zeven van de belangrijkste geluidsbronnen. Daarom is dit onderzoek voor nadere evaluatie gefaseerd. Voor het volgende MEP zal een nadere evaluatie dienen te gebeuren of dit onderzoek gewenst is.

## 9.6 Rapportages van het verrichte onderzoek.

Tabel 9 Verzameltabel met de verrichte onderzoeken naar de verstoring van zeehonden					
onderzoek	doel	methode	resultaat	Nog kennisleemtes ?	Referentie
Zeehonden en baggerschepen op een aanlegproject. Ervaringen van betrokken medewerkers.	Onderzoek (interviews) naar aanwezigheid en gedrag van zeehonden in de nabijheid van sleephopperzuigers.	Bureau-studie en interview met werknemers op aanlegplaat.	Baggerschepen kwamen dichterbij de zeehonden dan 689 meter. Tijdens het rainbowen lagen nog steeds zeehonden op de zandplaten.	De vraag lijkt voldoende beantwoord voor direct verstoring. De effecten op populaties dienen nog wel bekeken te worden als een aanpassing van de verstoringafstand wordt overwogen.	Bouma, S.; B. van den Boogaard (2011) Report 109-208, Bureau Waardenburg.
Reageren zeehonden op de Razende Bol op langsvarende baggerschepen en andere menselijke activiteiten.	Onderzoek naar mogelijke reacties van zeehonden op verstoring.	Veldwaarnemingen van aanwezigheid van zeehonden en hun gedrag met en zonder baggerschepen.	Geen van de passages van de langsvarende schepen kunnen toegeschreven worden aan de gedragsveranderingen van zeehonden.	De vraag lijkt voldoende beantwoord voor direct verstoring. De effecten op populaties dienen nog wel bekeken te worden als een aanpassing van de verstoringafstand wordt overwogen.	Bouma, S., W. Lengkeek, B. van den Boogaard & H.W. Waardenburg, 2009.. (Rapport 09-219, Bureau Waardenburg.
Aanwezigheid en gedrag van zeehonden op de Verklipperplaat, de Middelpaat en de	Onderzoek naar reacties van zeehonden op de Hooge Platen (Westerschelde) op	Veldwaarnemingen van aanwezigheid van zeehonden en hun gedrag.	Een groot verschil in de aanwezigheid van Zeehonden op de drie platen.	De vraag lijkt voldoende beantwoord voor direct verstoring. De effecten op	Bouma, S., W. Lengkeek & B. van den Boogaard, 2011 Rapport

Hoog Platen.	commerciële zandwinschepen.			populaties dienen nog wel bekeken te worden als een aanpassing van de verstoringafstand wordt overwogen.	11-082, Bureau Waardenburg.
Reacties van zeehonden op suppletie werkzaamheden - van passerende baggerschepen bij de Middelpaat en hoog platten.	Onderzoek naar reacties van zeehonden op de Hooge Platen (Westerschelde) op commerciële zandwinschepen.	Veldwaarnemingen van aanwezigheid van zeehonden en hun gedrag tijdens passages van baggerschepen.	-Bij de Hooge Platen (Westerschelde) kunnen zeehonden te water gaan als reactie op het geluid van ankerkettingen van commerciële zandwinschepen. - Bij Middelpaat (Voordelta) zeehonden een verhoogd 'kop op' gedrag vertoonden bij het passeren van schepen van RWS.	De vraag lijkt voldoende beantwoord voor direct verstoring. De effecten op populaties dienen nog wel bekeken te worden als een aanpassing van de verstoringafstand wordt overwogen.	Didderen, K., S. Bouma & W. Lengkeek, 2012 Bureau Waardenburg, .
Advies zeehonden rustgebied Verklikkerplaat.	T0 onderzoek naar het gedrag van zeehonden op de Verklikkerplaat en de Middelpaat (Voordelta).	Onderzocht of het gedrag in rust, als gevolg van seizoensvariatie, in het najaar afwijkt van de voorjaar.	Het gedrag in rust (referentiegedrag) is zowel op de Hooge Platen als de Middelpaat vergelijkbaar tussen voor- en najaar.	Voor nieuwe situaties en vragen kan het weer nodig zijn het normale gedrag in beeld te brengen.	Lengkeek W., van den Boogaard B., Jaaping M. & Bouma S. Januari 2010. Rapport 10-250, Bureau Waardenburg.
Controlled exposure tests to establish the effects of noise produced by Trailing Suction Hopper Dredgers on common seals.	Verkennde studie naar een experiment omtrent effecten van sleephopper geluid op zeehonden.	Bureaustudie van geluids-literatuur en een playback experiment van sleephoppergeluid.	Zestal methoden voor het experiment zijn geëvalueerd op basis van kwaliteit en haalbaarheid.	Nadere evaluatie omtrent nut noodzaak van dit onderzoek.	Nedwell, J.R., A G Brooker, S A H Bryant, P J Gardner, J Lovell (2010) Report No. E234R0208, Subacoustech, UK.

## 10 Verstoring van zwarte zee-eenden

### 10.1 Motivatie onderzoek

Er zijn gemiddeld minder zwarte zee-eenden in de Noordzeekustzone dan voor de N2000 doelen zijn vastgesteld. Het is onbekend wat de populatie aan zwarte zee-eenden stuurt zowel op de korte termijn (onder invloed van verstoring) als ook de lange termijn. De mogelijke hoofdoorzaken voor de lage aantallen zijn:

- 1) Ontbreken van goed voedsel (de verschuiving van *Spisula* naar *Ensis*).
- 2) Verstoring door schepen (sleeppopperzuigers en vissersschepen). Verstoring is dan ook weer in te delen in
  - a) Tijdelijke verstoring (en gepaard gaande tijdelijke verplaatsing):
    - i) zijn er alternatieve voedselbronnen?
    - b) Permanente verstoring met een vertrek van de lokale zwarte zee-eenden naar:
      - i) andere Nederlandse gebieden of
      - ii) buitenland?
- 3) Oorzaken vanuit andere locaties die ze gedurende hun migratiecyclus aandoen: bv goed of juist slecht voedselaanbod op andere plekken van hun migratie route, jacht, ernstig koude, etc.

Bij zandwinning voor kustsuppleties wordt het zand van de winlocatie (buiten de doorgetrokken -20m NAP dieptelijn) getransporteerd naar de kust. Hierbij bestaat in N2000-gebieden het risico dat door grote groepen zwarte zee-eenden gevaren wordt. Dit zal leiden tot verstoring. De mate en het belang van deze verstoring is echter nog onbekend.

### 10.2 Korte samenvatting en conclusies

In het MEP 2008-2012 is onderzoek gedaan naar de koppeling tussen de aanwezigheid van zwarte zee-eenden met de ondergrond en verstoring (Leopold e.a. 2010, De Mesel e.a., 2011, Leopold e.a. 2013, Figuur 23). Ook is gekeken met een onderwatercamera op locaties waar zwarte zee-eenden voor komen om de cameramethode te testen (Lengkeek e.a. 2011, Didderen e.a. 2012). In Leopold e.a. (2010) werd onderzocht wat de lokale benthosdichtheden waren op een plek waar kort daarvoor nog zwarte zee-eenden hadden verbleven. In De Mesel e.a. (2011) worden correlaties gemaakt van MWTL metingen aan zwarte zee-eenden en WOT gegevens aan schelpdieren. In Leopold e.a. (2013) worden waarnemingen aan aantallen en verspreiding van de zwarte zee-eenden gecorreleerd aan benthos-gegevens en verstoringen(scheepvaart) anderzijds. Uit deze onderzoeken is gebleken dat:

- De diepte waarop de schelpdieren voor komen, in combinatie met hun dichtheid, maar ook hun grootte maakt of een soort geschikt is voor zwarte zee-eenden als voedselbron. Ook de conditie (AFDW) kan een rol spelen (Leopold e.a. 2010, 2013, Kaiser e.a. 2006).
- *Spisula* en *Ensis* zijn geschikte prooien omdat ze, naast het geschikte formaat, hoge dichtheden kunnen halen en omdat ze ook vaak in relatief ondiep water (-5 tot -15 m) voor komen (Leopold e.a. 2010, De Mesel e.a. 2011). Eventueel is ook *Macoma* een potentiële prooi (Leopold e.a. 2013).
- Ondanks de systeemswitche van *Spisula* naar *Ensis*, zijn de zones in de Noordzeekustzone (op de schaal van eilanden) waar de grootste concentraties eenden verbleven, over de jaren heen min of meer gelijk gebleven, wat een indicatie kan zijn dat de zones met het meeste voedsel gelijk zijn gebleven.
- De gevonden zwarte zee-eenden hebben de afgelopen jaren vooral *Ensis* in hun maag, maar ook andere schelpdieren (Leopold e.a. 2010, De Mesel e.a. 2011).
- Naast dichtheid, grootte en diepte van de schelpdieren is ook de mate van rust in het gebied van belang. Rustige kustgebieden worden door zwarte zee-eenden verkozen boven gebieden met veel scheepvaart.
- Meer specifiek liggen de kerngebieden in de Noordzeekustzone bij Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog. Hierbij geldt dat Schiermonnikoog interessant kan zijn als referentiegebied aangezien hier geen suppleties zijn uitgevoerd.

- Op de zwarte zee-eendlocaties werden met de camera op alle plekken op één plek na, grote dichtheden *Ensis* aangetroffen. De plek met een lage *Ensis*-dichtheid was een buitendelta ten westen van Ameland. Misschien gebruikten de zwarte zee-eenden de lokale hydrologische omstandigheden (een neer) om niet weg te drijven. De camera blijkt goed te functioneren voor aantallen. Alleen zijn wel aanvullende bemonsteringen nodig om biomassa's te achterhalen.
- Met de gekozen onderzoeksopzet bleek een correlatie tussen verstoring en voor komen van zwarte zee-eenden noch vast te stellen noch uit te sluiten.

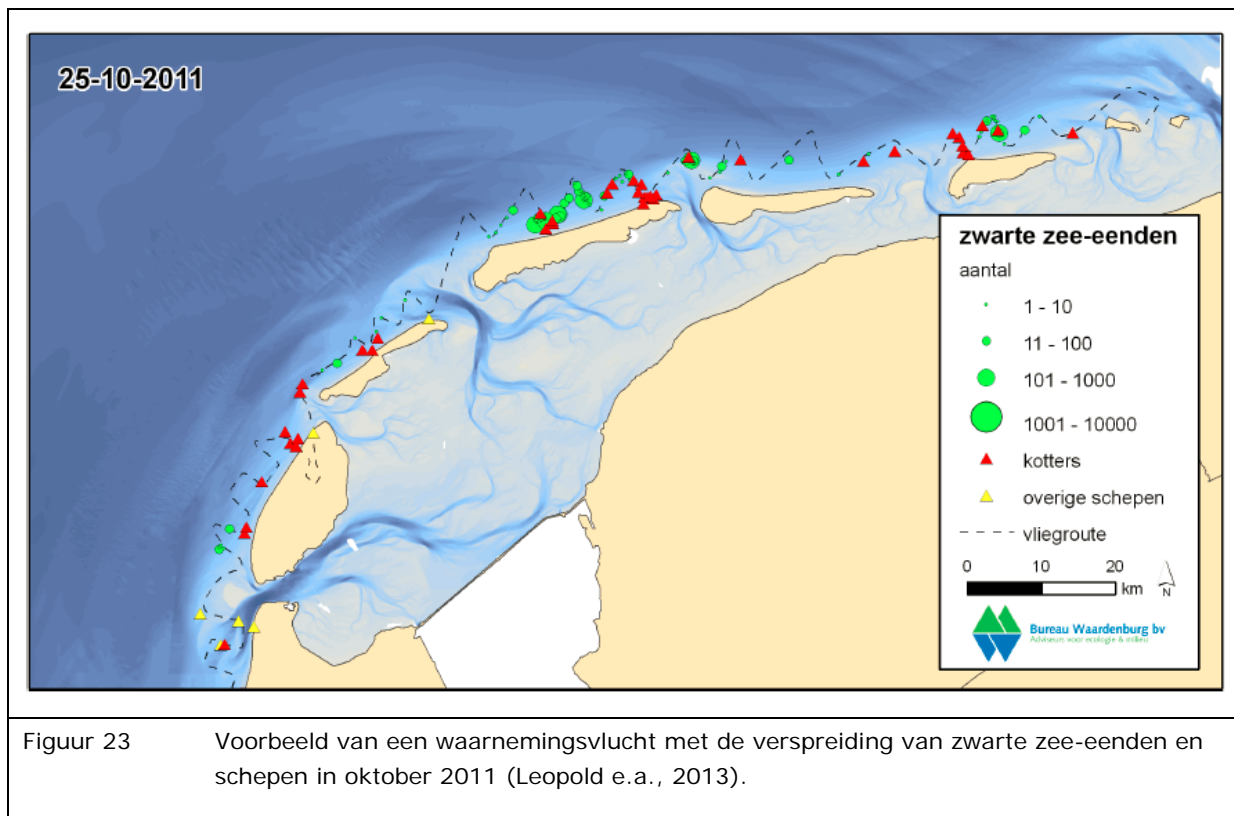
In de winter van 2011/2012 is een studie gedaan naar aantallen en verspreiding van de zwarte zee-eenden boven Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog. Vervolgens zijn eerste voorzichtige analyses gedaan om mogelijke relaties te leggen en aanbevelingen te doen voor vervolgonderzoek. Maandelijks zijn vliegtuigtellingen aangevuld met een enkele bootwaarnemingen (Leopold e.a. 2013). Éénmalig (begin maart) is ook het bodemleven bemonsterd om de voedselsituatie voor de eenden te onderzoeken. Maandelijks is ook verstoring vastgelegd, gelijktijdig met het verspreidingspatroon van de zwarte zee-eenden.

De winter 2011/2012 was een relatief goed jaar voor de zwarte zee-eenden in Nederland. Voor het eerst sinds 2004 werden meer dan 50.000 eenden geteld tijdens de reguliere MWTL midwintertelling. In oktober/november bevonden de zwarte zee-eenden zich hoofdzakelijk bij Terschelling. In de loop van november was er een verschuiving in aanwezigheid richting Schiermonnikoog. Schiermonnikoog, af en toe met uitlopers naar vooral oostelijk Ameland, bleef de rest van de winter de belangrijkste verblijfplaats van de zwarte zee-eenden. Voor midden Ameland zijn relatief weinig zwarte zee-eenden geteld. Er was hier ook minder geschikt voedsel beschikbaar, daarnaast was er tijdens een aantal tellingen ook een vloot kotters actief.

Met de gekozen onderzoeksopzet bleek een correlatie tussen verstoring en voor komen van zwarte zee-eenden noch vast te stellen noch uit te sluiten. De verdeling van zwarte zee-eenden blijkt gecorreleerd met zowel diepte (ruwweg een optimum tussen de -5 en -10 m, Leopold e.a., 2013) als met voedsel (toename zwarte zee-eenden met toename voedsel). Aangezien diepte en voedselbeschikbaarheid significant correleerden, is het moeilijk te bepalen welke factor hier bepalend is (beide dragen waarschijnlijk bij). Daarnaast blijkt dat er vier meer afgebakende locaties zijn waar de zwarte zee-eenden zich vooral concentreren.

De invloed van verstoring, bovenop de relatie met voedsel, kon niet goed worden vastgesteld. Over het hele studiegebied gezien leken de grootste concentraties zwarte zee-eenden meestal niet in de buurt van concentraties vissersschepen voor te komen, maar een dergelijk verband was statistisch niet aan te tonen. Om aantallen en verspreiding van zwarte zee-eenden te kunnen relateren aan mogelijke voedselbronnen en verstoring is aanvullend onderzoek nodig.

Concluderend, het lijkt er op dat zwarte zee-eenden zich concentreren op bepaalde foerageerlocaties. Aan de ene kant zou dit kunnen betekenen dat de zwarte zee-eenden alternatieve locaties hebben bij verstoring. Aan de andere kant zou het ook kunnen staan voor plaatsgebondenheid waarbij verstoring wel grote invloed kan hebben. Wat daarbij de invloed is van een herhaaldelijk passerende sleephopperzuiger op geassocieerde zwarte zee-eenden is nog onduidelijk. Vaste zones aanwijzen om te mijden is waarschijnlijk niet zinnig. Waarschijnlijk verschuiven deze foerageerlocaties van jaar tot jaar met de concentraties van het benthos mee (zie bv Goudswaard e.a. 2011, 2012).



### 10.3 Beantwoording Evaluatievragen verstoring

#### 10.3.1 Waren de (belangrijkste) effectvoorspellingen juist?

In het MER 2007-2012 en 2007-2017 (Van Duin e.a. 2007, 2008) werd aangeraden om voor de Noordzeekustzone specifieke oplossingen te zoeken hoe om te gaan met de aanwezigheid van zwarte zee-eenden. Er zijn nog geen directe metingen en observaties gedaan aan de aanwezigheid en het gedrag van zwarte zee-eenden tijdens de cyclus van zandwinning, transport en suppleties want er werd niet gesuppleerd tijdens de Leopold e.a. (2013) studie. Het lijkt er wel op dat op basis van voedselaanbod meerdere locaties geschikt zijn om te foerageren waar zwarte zee-eenden zich meer concentreren (Leopold e.a., 2013).. Echter wat daarbij de invloed is van een herhaaldelijk passerende sleeppopperzuiger op concentraties zwarte zee-eenden is nog onduidelijk. Waarschijnlijk verschuiven deze plaatsen van jaar tot jaar met de concentraties van het benthos mee

#### 10.3.2 Welke extra kennis is gegenereerd i.v.m. de gesignaleerde leemten in kennis?

Er is meer inzicht in de verdeling van zwarte zee-eenden in relatie tot het voedselaanbod. De mate waarin verstoring bepalend is voor de verdeling van zwarte zee-eenden is lastig te bepalen. Het lijkt er wel op dat op basis van voedselaanbod meerdere locaties geschikt zijn. Daarmee hebben zwarte zee-eenden mogelijke uitwijkmogelijkheden in geval van verstoring. Het is duidelijker geworden hoe zwarte zee-eenden zich gedragen nabij Ameland. Rond de Waddeneilanden zitten zwarte zee-eenden bij voorkeur tussen -5 en -15 meter (op redelijk afstand van de winning) in deelgebieden met een rijk voedselaanbod. Verder is het niet precies te duiden. Zwarte zee-eenden zitten verspreid in tijd steeds op andere locaties zonder dat daar patronen in zijn aan te wijzen. Voorspelbaarheid op micro-schaal is daardoor gering. Deze metingen bieden ook geen garantie voor de toekomst. Immers de biomassa van schelpdieren wordt ieder jaar weer opnieuw aangevuld door het onvoorspelbare proces van recruitment.

Verstoring door scheepvaart is onvoorspelbaar en de relevante concentraties schelpdieren wisselen in tijd en ruimte en daarmee ook de zwarte zee-eenden. Afhankelijk van de inschatting van het probleem per



project kunnen verschillende uitvoeringsmaatregelen worden toegepast. In het algemeen is het toepassen van de verstoringafstand van 500 m (Ministerie V&W, 2010) juridisch voldoende.

### 10.3.3 Welke extra kennis is gegenereerd i.v.m. de aangescherpte eisen uit natuurbescherming?

Het onderzoek heeft een eerste oriëntering opgeleverd met welke factoren het voor komen van zwarte zee-eenden correleert. Vervolgonderzoek is nog wel noodzakelijk. Het landelijk doel aan zwarte zee-eenden wordt niet gehaald en het blijft onduidelijk of dit nu wordt veroorzaakt door de matige geschiktheid van het voedselaanbod (*Ensis*, *Macoma*) dan wel door verstoring door kotters, baggerschepen, andere bronnen of andere factoren die buiten beeld zijn gebleven (bv ontwikkelingen in het broedgebied of alternatieve foerageerlocaties). Het blijft ook onduidelijk wat de respons is van zwarte zee-eenden op verstoring en herhaalde verstoring door kotters en door baggerschepen.

### 10.3.4 Welke inzicht in effecten zijn verkregen die kunnen leiden tot het bijstellen van uitvoeringseisen en eventuele kostenbesparing?

Over de jaren heen blijken de zwarte zee-eenden bij Terschelling en Ameland meer ondiep te zitten dan dieper m(rond de -20 m NAP). Dat maakt waarschijnlijk dat zandwinning geen verstoring oplevert. Eventuele verstoringen treden op tijdens transport en door suppleties. Het sluiten van de gehele aanwezigheidsperiode (november t/m april) lijkt een zware maatregel gezien het feit dat vele gebieden en zones vrij zijn van zwarte zee-eenden. Er bestaan uitvoeringsmaatregelen als het aanhouden van een 500 meter afstand tot concentraties aan vogels (Ministerie V&W, 2010). De geleverde kennis biedt geen houvast dat bij te stellen. Het is ook onwaarschijnlijk dat deze contour verminderd zal worden.

De VIBEG gebieden hebben ook een doelstelling voor zwarte zee-eenden, ze zijn niet specifiek ingesteld voor baggerschepen. De opgedane kennis uit dit MEP zal een bijdrage leveren aan het opzetten van onderzoek en vervolgens interpreteren en duiden van de ontwikkelingen in de VIBEG gebieden (aangaande voor visserij gesloten gebieden in de Noordzeekustzone ten bate van de kwaliteitsverbetering van benthos en foerageermogelijkheden voor zwarte zee-eenden, Team Heijkoop, 2011).

## 10.4 Rapportages van het verrichte onderzoek

Tabel 10 Verzameltabel met de verrichte onderzoeken aan zwarte zee-eenden					
onderzoek	doel	methode	resultaat	Nog kennisleemtes ?	Referentie
Zee-eendenvoedsel op een recente zandsuppletie bij Noordwijk.	Hoeveel en welk voedsel zit op een locatie waar Zwarte zee-eenden foerageren.	Survey met Van Veen happer.	Eerste idee welke dichtheden onvoldoende zijn voor zwarte zee-eenden.	Hoeveel en welk voedsel zit op een locatie waar zwarte zee-eenden foerageren.	Leopold, M.F., Verdaat H., Spierenburg P. & van Dijk J. (2010). IMARES Wageningen UR Rapport C021/10, 30 pp.
Onderwater videobeelden van de Voordelta en de Zeeuwse banken.	Testen camera methode als middel om schelpdierbanken te zien.	Camera.	Doet het goed.	Nogmaals testen op alle aspecten.	Lengkeek, W., Bouma S., van den Boogaard B. (2010) BuWa rapport nr. 10-036.
Kansenkaarten voor schelpdieren op basis van	Correlaties tussen MWTL metingen Zwarte	Grafisch.	Vaststellen dat aanvullende metingen nodig	Correlaties tussen zwarte zee-eenden en Benthos.	De Mesel, I., J. Craeymeersch, T. Schellekens, C.

abiotiek en hun relatie tot het voor komen van zwarte zee-eenden.	zee-eenden en Benthos gegevens WOT.		zijn.		van Zweeden, J. Wijsman, M. Leopold, E. Dijkman, K. Cronin (2011) IMARES Wageningen UR Rapport C042/11.
BIJLAGEN Kansenkaarten voor schelpdieren op basis van abiotiek en hun relatie tot het voor komen van zwarte zee-eenden.	Nvt bijlage.	Nvt bijlage.	Nvt bijlage.	Nvt bijlage.	De Mesel, I., J. Craeymeersch, T. Schellekens, C. van Zweeden, J. Wijsman, M. Leopold, E. Dijkman, K. Cronin (2011) IMARES Wageningen UR Rapport C042/11.
Onderwater videobeelden van de zeebodem ten noorden van Ameland. Een test van een videotechniek als quick-scan methode om benthos te inventariseren.	Testen camera methode als middel om schelpdierbanken te zien.	Camera methode.	Doet het goed maar is wel kwetsbaar in de uitvoering.	Weinig verdere kennis nodig.	Didderen K., S. Bouma, W. Lengkeek (2011) BuWa rapport nr. 11-140.
Zwarte zee-eenden in de Noordzeekustzone: verspreiding en aantallen in relatie tot voedsel en verstoring.	Hoeveel en welk voedsel zit op een locatie waar Zwarte zee-eenden foerageren en hoe verhoudt de distributie van zwarte zee-eenden zich tot verstoring.	Observaties met vliegtuig en bodemschaaf en statistisch analyses.	Meer zicht op de relatie Benthos zwarte zee-eenden.	Hoe verhoudt de distributie van zwarte zee-eenden zich tot verstoring  Optimalisatie van de meting: in een kort tijdsbestek, gepaard in het weekend en doordeweeks te meten om voor iedere gestoorde situatie (doordeweeks) een ongestoorde situatie (weekend) te hebben.	Leopold M.F., R. van Bemmelen, J.K. Perdon, M. Poot, C. Heunks, D. Beuker, R.J. Jonkvorst, J. de Jong (2013) IMARES Wageningen UR Rapport C023/13.

## 11 Eindevaluatie

Met dit evaluatiedocument van het MEP ligt er een samenvatting van twee coherente programma's die afgelopen jaren gedraaid hebben. De doelen van het MEP 2007 en MEP 2008-2012 waren om te toetsen of de effectschattingen correct waren, een aantal grote leemtes in kennis op te vullen en te toetsen of uitvoeringsmaatregelen terecht zijn. Op alle drie de punten zijn grote stappen voorwaarts gemaakt.

De monitoringsvragen en kennisleemtes vinden hun oorsprong in het MER zandwinning suppletiezand 2007 (Boon e.a., 2006a,b) en MER Zandwinning suppletie zand 2008-2012 van RWS en de MER Zandwinning ophoogzand 2008-2017 van LaMER, de wensen van de Commissie MER, de inspraakreacties en Bevoegd Gezag (Ellerbroek e.a., 2008). Het MEP heeft betrekking op de volgende onderwerpen:

- i) Slib en slibmodellering.
- ii) Impact van slib en algen op benthos en de modellering daarvan.
- iii) Impact van slib op een zichtjager (de stern).
- iv) Rekolonisatie Zeeuwse Banken.
- v) Schelpdierbanken.
- vi) Verstoring van:
  - (1) Zeehonden: boven water en onder water.
  - (2) Zwarte zee-eenden.

De respectievelijke hoofdstukken geven duidelijk de conclusies weer. Hier evalueren we of de beoogde doelen gehaald zijn.

### 11.1 Take-home message

De huidige praktijk van zandwinning van Rijkswaterstaat en LaMER levert op de hier onderzochte en besproken aspecten van slib, groei, zichtjagers, verstoring, geen noemenswaardige problemen op (op details na). Voor zwarte zee-eenden zijn de mogelijke effecten van zandwinning echter nog wel onduidelijk. Rekolonisatie is niet mogelijk geweest te onderzoeken tot het punt van volledige rekolonisatie van wege de doorlooptijd van het rekolonisatieproces maar lijkt ook volgens te verwachten processen te gaan.

Echter zodra men grotere hoeveelheden zand wil winnen dan wel nabij de Waddenzee dan wel op de schaal van het Deltaprogramma, kan dat voor de ingreep-effect – relatie van het slib : algen : groei van benthos implicaties hebben voor de benthische gemeenschappen van de Nederlandse Kustzone en de Waddenzee en daarmee voor de soorten die daarvan afhankelijk zijn zoals zwarte zee-eenden.

### 11.2 Slib en slibmodellering

Voor slib was het doel om meer inzicht te krijgen in het verspreidingsgedrag van slibpluimen afkomstig van een sleephopperzuiger teneinde de modelvoorspellingen van de veranderingen van slibconcentraties in zeebodem en waterkolom te verbeteren. Dit laatste is belangrijk omdat in het MER 2008-2012 conservatieve aannames gedaan moesten worden, die leidden tot modelvoorspellingen met hogere slibconcentraties dan in werkelijkheid zouden optreden. Bovendien is een verhoging in suppletiehoeveelheden en daarmee zandwinning voorzien nabij de Waddenzee (Van Duin e.a., 2012) met mogelijke uitstralende werking richting de Waddenzee. Voor een aantal doelen in de Waddenzee geldt nu een verbeteropgave in het kader van de Nb-Wet. Een overschatting van slibconcentraties en de daaraan gepaard gaande effecten kunnen daarmee de uitvoering onnodig beperken.

In de afgelopen jaren is in dit programma met een coherente aanpak van verschillende onderzoeken duidelijk geworden dat sinds de start van zandwinning en andere activiteiten de slibconcentraties in de Nederlandse Kustzone niet zijn toegenomen. Dit analyseresultaat logenstraft een vaak gehoorde uitspraak dat er meer slib is gekomen in de Nederlandse Kustzone.

Het slibpluimonderzoek leert ons dat de primaire pluim die vrijkomt bij het zandwinnen zelf (het near-field en mid-field effect) slechts zeer beperkt is. Een dergelijk pluim vertegenwoordigt slechts 5-15% van het vrijkomende slib. De rest is vooral een bodem gebonden pluim die zich later door het systeem verplaatst en zich gaandeweg verdunt.

Voor de bodem/water-uitwisseling van slib is nu duidelijk geworden in welke orde van grootte de waarde van de uitwisselingsnelheid ligt. Daartoe zijn twee nieuwe methodes ontwikkeld: voor bodemwateruitwisseling is de Medusatechniek verder ontwikkeld om op grotere ruimtelijke schaal de dynamiek van de slibgehalten in de bodem te kunnen volgen. Deze grotere ruimtelijke schaal komt overeen met de schaal waarin modellen met data omgaan en de schaal waarin ze hun output leveren. Daarnaast is een voorberekingsmethode ontwikkeld (voorafgaand aan de korrelgrootteanalyse met bijvoorbeeld een laser-diffractiemethode) om lage slibgehalten in bodemmonsters te kunnen bepalen.

De resultaten van het slibonderzoek hebben geleid tot een belangrijke verbetering van de modellen die gebruikt worden voor het voorspellen van korte en lange termijn effecten van zeezandwinning op de troebelheid van zeewater. Vooral de nauwkeurigheid van de lange termijnvoorspellingen is sterk verbeterd en de onzekerheid over de duur van het effect is teruggebracht met de helft. De meeste resultaten zijn ingezet in het MER 2013-2017.

De beoogde onderzoeksdoelen zijn merendeels gehaald.

### **11.3 Impact van slib en algen op Benthos**

Meer slib in de waterkolom betekent een grotere lichtextinctie en minder algen volgens de resultaten van Boon e.a. (2006a,b) en van Duin e.a. (2007). Voor de regio's nabij Doggerbank, Engelse kust en de Duitse bocht correleren variaties in voedselkwantiteit en -kwaliteit (algen, vers detritus vs oud detritus) met groei van individuen, soorten en gemeenschappen. Voor de Nederlandse kustzone waren deze relaties minder duidelijk. Hier lag een duidelijke kennisleemte. In de MER 2008-2012 is een belangrijke aanname dat er geen voedsellimitatie is voor het pelagische systeem en het benthische systeem (van Duin e.a., 2007). Kleine veranderingen die optreden door de winning van suppletiezandleken acceptabel.

Om meer inzicht te krijgen in de kennisleemte is een groeiemodel ontwikkeld en gevalideerd voor *Ensis* ( $DEB_{Ensis}$ ). Hierbij blijkt *Ensis* relatief ongevoelig voor veranderingen in concentraties algen en slib. Met het  $DEB_{Ensis}$  model is aannemelijk gemaakt dat de winningen van Rijkswaterstaat en LaMER geen significant effect hebben op de groei. Aan de andere kant toont het totaal aan metingen en modellering wel aan dat er de groei niet de theoretisch maximale groei benadert in de Nederlandse kustzone. *Ensis* in schelpdierbanken vertonen verminderde groei in lengte en verminderde toename in AFDW. Verminderde groei in schelpdierbanken is niet vreemd (zie bv Degraer e.a., 2007). Het is ook eerder gesignaleerd voor *Ensis* door Palmer (2004), Daan & Mulder (2006), Dekker & Beukema (2012) en Dannheim & Rumohr (2012). Het betekent dat schelpdierbanken kwetsbaar zijn bij langdurig grotere hoeveelheden zandwinning en gepaard gaande hoeveelheden extra slib in de waterkolom (Deltaprogramma hoeveelheden) omdat ze klaarblijkelijk in verschillende bestaande situaties een suboptimale groei kennen.

Daarnaast is in het MER 2013-2017 gemodelleerd dat bij tijdelijk grotere hoeveelheden zandwinning de conditie van individuele *Ensis* verlaagd wordt en dat is tegen de verwachting in. In een dergelijk open kuststelsel dat hoog productief is, een behoorlijke diepte heeft (producerend volume) en ook via de kust-dwarse stroming extra algen en detritus krijgt aangevoerd, verwacht men geen voedselbeperking. Nu zal een tijdelijke puls aan zandwinning en gepaard gaande effecten op slib en algen niet snel merkbaar leiden tot veranderingen op soort- of gemeenschapsniveau. De vele stochastische en andere onvoorspelbare processen hebben daarvoor teveel impact op de dynamiek van populatie en gemeenschap.

Concluderend, er is veel inzicht gegenereerd in de relatie tussen algen, slib en groei van *Ensis*. Er is ook een modelinstrumentarium (DEB<sub>Ensis</sub> model) ontwikkeld om met behulp van modelberekeningen inzicht te krijgen in de mogelijke effecten van zandwinning. Het DEB<sub>Ensis</sub> model is toegepast bij de effectschatting voor het MER 2013-2017. Het DEB<sub>Ensis</sub> model kan gekoppeld en geïntegreerd worden aan modellen als Conceptual models, Ecowasp, Delft 3D GEM, ERSEM. Het is een nieuwe ontwikkeling waarbij een (zo bleek) ongevoelige soort (*Ensis*) is gebruikt. Om meer zekerheden te genereren over ruimtelijke verdeling en andere meer gevoelige soorten is aanvullend onderzoek nodig. Dan kunnen de huidige resultaten in een bredere context worden geplaatst.

De beoogde doelen zijn grotendeels behaald. Er is meer inzicht over de effecten van meer slib en minder algen op een belangrijke vertegenwoordiger van de benthische gemeenschap van de kustzone. De effectschatting van het MER 2008-2012 wordt voor de onderzochte aspecten in grote mate bevestigd. De CieMER gebruikte de huidige resultaten ook in haar advies om te beschrijven dat de zandwinningen in het beoogde volumen (~12 Milm<sup>3</sup>), geen effect hebben op het Noordzeekuststelsel.

### 11.3.1 Nabeschouwing van de rol van modellen in effectschattingen

In het MEP is de volgende stap in de modellentrein ontwikkeld: een benthos module die gekoppeld kan worden in een on line modus dan wel een in een offline modus. Hierbij kan men zich afvragen wat de betrouwbaarheid is en de zeggingskracht van zoveel modellen achter elkaar die voortbouwen op elkaars resultaten. Daarnaast formaliseert de modellentrein een bepaalde toestand van het systeem terwijl het continu aan verandering onderhevig is door bijvoorbeeld verandering van nutriëntenbelasting, verandering in visserijdruk, de Noord-Atlantisch Oscillatie (NAO), invasieve soorten, klimaatverandering, etc (zie bv. Bijlage C, *Ensis* in een veranderd systeem voor meer info).

Een model kent vele voordelen zoals een kwantitatieve schatting van de reactie van het Noordzeekuststelsel op een puls van bv extra slib. Dat is ook meteen het nadeel. Het geeft een kwantitatieve inschatting van een effect wat heel overtuigend is waar een model toch ook zijn kwantitatieve beperkingen en onzekerheden heeft. Neem bv. het gegeven dat de resultaten jaargemiddeld worden en ook gemiddeld over grotere ruimtelijke eenheden. Harezlak e.a. (2012a,b) en Brinkman (2012) en Arends e.a. (2012) geven dan ook goede foutendiscussies die goed illustreren wat de mogelijkheden en beperkende factoren zijn. Het probleem ligt eigenlijk niet zozeer bij het rekenen en ook niet zozeer in de verschillen en bandbreedte van mogelijke resultaten. Het probleem is meer hoe het gebruikt wordt en daar zijn twee tegenstrijdige belangen.

Als eerste punt is het zo dat model resultaten nooit standalone gebruikt mogen worden maar altijd gebruikt moeten worden als een ondersteuning van een expertproces waarin de model resultaten geïnterpreteerd en de echte implicaties in een discussie afgewogen kunnen worden. In zo'n proces kunnen bijvoorbeeld niet-geïntegreerde implicaties als NAO en veranderingen in exploitatie worden mee genomen en geïntegreerd. Gezien de onzekerheden van de gegenereerde getallen en dat de getallen met al hun aannames en onzekerheden toch een eigen leven kunnen gaan leiden is het raadzaam de modelresultaten in het hoofdrapport te presenteren in MER-achtige systematiek van 0-en en ++ en termen als beperkt negatief effect, negatief effect etc. Hierbij dienen de modelresultaten wel kwantitatief beschikbaar te zijn als een achtergrondrapport. Dat doet meer recht aan de onzekerheden. Om een voorbeeld te geven, voor de RWS MER zandwinning 20013-2017 is het model Ecowasp doorgerekend met een serie van een gemiddelde jaar en een serie van vier verschillende jaren die een aantal keer achter elkaar gezet is. Daar kwamen lichtelijk andere getallen uit maar de boodschap was ieder keer hetzelfde: de winningen van Rijkswaterstaat hebben een beperkt negatief effect op de Waddenzee.

Aan de andere kant vraagt een Nb-wet wel om zoveel mogelijk kwantitatieve afweging en zeker op het moment dat er significante effecten zijn, is er behoefte aan een kwantitatieve schatting om eventuele (geld kostende) mitigerende dan wel compenserende maatregelen "op maat" te definiëren. Hier zijn de berekende getallen wel duidelijk richtinggevend. Ook hier is echter een interpretatie en afweging via een expertpanel nodig om de getallen te wegen en te nuanceren.

Er blijft nog wel een vraag over wat de houdbaarheid is van een modelberekening (of modellentrein). Is het mogelijk om sommen van 10 jaar geleden te gebruiken voor effectschattingen van nu? Dat lijkt iets ter afweging van bevoegd gezag of de bestaande resultaten voldoen aan de huidige kaders, dan wel aan experts om in te schatten of het systeem wezenlijk veranderd is in de afgelopen periode. Om hier een voorbeeld te geven: Harezlak e.a. (2012a,b) en Brinkman (2012) gebruiken een jaarlijks afnemende hoeveelheid nutriënten richting de Noordzee omdat voor de toekomst wordt verwacht dat de KRW geëffectueerd wordt. Het KRW beleid leidt tot een reductie van de nutriënten voor alle Europese landen aan de Noordzee. Dit was dan ook een zeer dringend argument wel nieuwe modelberekeningen te doen (nog los van de vele verbeteringen voor de modellen die bereikt waren door dit MEP). Deze nutriëntreductie had zeer veel effect op de resultaten.

#### **11.4 Impact van slib op een zichtjager, de grote stern**

Het doel was om te achterhalen of zandwinning van invloed kan zijn op het foerageersucces van de grote stern. Extra slib in de waterkolom veroorzaakt een vermindering van de zichtdiepte. Zichtdiepte is een belangrijke factor voor het vangstsucces van zichtjagers als de grote stern. Deze relatie tussen zichtdiepte en vangstsucces van de grote stern is onderzocht. De grote stern past zijn vangsttechniek aan met veranderende zichtdiepte om zo het rendement van zijn inspanningen te behouden. De belangrijkste conclusie van het onderzoek is dat het vangstsucces waarschijnlijk zeer beperkt afneemt bij geringe toenames aan slib op grote afstand van de zandwinning (far-field effect). Ook andere resultaten van derden integrerend, lijkt het erop dat de grote stern zeer veel capaciteit (in zowel tijd als uithoudingsvermogen) over heeft om de benodigde hoeveelheden vis voor zichzelf en hun jongen te vangen. Voor het near-field geldt dat de pluim én niet zo groot is als aangenomen én ook nauwelijks aan de oppervlakte komt zodat zichtdiepte aan de oppervlakte niet wezenlijk veranderd. Het lijkt eerder dat de sturende factor zit in de prooibesikbaarheid. Op basis van het onderzoek lijkt aannemelijk dat de grote stern in de nabijheid van de kolonie weinig gevoelig is voor lokale veranderingen van concentraties slib in de range zoals die daar door modellen worden voorspeld.

De resultaten zijn gebruikt in zowel de MER van 2008-2012 als ook de MER 2013-2017. Bij de toetsing van de MERren door de Commissie MER en Bevoegd Gezag bleek voldoende zekerheid verkregen te zijn over de redelijkheid van de effectschatting. Het doel is hiermee behaald.

#### **11.5 Rekolonisatie van de Zeeuwse Banken**

De rekolonisatie van de Zeeuwse banken is onderzocht omdat er juridische onzekerheid was of in dit onbekende gebied de rekolonisatie zou verlopen als verwacht kan worden op basis van de processen die vaak gezien worden bij rekolonisatie van de zeebodem (Rozemeijer, 2009). Er is van 2009 tot eind 2011 zand gewonnen in een bepaald wingebied. Gedurende 2009 tot en met 2012 is gemonsterd in en nabij dit gebied om de dynamiek van de door zandwinning ongemoeide gebieden te volgen (dynamiek van de TO). Het jaar 2012 is het eerste jaar van de rekolonisatie. De Zeeuwse Banken bleken een arm gebied dat lijkt op de armere gemeenschappen op de Vlaamse Banken (Van Hoey e.a., 2004). Reeds gedurende de winning trad in het wingebied rekolonisatie op; door het mobiele epifauna (zoals zeesterren) maar ook door een redelijke biomassa's aan schelpdieren en wormen. Op basis van de soortensamenstelling lijkt de rekolonisatie volgens de bekende patronen te gaan verlopen. Er zal echter nog een extra aanvullende bemonstering moeten gebeuren om vast te stellen of en wanneer volledige rekolonisatie optreedt.

De waargenomen dichtheden aan schelpdieren op de Zeeuwse Banken zijn op de gemeten locaties laag en wettigen geen classificatie als schelpdierbank. De gemeten locaties lijken een voldoende dwarsdoorsnede van de aanwezige habitats te vertegenwoordigen. Het gehele gebied lijkt daarom niet van belang als voedselgebied voor schelpdieretende vogels.

Het beoogde doel van zekerheid over de rekolonisatie (vergelijkbare gemeenschappen dan wel gemeenschapsdynamiek als het referentiegebied) is nog niet bereikt maar dat ligt ook in de lijn van verwachting bij een veronderstelde rekolonisatie duur van 4-6 jaar en pas één jaar onderzoek na beëindiging van de zandwinning.

## 11.6 Schelpdierbanken

Middels extra metingen en statistische analyses van datareeksen van lopende surveys is gezocht naar extra zekerheid dat bij een zandwinning geen schelpdierbanken worden weggezogen. De extra metingen hebben opgeleverd dat het zeer onwaarschijnlijk is dat op de Zeeuwse Banken schelpdierbanken worden aangetroffen. In dat gebied lijken geen extra metingen meer nodig maar wellicht zou een aanvullende campagne met een gerandomiseerde monsterpuntenverdeling de definitieve zekerheid geven. NB: het nadeel van een gerandomiseerde monsterpuntenverdeling is wel dat de kans hoog is dat een net gewonnen gebied wordt onderzocht. Dat is niet representatief. Ook is nu geformaliseerd dat *Spisula* momenteel een langjarige neerwaartse trend heeft en nog zeer weinig voorkomt. Voor *Spisula* is voorlopig het lopende WOT programma voldoende als vinger aan de pols. Voor *Ensis* is wellicht meer meetinspanning nodig.

De statistische analyses hebben de beschikbare data ontsloten en getest. Hierbij zijn gegevens vrijgekomen over schelpdiersoorten die gebruikt kunnen worden voor effectanalyses van zandwinning en andere initiatieven. De behoefte is er nog wel om dat verder uit te breiden. Verdere statistische analyses kunnen helpen meer grip te krijgen over de verspreiding en ecologie van schelpdierbanken. Dat kan helpen eventuele extra meetinspanningen meer ruimtelijk af te bakenen en in te kaderen. Daarnaast zijn quick-scan methodes getest op hun bruikbaarheid om snel en efficiënt contouren van schelpdierbanken in beeld te brengen (zie de volgende sectie).

## 11.7 Quick-scan methodes

Het doel van deze onderzoeken was om een geschikte quick-scan methode te vinden om efficiënt een zo groot mogelijk (oppervlak dekkend) zandwingsgebied te kunnen scannen op de aanwezigheid van schelpdierbanken. Van de vier onderzochte methodes (Medusa, side scan sonar, schaaft en camera) zijn de camera- en schaaftmethode methodes die voldoende functioneren om schelpdierbanken te detecteren. Medusa en side scan sonar lijken vooralsnog geen geschikte methodes voor de detectie van schelpdierbanken. Een vijfde methode is de Multibeam die getest is door Troost e.a. (2013). De toepassing lijkt hoopvol, echter voordat Multibeam-technologie meer generiek kan worden toegepast moeten er nog enige stappen genomen worden.

Het doel van het MEP: vindt een geschikte methode is deels behaald. Twee methodes zijn nu afgefallen. De methodes die nog geschikt kunnen zijn hebben hun voor en nadelen. Voor de camera vraagt het vooral een afweging of de kwetsbaarheid in uitvoering en inzetbaarheid opweegt tegen het gemak. De Multibeam-techniek kan de nadelen van de camera ondervangen en lijkt erg geschikt om specifiek schelpdierbanken te kunnen waarnemen. De techniek vraagt nog wel veel ontwikkelingswerk. De schaaft is getest. Met deze methode is een grote database opgebouwd waarmee analyses kunnen worden bedreven. Het is echter arbeids- en kapitaalsintensief ten opzichte van de camera en Multibeam. Gezien het feit dat schelpdierbanken belangrijk zijn voor de ecologie van vogels en gezien het feit dat schelpdierbanken kwetsbaar zijn voor veranderingen in voedsel- en slibaanbod is het van belang een goede methode te hebben om gericht onderzoek te doen naar het voor komen en dynamiek van schelpdierbanken (zeker in het licht van de gewenste opschaling van zandwinning in de toekomst).

## 11.8 Verstoring van zeehonden door sleehopperzuigers

### 11.8.1 Visuele verstoring

Op sommige locaties is het technisch niet uitvoerbaar om de gewenste 1200-1500m (ihkv voorzorgsprincipe) aan te houden. Dit is bijvoorbeeld door de ligging van een zandplaat met rustende

zeehonden naast een geul waardoor de sleeppopperzuigers dichterbij moeten komen dan 1.200 m. Uit het onderzoek is gebleken dat zeehonden relatief weinig verstoring gevoelig zijn voor sleeppopperzuigers in vergelijking met andere menselijke activiteiten die in de directe nabijheid plaatsvinden. Op de verschillende zandplaten waar het observatieonderzoek is uitgevoerd (Razende Bol, Verklikkerplaat, Hooge platen) waren tot op 700 meter weinig verstoringen in gedrag waar te nemen. Alleen bij de Middelplaat kwamen de hopperzuigers dichterbij (300-500 m), wat aanleiding gaf tot meer onrust (vooral kop-op). De gebiedsspecifieke verstoringafstand van 1.200 tot 1.500 meter blijkt voldoende. Het doel is hiermee behaald.

#### 11.8.2 Onderwaterverstoring

Het gestelde doel was om de effecten van onderwatergeluid op zeehonden vast te stellen. Diverse methoden voor het onderzoek naar het effect van onderwatergeluid op vermijdingsgedrag van zeehonden zijn beschreven. Daarnaast is een geschikte plek voor het uitvoeren van het onderwatergeluidsonderzoek gevonden (Rostock). Echter in de Nederlandse omstandigheden behoort het geluidsniveau van sleeppopperzuigers niet tot de top zeven van de belangrijkste geluidsbronnen (Ainslie e.a., 2009). Daarom is dit onderzoek in overleg met bevoegd gezag voor nadere evaluatie gestopt. Voor het volgende MEP zal een nadere evaluatie dienen te gebeuren om een eventuele toegevoegde waarde te bepalen.

### 11.9 Verstoring van zwarte zee-eenden door sleeppopperzuigers

De vraag is wat de populatie aan zwarte zee-eenden stuurt zowel op de korte termijn (onder invloed van voedsel en verstoring) als ook op de lange termijn. Een tweede vraag is het eventueel bijstellen van de verstoringafstand. Er zijn op dit moment gemiddeld minder zwarte zee-eenden in de Noordzeekustzone dan als N2000 doelen zijn vastgesteld. De daadwerkelijke oorzaak hiervan is nog onbekend, maar de vraag is in hoeverre de shift van *Spisula* naar *Ensis*, of versturende scheepsactiviteiten hier een rol in spelen. Deze vraag is relevant omdat zowel in de periode 2008-2012 als ook 2013-2017 met sleeppopperzuigers grote hoeveelheden zand getransporteerd worden richting de kust, waarbij concentraties van zwarte zee-eenden herhaaldelijk verstoord kunnen worden.

De verdeling van zwarte zee-eenden blijkt gecorreleerd te zijn met zowel diepte (ruwweg een optimum-kromme, potentieel een optimum tussen rust en voedselbeschikbaarheid) als met voedsel (toename eenden met toename voedsel). Aangezien diepte en voedselbeschikbaarheid ook significant correleren, is het moeilijk om uit elkaar te halen welke factor hier bepalend is (beide waarschijnlijk). Er zijn wel meerdere plekken waar zwarte zee-eenden kunnen foerageren. Over het hele studiegebied gezien leken de grootste concentraties eenden meestal niet voor te komen in de buurt van concentraties vissersschepen, maar een dergelijk verband was statistisch niet hard te maken.

Het doel is hiermee deels behaald. Aan de verstoringafstand is geen aandacht besteed. Er zijn meerdere publicaties die duidelijk maken dat de verstoringafstand 1500 m of groter is, groter dan de juridisch gebruikte verstoringafstand (Dirksen e.a., 2005, Krijgsman e.a., 2008, Ministerie V&W, 2010). Het populatieonderzoek blijkt zeer moeilijk uit te voeren. Dat blijkt ook bij de resultaten van PMR (M. Leopold pers. comm.). De zwarte zee-eenden zijn moeilijk van dichtbij waar te nemen in het veld door hun snelle en directe vluchtrespons op verstoring. Daarmee is het ook moeilijk te observeren tijdens het foerageren zelf wat ze eten. Er worden ook weinig gestorven exemplaren gevonden, waarvan de maag gebruikt kan worden voor maaginhoud onderzoek. De opbrengst van dit MEP is dat er lessen geleerd zijn (voortschrijdend inzicht) en ideeën gegenereerd zijn om met een vervolgaanpak gericht de effecten van verstoring door sleeppopperzuigers en andere bronnen te kunnen observeren om de implicaties van verstoring te kunnen inschatten.



## 12 Mogelijkheden voor verder onderzoek

### 12.1 Slib en slibmodellering

#### 12.1.1 Nut en noodzaak

Uit de resultaten en uit de toepassing van de resultaten in het nieuwe MER Zandwinning Suppletiezand 2013-2017 blijkt dat op dit moment voldoende kennis bestaat om effectvoorspellingen te doen t.a.v. de huidige hoeveelheden te winnen zand en t.a.v. de huidige eisen m.b.t. natuurbescherming. Een toename van de te winnen zandhoeveelheden (b.v. van 12 Mil<sup>m</sup> naar 40 Mil<sup>m</sup>), een lokale verhoging van 8 Mil<sup>m</sup> nabij de Waddenzee (waarvoor een verbeteropgave bestaat) of een verscherping van de milieueisen zou echter een nauwkeuriger modelvoorspelling nodig kunnen maken.

De modelvoorspelling zou in dit soort gevallen misschien aangeven dat niet meer aan alle milieueisen wordt voldaan. Omdat modelvoorspellingen geen onderschatting mogen geven en dus altijd een overschatting geven van het werkelijke effect, is het dan noodzakelijk een nog nauwkeuriger modelvoorspelling te maken met minder overschatting. Daarvoor moet het slibverspreidingsmodel weer verbeterd worden en is meer kennis nodig met betrekking tot de hieronder genoemde kennisleemten.

Alle hieronder genoemde onderzoeken leiden tot verhoging van de nauwkeurigheid maar ze hebben niet allemaal dezelfde efficiëntie in termen van kosten en baten. Welke het meest opleveren is een kwestie van vooronderzoek. De onderstaande ideeën staan in willekeurige volgorde:

- Er wordt verondersteld dat bewegend bodemreliëf een belangrijk uitwisselingsmechanisme met de waterkolom vormt. Bodemframes met meerdere afstandsmeters en/of dichtheidsmeters (b.v. ASM4) kunnen een gedetailleerd tijdsbeeld geven van veranderende bodemvormen en de verversingssnelheid van de dynamische bodemlaag. Frequente Multibeam bodemopnamen vanaf een lodingsvaartuig dat ook is uitgerust met een Medusasensor kunnen een ruimtelijke plaatje geven van de veranderingen.
- Er zijn aanwijzingen voor een seizoeneffect in het bodemslibgehalte. Dat is logisch omdat golfeffecten in herfst en winter sterker zijn en de biologische activiteit in de winter minder. Een kwantificering van het seizoeneffect zal betere voorspellingen opleveren van lange termijn-effecten. Het slibgehalte in de waterkolom neemt in de winter aantoonbaar toe, maar niet in die mate dat daarmee een afname in bodemslibgehalten verklaard kan worden. Veel opgewerveld bodemslib zal vermoedelijk als slibdeken vlak boven de bodem blijven of tijdelijk als sliblaag op de bodem liggen. De hoeveelheid slib vlak boven en op de bodem kan vanaf een bodemframe gemonitord worden met een ASM4 of met een slibvang. De nu bestaande reeks Medusametingen zou voortgezet moeten worden om het middellange termijn gedrag inclusief het seizoen effect van bodemslib in beeld te krijgen.
- Gegevens over zwevende stof concentraties worden meestal verkregen door het in situ meten van de lichtdoorlatendheid van het zeewater. Met remote sensing worden gerelateerde optische eigenschappen van de oppervlaktelaag gemeten. Deze data kunnen in principe direct gebruikt worden om het onderwaterlichtklimaat te schatten. Het slibverspreidingsmodel heeft echter als invoerparameters de verdeling van de bezinksnelheden van het gesuspendeerde materiaal nodig. Deze zijn weer afhankelijk van de korrelgrootteverdeling. Deze korrelgrootteverdeling bepaalt tevens de invloed die het materiaal heeft op het lichtklimaat. Slibmonsters uit het te winnen zeezand moeten op deze parameters onderzocht worden. Gewenste nieuwe monitoringsactiviteiten zijn:
  - Lichtextinctie verdeling.
  - Korrelgrootte verdeling.
  - Valsnelheid verdeling.Waarbij de lichtextinctie ter validatie dient.
- Als voldoende nieuwe meetdata beschikbaar komen zal het slibmodel opnieuw moeten worden gekalibreerd. Zo nodig zullen nieuwe formuleringen van de dominante processen worden geïmplementeerd. Het model zal dan weer gevalideerd worden met gebruikmaking van zoveel mogelijk beschikbare data.

## 12.2 Implicaties van zandwinning op de voedselvoorziening van benthos

### 12.2.1 Nut en noodzaak

De MERren waarin het MEP een bijdrage heeft geleverd (Van Duin e.a., 2012a,b) laten zien dat bij de huidige volumina van winnen voor kustsuppleties of een incidentele zwakke schakel er geen noemenswaardige problemen opleveren voor *Ensis* individuen (Schellekens, 2012a,b). Aangezien *Ensis* het voornaamste schelpdier is van de kustzone (Goudswaard e.a., 2011, 2012), is daarmee voldoende inzicht verkregen voor een afdoende effectschatting. Voor de toekomst ligt het iets anders. Daarin vallen volumina vergrotingen te voorzien voor de reguliere suppleties. Bij substantiële verhoging van de win hoeveelheden zullen de effecten wellicht niet meer klein zijn. Schellekens (2012a,b) laat namelijk zien dat er bij de huidige volumina voor kustsuppleties (12 Milm<sup>3</sup>) wel kortdurende periodes van voedselbeperking zijn waar in lengte, weefselgroei dan wel gonadenaanleg tijdelijk verminderd zijn. Bij een korte puls van zeer grote volumina in de autonome ontwikkeling zijn de effecten groter en duren langer (Figuur 14).

Binnen de huidige budgetten van zandwinning zijn die periodes zeer kort en ook van generlei ecologische betekenis. Gonadenweefsel voor larven lijkt niet direct beperkend bij zo'n enorme populatie aan *Ensis* zoals nu in de kustzone. In zijn algemeenheid zijn eerder de post-settlement processen bepalend voor recruitment en niet hoeveelheid eieren, larven of pre-settlement (Olafsson e.a., 1994, van der Meer, 1997, Reiss & Kröncke, 2005, Bergman e.a., 2010). Bij grotere volumina kan deze voedselbeperking een grotere betekenis krijgen, wellicht op (pre-)settlement of op post-recruitment processen. Daar is meer kennis voor nodig om de huidige resultaten in een context te plaatsen en beter de effecten te kunnen schatten. Om de huidige resultaten omtrent voedselbeperking gevonden in het veld en gemodelleerd beter te kunnen duiden is het gewenst om te volgende vragen te behandelen:

- Hoe is de groei van *Ensis* in relatie tot voedselbeschikbaarheid en slib op andere plekken in de kustzone?
- Hoe is de groei van andere schelpdiersoorten in relatie tot voedselbeschikbaarheid en slib op deze plekken (variabiliteit in tijd en ruimte)?
- Hoe werken veranderende verhoudingen algen : slib door? Welke consequenties hebben veranderende condities in voedselbeschikbaarheid en slib voor de populatiedynamica van de verschillende schelpdiersoorten?

Bij de huidige volumina zandwinning ontstaan kleine niet-noemenswaardige effecten op de conditie van *Ensis*. Het is te verwachten dat *Ensis* minder reservestoffen en een slechtere conditie krijgt zodra grotere hoeveelheden (Deltaprogramma-achtig) zand worden gewonnen (Witbaard e.a., 2012, 2013, Schellekens, 2012a,b, Schellekens & Witbaard, 2012, Figuur 14). *Ensis* heeft daarmee minder mogelijkheden om ongunstige omstandigheden op te vangen. Het lijkt daarmee mogelijk dat extra slib en minder algen de populatiedynamica van *Ensis* veranderen en daarmee de concurrentiepositie (Schellekens, 2012a,b, Figuur 14).

Nu is *Ensis* redelijk ongevoelig voor verandering in slib en algen (Schellekens 2012a,b, Kamermans & Dedert, 2012). Andere schelpdiersoorten hebben een andere (onbekende) gevoeligheid. Die zijn wellicht gevoeliger voor veranderingen in slib en algen. Door de veranderingen in algen en slib verandert per soort ook de conditie op een soort-specifieke manier en daarmee de mogelijkheden om te overleven onder druk van de verschillende stochastische processen (koude, timing van de voorjaarsbloei, predatie, uithongering, hoge temperaturen in zomer en winter en daarmee metabolisme, betekenis voor recruitment). De conditie en overlevingsmogelijkheden van andere soorten kunnen veranderen. En daarmee kunnen de onderlinge concurrentieverhoudingen veranderen en wellicht de gemeenschap in het kuststelsel.

Voortbouwend op recente resultaten over groei op één locatie (Witbaard e.a., 2012, 2013) richten de vragen zich op groei in combinatie met populatiedynamica, voedselbeschikbaarheid–selectie en –assimilatie voor *Ensis* en voor andere schelpdiersoorten. De genoemde modelstudies zijn gedaan met een DEB<sub>Ensis</sub> model voor *Ensis*. Daarbij wordt niet ingegaan op populatiedynamica. Het DEB<sub>Ensis</sub>-model rekent met de theoretische leeftijd van *Ensis* van zeven jaar. Het is een model dat zich richt op een individuele *Ensis*. Om meer grip te krijgen op de (betekenis van) de verschillende processen die inwerken op de overleving van *Ensis*, is het nodig om zowel groei als populatiedynamica in beeld te brengen op meerdere locaties kustlang.

De voedselopname is een eerste belangrijk issue in relatie tot de effecten van zandwinning. Voedselopname wordt benaderd met een zogenaamde functionele respons. Voor *Ensis* is die uitgezocht onder laboratoriumomstandigheden met gedefinieerde algen en slib (Kamermans & Dedert, 2012). In het veld zijn de omstandigheden anders. Er zijn andere soorten algen, het slib is anders van aard; het kan bijvoorbeeld samengeklit zijn met detritus of algen. Daarnaast is er ook nog los detritus. Dat kan ook een rol hebben? De soortsmenstelling van de algen kan van wezenlijke invloed zijn op de soortsmenstelling van het benthos (Phillipart e.a., 2007a,b, 2011). Ten tweede kan structureel minder algen en meer stress door slib door zandwinning leiden tot minder reserves in een schelpdier en daardoor eerder sterfte door uitputting in moeilijke omstandigheden. Denk hierbij aan zomerse omstandigheden waarbij de temperatuur en metabolisme hoog zijn en voedselaanbod laag, of een hoge wintertemperatuur die een aanslag pleegt op de reserves. Hoe verhoudt zo'n factor als uitputting door te kort voedsel zich tot andere populatie structurerende fenomenen als predatie en stormen? Diezelfde vragen gelden ook voor andere schelpdiersoorten waarbij het raadzaam lijkt voort te gaan met soorten die reeds een werkend DEB-model hebben maar waarvan de functionele respons nog niet goed is uitgezocht (Van der Veer e.a. 2004, Wijsman 2009). Daarnaast is een koppeling nodig van DEB met de populatiedynamica en de gemeenschapsdynamica. Dit wordt bij voorkeur uitgezocht met lichte modelvormen waarin vooral principes en concepten worden getest zoals in Structured Biomass Community Modelling worden gebruikt (zie bv De Roos e.a., 2007, 2008). Een hypothese is dat zandwinning van structureel grote volumina leidt tot minder algen, een verminderde groei en opslag van reservestoffen en meer uitputting en sterfte bij schelpdieren. Door soortverschillen zal de ene soort hier beter op reageren dan andere soorten waardoor geleidelijk andere soortverhoudingen zouden kunnen ontstaan op de lange termijn.

#### 12.2.2 Kernvragen zijn:

Wat is de impact van meer slib en minder algen op de conditie en groei van benthos en de opbouw van populaties en gemeenschappen, ook in relatie tot andere (stochastische) drivers als predatie, uitspoeling en extreem lage of hoge temperaturen?

En wat is de rol van conditie en groei in de vele stochastische drivers die populatie en gemeenschap structureren? Is er een punt waarop de kustgemeenschap gaat veranderen?

In het licht van de groeiende vraag naar zand, bij welke concentraties slib en bij welke afname van algen treden er voedselbeperking en geassocieerde effecten als veranderende populatie en gemeenschapsdynamica op?

#### 12.2.3 Aanpak

Laaghangend fruit: Als eerste kan een verkenning plaats vinden met het onlangs geoptimaliseerde DEB model voor mossel (Wijsman e.a., 2012). Schellekens (2012a,b) berekent de effecten van zandwinning op *Ensis* met een speciaal gegenereerde Delft3D output. Diezelfde output kan gebruikt worden om voor de mossel berekeningen te maken en die resultaten te vergelijken met die van *Ensis*. Al is de mossel weinig aanwezig in de kustzone, het geeft toch al meer vergelijkingsmateriaal, een eerste idee wat verschillen kunnen zijn. Parallel kan een literatuurstudie gedaan worden naar de aspecten van voedselbeschikbaarheid. Het loont de moeite een eerste verkenning te doen met een opzet van

Structured Biomass Community Modelling waarmee de gevoeligheid van de schelpdiergemeenschap voor veranderende condities in slib en algen kan worden onderzocht.

De huidige uitspraken zijn beperkt tot één soort (*Ensis*). Voor meer algemene uitspraken is het nodig om de bestaande DEB modellen van andere soorten te voorzien en van een betere functionele respons. Een aantal punten kan uitgezocht worden in het laboratorium. Populatie dynamica en groei worden bij voorkeur goed gespreid langs de kust gemeten om voldoende differentiatie te krijgen. Locatiekeuze dient hierbij gericht te worden op samengaan met metingen voor bv zwarte zee-eenden (waar gezocht dient te worden naar de impact van verstoring in relatie tot aanwezigheid en voedselkwaliteit en kwantiteit) en Futen (waar het onderzoek zich richt op de effecten van slib op hun jaagefficiëntie). Anderzijds kan gedacht worden aan locaties die heel erg verschillen in slib en algenconcentraties (bv Kustboog, de Scheldes, Waddenzee). Een nadeel is dan wel dat een dergelijke opzet gepaard gaat met significante verschillen in saliniteit die waarschijnlijk doorklinken in de energiehuishouding.

### **12.3 Wormen als andere representant van het bentische voedselweb**

Wormen vormen een belangrijke component van het dieet van bodemgeoriënteerde vis. Maar hun kwantitatieve betekenis is relatief onbekend (Tulp e.a. 2010). Het aandeel van wormen in het benthos is groot. Ze hebben waarschijnlijk een hoge turn-over: hoge sterfte, meerdere voortplantingsmomenten per jaar. Wormen blijven meestal buiten beschouwing bij effectschattingen. Er is weinig beeld hoe deze soortgroepen worden geraakt door veranderingen in algen en slib. Enerzijds zal het effect voor wormen wel mee vallen aangezien ze in het algemeen foerageren op detritus. Anderzijds zijn ze wel een belangrijke prooisoot voor demersale vis. Ze zijn een belangrijke component om mee te nemen als het gaat om grip te krijgen op de voedselstromen.

### **12.4 Modelmatige beschrijving van de voedselwebrelaties**

In Ingreep-Effectrapportages worden modelinstrumentaria vaak ingezet om een kwantitatief idee te krijgen van wat een ingreep kan betekenen. Hierin zijn twee hoofdrichtingen te onderkennen:

- 1) Structured Biomass Community Modelling
- 2) Complexe ruimtelijk modellering

#### *12.4.1 Structured Biomass Community Modelling*

Het is een benadering waarin vooral de grootste compartimenten en de meest bepalende processen worden gemodelleerd. Het doel is om op een lichte manier te verkennen bij welke concentraties en verhoudingen aan algen en slib de samenstelling van de gemeenschap verandert (kantelpunten). De gevonden model concentraties kunnen dan vergeleken worden met wat men aan concentratie veranderingen verwacht door zandwinning. Zie bijvoorbeeld Roos e.a. (2007, 2008). Doordat de aanpak licht is, kunnen makkelijk exercities naar de gevoeligheid van het model voor de gebruikte variabelen en parameters (Monte Carlo) worden uitgevoerd. Dit geeft ook goed inzicht in waar extra meet- of experimenteerinspanningen op gericht zouden moeten worden.

Deze vorm leent zich uitstekend om ecologische principes (stochastische processen, concurrentie, populatie dynamica, recruitment) te onderzoeken die bijvoorbeeld de benthos-gemeenschap structureren. Dergelijke modellen kunnen gevoed worden met veldwaarnemingen voor de ecologische drivers dan wel met de resultaten van de meer waarheidsgetrouwe modellen. Ecowasp hangt qua complexiteit tussen deze vorm van modelleren en de complexe ruimtelijke modellering in. Dergelijke modellen kunnen goed een verkenning geven bij welke bandbreedtes het systeem gaat omslaan naar een ander systeem; bijvoorbeeld van een *Ensis* gedomineerd systeem naar een otterschelp gedomineerd systeem. Het sluit ook aan bij de wensen van de Commissie MER om met een zo licht mogelijk instrumentarium inzicht in de effecten te geven.

#### 12.4.2 Complexe ruimtelijke modellen

Het huidige ruimtelijke model-instrumentarium voor de Kustzone gaat tot en met de algenmodule (lijn A in het schema). Voor de Waddenzee gaat het verder tot en met benthos (lijn B, Ecowasp, toch ook ruimtelijk). Het onderzoek in dit rapport heeft zich gericht op de beschrijving van de modelmatige relatie tussen slib, algen (primaire productie) en *Ensis* als voornaamste secundaire producent (40-70% van de schelpdierbiomassa). Daar zijn belangrijke stappen in gezet om het benthos te koppelen aan waterkwaliteitsmodellering. Het fysiologisch groeimodel (DEB<sub>Ensis</sub>) is toegepast. Hierbij zijn de Chl-a-gehalten zoals die berekend zijn met een ecologisch model (bovengenoemde lijn A) gebruikt om in een aparte modelberekening de gevolgen voor de groei van *Ensis* te berekenen voor individuele *Ensis* en op enkele locaties. Op zich is dit een belangrijk stap; de effecten van slib op algen kunnen nu tentatief worden geëxtrapoleerd naar de meest voorkomende tweekleppige. Nu dient zich de vervolgstap aan om én over te gaan van off-line naar on-line modellering (inclusief terugkoppeling met algenconcentraties en nutriënten) en ook meer zekerheden te verkrijgen over ecologische betekenis. Hierbij zijn de volgende aspecten relevant:

- 1) Er is een gevoeligheidsanalyse nodig van het model DEB<sub>Ensis</sub>. Van hieruit kunnen experimenten worden gedefinieerd voor validatie en verbetering van het model.
- 2) Een belangrijke component is de zogenaamde functionele respons (voedselselectie en -beschikbaarheid): hoe gaat *Ensis* om met verschillende hoeveelheden en verhoudingen algen, detritus en slib.
- 3) Het DEB-model dient ingebouwd te worden in waterkwaliteitsmodellen om gebiedsdekkende uitspraken te kunnen doen over de effecten van meer slib en minder algen (Benbox-module).
- 4) Welke factoren bepalen de uiteindelijke populatiedynamica van *Ensis*? Het DEB<sub>Ensis</sub>-model rekent met de theoretische leeftijd van *Ensis* van zeven jaar; het is een model dat zich richt op een individuele *Ensis*.
- 5) Integratie van andere relevante soorten: vanuit de verbeteropgave H1110 voor N2000 lijkt het opportuun om aandacht te gaan besteden aan de langlevende schelpdiersoorten. Daarnaast moet niet worden vergeten dat kortlevende (*Spisula*, *Ensis*, kokkels, mossels ook enigszins in de kustzone) van groot belang zijn als voedsel voor vogels.
- 6) Integratie van de resultaten (habitatmodellering en verklarende modellen) van hogere trofische lagen het toevoegen van extra consumenten als zoöplankton, vis en vogels om de representativiteit van het model te vergroten (verkregen middels de onderzoeken en modellen voor zwarte zee-eenden, futen, kinderkamerfunctie etc.).

<b>A</b>		<b>Ecologische interpretatie</b>	<b>Algen</b>	<b>Slib</b>	<b>Waterbeweging</b>
<b>B</b>	<b>Ecologische interpretatie</b>	<b>Benthos</b>	<b>Algen</b>	<b>Slib</b>	<b>Waterbeweging</b>

Figuur 24 Schematische weergave van de modellentrein zoals gebruikt in de MER 2008-2012 (A) en de modellentrein zoals gebruikt in de MER 2013-2017(B).

#### 12.5 Schelpdierbanken: *Ensis directus* en *Spisula subtruncata*

Schelpdierbanken zijn belangrijk biogene structuren omdat ze hoge concentraties aan voedsel vertegenwoordigen. Momenteel zijn er twee soorten die belangrijk zijn als schelpdierbank: *Ensis* en *Spisula*. *Ensis* vormt nu waarschijnlijk het bulkvoedsel voor eenden en vissen. Echter door zijn specifieke eigenschappen is het niet de meest geschikte prooi (Leopold e.a., 2010). Daarnaast is het mogelijk dat er voedselbeperking optreedt bij zandwinning in grote hoeveelheden (Schellekens & Witbaard, 2012).

*Spisula* was een belangrijke schelpdierbankvormende soort in de Nederlandse kustzone. *Spisula*-banken waren waarschijnlijk de sturende voedselbron voor de enorme aantallen zwarte zee-eenden (>100.000 per jaar) die er nu niet meer zijn. Het is de wens dat *Spisula*-banken terugkeren (Team Heijkoop, 2011). De vragen splitsen zich uit naar twee richtingen: ecologie van *Spisula* en ecologie van de schelpdierbank.

#### 12.5.1 *Spisula*

De opkomst en het verdwijnen van *Spisula* is nog onbegrepen. Mogelijke verklaringen zijn de natuurlijke dynamiek (koude winters waardoor de broedval van *Spisula* meer succesvol was), de Noord-Atlantische oscillatie of de concurrentie met *Ensis*. Of wellicht zijn de toename aan slib en/of vermindering in algen door zandwinning of verminderende nutriënten oorzaken. Meer grip op de ecologie van *Spisula* heeft toch wel een bepaalde urgentie. *Spisula* lijkt een randvoorwaarde voor de enorme aantallen zwarte zee-eenden die vroeger werden aangetroffen in de kustzone. Een aanpak lijkt opportuun om eerst een DEB-model op te stellen om alle kennis eens op een rijtje zetten gecombineerd met populatiedynamica.

#### 12.5.2 Schelpdierbanken

De vraag doet zich ook voor wat schelpdierbanken stuurt. Voor *Ensis* heeft een algemene HGK, gebaseerd op grote en kleine *Ensis* en gebaseerd op maximaal aangetroffen dichtheden, duidelijk andere contouren (De Mesel e.a. 2010) dan een HGK voor *Ensis* groter dan 10 cm en in dichtheden van 10 ind./m<sup>2</sup> (Houziaux e.a., 2011, Figuur 20). Een vervolgstap zou kunnen zijn eens wat meer te spelen met deze criteria.

#### 12.5.3 Kernvraag:

- Wat bepaalt waar schelpenbanken kunnen voorkomen? En worden die condities beïnvloed door zandwinning (meer slib, minder algen)?
- Hoe wordt de groei van individuen in schelpdierbanken beïnvloed door veranderende condities in slib en algen?
- En hoe klinken veranderingen in individuele biomassa's in schelpdieren door in prooigeschiktheid voor zwarte zee-eenden?

#### 12.5.4 Aanpak

Een bredere verkenning van HGKs voor zowel *Ensis* als *Spisula* waarbij de lijn De Mesel e.a. (2010) , Houziaux e.a. (2011) wordt voortgezet. NB: HGKs moeten altijd worden gezien als een data-exploratie van waaruit nader onderzoek kan worden opgezet. Het is geen eindstation. Daarnaast geven de veldmetingen voor zwarte zee-eenden ook informatie over de verspreiding van schelpdierconcentraties. Vandaar uit kan een specifieke opzet worden bedacht.

Het is hiervoor wenselijk de contouren van schelpdierbanken beter in beeld te krijgen. Hierbij kan gedacht worden aan de quick-scan methodes van camera en Multibeam of intensief schaven.

## 12.6 Zwarte zee-eenden

De vraag blijft wat de populatie aan zwarte zee-eenden stuurt, ook in het MER 2013-2017 (Van Duin e.a., 2012a). Er zijn nu gemiddeld minder zwarte zee-eenden dan op het moment waarvoor de N2000 doelen zijn vastgesteld. Er is nog steeds een aantal mogelijke hoofdoorzaken voor de lage aantallen:

- 1) Ontbreken van goed voedsel (de verschuiving van *Spisula* naar *Ensis*).
- 2) Verstoring door schepen (sleehopperzuigers en vissersschepen). Verstoring is dan ook weer in te delen in
  - a) Tijdelijke verstoring (en gepaard gaande tijdelijke verplaatsing).
  - b) Permanente verstoring met een vertrek van de lokale zwarte zee-eenden naar:
    - i) Andere Nederlandse gebieden.
    - ii) Buitenland.
- 3) Oorzaken vanuit andere locaties waar ze gedurende hun migratiecyclus verblijven: bv. goed of juist slecht voedsel aanbod op andere plekken van hun migratie route, jacht, ernstig koude, etc.

De directe relatie tussen het voor komen van zwarte zee-eenden en hun voedselbronnen blijkt lastig te leggen. Er zijn nu ruimtelijke gegevens over de verspreiding en dichtheden van zowel zwarte zee-eenden en het mogelijke voedsel. Maar wat eten de eenden van dat beschikbare voedsel? Leopold e.a. (2013) laten zien dat er bijvoorbeeld veel *Macoma* ligt, maar het is onzeker of *Macoma* daadwerkelijk wordt gegeten. Aanvullend dieetonderzoek is nodig, waaruit kan blijken wat de eenden daadwerkelijk aan voedsel opnemen. Hiermee kan de relatie voedsel-eenden veel scherper gesteld worden. Een fijner grid aan benthos-bemonsteringsstations zou deze relatie vervolgens ook scherper kunnen stellen gekoppeld aan zwarte zee-eend tellingen.

De invloed van verstoring, bovenop de relatie met voedsel, kon niet goed worden vastgesteld. Een experimentele aanpak, dus directe waarnemingen aan een verstorend schip, zouden vermoedelijk sneller resultaat kunnen opleveren ten aanzien van de directe verstoring. Echter als het alleen deze aanpak is, ontbreekt het grotere plaatje. Gegeven de gevonden onzekerheden is een doorvertaling van vermoede verstoring van vissersschepen naar veronderstelde verstoring door sleephopperzuigers, vooralsnog speculatief. Ook hiervoor geldt, dat directe waarnemingen vanaf, of aan schepen betrokken bij toekomstige zandwinning en suppletie, vermoedelijk een goede en efficiënte aanvulling zouden kunnen zijn om de mate van verstoring in kaart te brengen, gekoppeld aan gebiedsdekkende benaderingen.

Een andere, en zeker ook kansrijke onderzoeksopzet is om meer direct de situatie met en zonder visserij te vergelijken. In de huidige studie zijn de eenden en de schepen iedere maand geteld. Dit heeft als voordeel dat het hele winterseizoen is bestreken, maar als nadeel dat tijd een complicerende factor is en bovendien dat de aanwezigheid van scheepvaart toevallig is. Onze resultaten laten echter zien dat de kans op "geen visserij" hoog is in het weekend (conform, uiteraard, aan wat bekend is van de visserij in Nederland).

Het vast stellen van de oorzaken van het wegblijven van zwarte zee-eenden is belangrijk om hiermee de oorzaak te kunnen bepalen en eventuele nut noodzaak van uitvoeringsmaatregelen. Als het wegblijven wordt veroorzaakt door het prooideraanbod is een wenselijk stap eerder het aanpassen van de N2000 doelstelling dan uitvoeringsmaatregelen voor eventueel verstorende schepen.

### **12.7 Verstoring van gewone en grijze zeehonden**

Gezien het feit dat sleephopperzuigers minder verstoring veroorzaken dan andere activiteiten, is het wellicht mogelijk activiteit specifieke verstoringafstanden te definiëren in de toekomst. Hiervoor is wel een aanvullende aanpak nodig zowel wetenschappelijk als ook beleidsmatig (draagvlak). Het is dan van belang aanvullend onderzoek te doen aan de populatie dynamica van de zeehonden op de plaat. Doordat er opeens veel vaker verstoring in de buurt van platen zijn, kunnen er nog wel effecten op de populatie zijn. Mogelijk vertrekken de verstoringsgevoelige dieren (Brasseur & Reijnders, 2001). Daarnaast zijn er ook correlaties dat het voortplantingssucces verminderd met meer verstoring in de omgeving. Deze mogelijke effecten dienen nog wel uitgezocht te worden voordat wordt overgegaan op.

### **12.8 Zeeuwse Banken**

De Zeeuwse Banken betreffen een gebied van grote banken voor de kust van Zeeland met toppen die tot de -10 rijken en dalen tot de -25m. Ze kwalificeren als een Gebied met Bijzondere Ecologische Waarden waarvoor geldt dat aanvullend onderzoek nodig is om deze status eventueel op te hogen naar N2000-gebied.

Intensieve zandwinning in dit gebied kan betekenen dat de specifieke kwaliteit van deze gebieden (het berglandschap en met name de hoog dynamische toppen) verloren gaan. In het MER 2013-2017 is gekozen om zoveel mogelijk ondiep te winnen en de wezenlijke kwaliteit (grootschalig structuur, dynamische en rustige habitats) zo min mogelijk te verstoren. Er is nader onderzoek nodig om te bepalen of het complex aan hoge banken en diepe troggen een aanvullende specifieke waarde heeft door

zijn grootschalige structuur aanvullend op de specifieke, meer zeldzame, dynamische habitats die nu zijn aangetroffen (zie ook Cleveringa e.a., 2012).

## **12.9 Rekolonisatie**

### *12.9.1 Zeeuwse Banken*

Voor het lopende rekolonisatie-onderzoek op de Zeeuwse Banken geldt dat op dit moment, zeker voor de gemeenschappen bemonsterd met de boxcore, nog niet een volledige rekolonisatie is vastgesteld. Om volledige rekolonisatie te kunnen vaststellen is vervolgonderzoek nodig waarbij het gebied nogmaals gemonsterd en geanalyseerd wordt. Dat kan 2013 (T2) zijn maar wellicht is het beter het rekolonisatie proces iets langer door te laten lopen en in 2014 te monstereen (T3).

### *12.9.2 Diepe winning*

Voor het vervolg bestaat ten aanzien van rekolonisatie vooral voor de diepe winning nog onzekerheid (Rozemeijer, 2009, Van Duin e.a., 2012a,b). Op dit moment loopt voor MV2 een rekolonisatie-onderzoek voor een -20 m onder maaiveld diepe winning. Dat levert kennis over de regio Hollandse Kustboog. Gezien de regionale verschillen in benthos is dit niet één op één door te vertalen naar andere gebieden. (zoals bijv de regio nabij de Waddeneilanden). Een mogelijkheid is om daar een aantal winningen in de NZKZ te verzamelen in één winput en daar een diepe rekolonisatie te volgen. Dit brengt echter weer langere vaarafstanden en andere effecten met zich mee. Daarnaast ligt een grootschalige winning nabij het wadengebied niet in de huidige lijn der verwachtingen.

### *12.9.3 Recruitement of breder populatiedynamica*

Vaak wordt het proces van rekolonisatie aangegrepen om recruitment te volgen. Recruitment is een zeer belangrijke stap in de populatiedynamiek van een benthische soort. Maar de populatie- en gemeenschapsdynamica en de rol van voedsel en conditie bij de stochastische processen die populatie- en gemeenschapsstructuur bepalen, zijn de grote vragen voor het vervolg. Dan lijkt het efficiënter om recruitment en populatie- en gemeenschapsdynamica aan een zeebodem met een volwaardige gemeenschap te doen (zie bv Reiss & Kröncke, 2005) in plaats van in een rekolonisatiesituatie.



### 13 Overzicht van alle MEP rapportages

- Arentz L., Harezlak V., van Kessel T., van der Kaay T. (2012). Kalibratie slibtransport- en GEM-model, Deltares rapport 1205620-000-ZKS-0014.
- Baptist M.J., Leopold M.F. (2007). De relatie tussen zichtdiepte en vangstsucces van de Grote Sterns van De Petten, Texel. IMARES Wageningen UR Rapport C097/07.
- Blok B. (2010). Meetvis Medusa metingen van februari en maart 2010. Deltares rapport 1201293-000
- Blok B. (2010). Meetvis Medusa metingen van september en december 2009. Deltares rapport 1201293-000.
- Blok B. (2013). Grain size distribution analysis of bottom samples. Deltares Memo, 21 March 2013.
- Blok B. (2012). Vector en LISST metingen met NIOZ-lander, datarapport. Deltares rapport 1204697-000.
- Blok B. (2010). Meetvis metingen van september en december 2009 en februari en maart 2010. Deltares rapport 1201293-000.
- Blok B., Arentz L. (2012). Bodemonster Analyse Egmond. Deltares rapport 1205620-000.
- Bouma S., Lengkeek W., van den Boogaard B. (2011). Aanwezigheid en gedrag van zeehonden op de Verklipperplaat, de Middelpaalt en de Hooge Platen. BuWa rapport 11-082.
- Bouma S., van den Boogaard (2010) Zeehonden en baggerschepen Maasvlakte 2. Ervaringen van PUMA medewerkers. BuWa rapport 10-208
- Bouma S., Lengkeek W., van den Boogaard B., Waardenburg H.W. (2010). Reageren zeehonden op de Razende Bol op langsvarende baggerschepen? Inclusief reacties op andere menselijke activiteiten. BuWa rapport 09-219.
- Cardoso J.F.M.F., Nieuwland G., Wijsman J., Witbaard R., Van der Veer H.W. (2011). Validation of a method for age determination in the razor clam *Ensis directus*, with a review on available data on growth, reproduction and physiology. NIOZ-Report 2011-9.
- De Mesel I., Craeymeersch J., de Vries P., van der Wal J.T., Schellekens T., Brummelhuis E. (2012). Trends in indicatoren van KRM-Zeebodintegriteit Impact van natuurlijke factoren en menselijk handelen: Analyse van schaal en methodiek. IMARES Wageningen UR Rapport C119/12.
- De Mesel I., Craeymeersch J., de Vries P., van der Wal J.T., Schellekens T., Brummelhuis E. (2012). BIJLAGEN Trends in indicatoren van KRM-Zeebodintegriteit Impact van natuurlijke factoren en menselijk handelen: Analyse van schaal en methodiek. Bijlagen IMARES Wageningen UR Rapport C119/12.
- De Mesel I., Craeymeersch J., de Vries P., van der Wal J.T., Schellekens T., Brummelhuis E. (2012). GeoPDF BIJLAGE Trends in indicatoren van KRM-Zeebodintegriteit Impact van natuurlijke factoren en menselijk handelen: Analyse van schaal en methodiek. Bijlagen IMARES Wageningen UR Rapport C119/12.
- De Mesel I., Craeymeersch J., Schellekens T., van Zweeden C., Wijsman J., Leopold M., Dijkman E., Cronin K. (2011). Kansencarten voor schelpdieren op basis van abiotiek en hun relatie tot het voorkomen van zwarte zee-eenden. IMARES Wageningen UR Rapport C042/11.
- De Mesel I., Craeymeersch J., Schellekens T., van Zweeden C., Wijsman J., Leopold M., Dijkman E., Cronin K. (2011). BIJLAGEN Kansencarten voor schelpdieren op basis van abiotiek en hun relatie tot het voorkomen van zwarte zee-eenden. IMARES Wageningen UR Rapport C042/11.
- De Vries S., Huizinga M., Koomans R.L. (2011). Monitoring van het slibgehalte in de toplaag van de zeebodem, september 2009 – maart 2010. Medusa rapport 2009-P-260-Evaluatie v3.
- De Vries S., Koomans R.L. (2010). Monitoring van het slibgehalte in de toplaag van de zeebodem 16, 17 februari 2010 Medusa Meetverslag 2009-P-206 20100930.
- De Vries S., Koomans R.L. (2010). Monitoring van het slibgehalte in de toplaag van de zeebodem 2 en 3 maart 2010 Medusa Meetverslag 2009-P-206 20100930.
- De Vries S., Koomans R.L. (2010). Monitoring van slibgehalte en bodemligging voor de kust van Petten/Egmond 14 t/m 17 september 2009 Medusa Meetverslag 2009-P-206 20100202.
- De Vries S., Koomans R.L. (2010). Monitoring van slibgehalte en bodemligging voor de kust van Petten-Egmond 8, 9 en 15 december 2009. Medusa Meetverslag 2009-P-206 20100930.

- De Vries S., Rooke W., Koomans R.L. (2013). Monitoring slib t.b.v. MEP winning suppletiezand Noordzee metingen 2012 en statistische analyse metingen 2009-2012. Medusa rapport 2012-P-391-v4 04/2013.
- Didderen K., Bouma S., Lengkeek W. (2011). Onderwater videobeelden van de zeebodem ten noorden van Ameland. Een test van een videoteknik als quick-scan methode om benthos te Inventariseren. BuWa rapport nr. 11-140.
- Didderen K., Bouma S., Lengkeek W. (2012). Reacties van zeehonden op baggerschepen. Suppletiewerkzaamheden bij Renesse. BuWa rapport 12-029.
- Didderen K., Bouma S., Lengkeek W. (2012). Reacties van zeehonden op menselijke activiteiten. Waarnemingen op de Hooge Platen en de Middelpaalt. BuWa rapport 12-006.
- Doornenbal P. (2012). Analyse slib - fijne fracties. Deltares rapport 1203776-000-BGS-0002.
- Doornenbal P., Marchand B. (2010). Analyse slib - fijne fracties. Deltares rapport 1203776-000-BGS-0002.
- Goudswaard K., Escaravage V. (2010). Vaarverslag bemonstering Zeeuwse Banken 2010 in week 44 met het vissersvaartuig BRA 7. IMARES Wageningen UR Vaarverslag 20101124.
- Goudswaard K., Escaravage V. (2011). Nota Zeeuwse Banken 2011-2012. IMARES Wageningen UR Voortgangsrapportage 2011.
- Goudswaard K., Escaravage V. (2011). Vaarverslag bemonstering van de Zeeuwse Banken 2011 in week 28/29 met het vissersvaartuig JADE - BRA 7 IMARES Wageningen UR Vaarverslag 2011.
- Goudswaard K., Escaravage V. (2012). Vaarverslag bemonstering van de Zeeuwse Banken 2012 in week 24 met het vissersvaartuig JADE - BRA 7. IMARES Wageningen UR NIOZ Verslag.
- Goudswaard K., Perdon J. (2009). Kwalitatieve bemonstering in de zandwinlocatie Hollandse Kust in 2009 Q13K en Q2D op de aanwezigheid van schelpdier voorkomens. IMARES Wageningen UR Rapport C053/09.
- Goudswaard P.C., Wijsman J.W.M., Escaravage V. (2012). Bemonstering van de macrofauna op de Zeeuwse Banken in 2010. Data Rapport. IMARES Wageningen UR Rapport C046/11.
- Goudswaard P.C., Escaravage V. (2010). Een kwalitatieve en kwantitatieve bemonstering van de Zeeuwse Banken in 2009 op de macrofauna gemeenschappen. IMARES Wageningen UR Rapport C120/09
- Goudswaard P.C., Perdon K.J. (2009). Kwalitatieve bemonstering in het zandwingebied Zeeland in 2009 S7W, SW) en S7X op de aanwezigheid van schelpdierbanken. IMARES Wageningen UR Rapport C031/09.
- Grasmeijer B.T. (2010). Effect of dredging on SPM concentrations in the North Sea. Set-up, validation and results of Delft3D model simulations. Alkyon report 4500150916.
- Grasmeijer B.T. (2010). Trends in SPM concentrations along the Dutch coast. Alkyon report A2518R1r2.
- Grasmeijer B.T., Eleveld, M.A. (2010). Evaluation of SPM measurements in the North Sea. Research in the framework of the EIA sand extraction North Sea 2008-2012. Alkyon Hydraulic Consultancy & Research and the Vrije Universiteit Amsterdam Report A2273.
- Harezlak V., van Rooijen A., Friocourt Y., van Kessel T., Los H. (2012a) Winning suppletiezand Noordzee. Scenariostudies m.b.t. slibtransport, nutriënttransport en primaire productie voor de periode 2013-2017. Deltares rapport 1204963-000-0040.
- Harezlak V., van Rooijen A., Friocourt Y., van Kessel T., Los H. (2012b) Winning suppletiezand voor herstel zwakke schakels Noord-Holland. Scenariostudies m.b.t. slibtransport, nutriënttransport en primaire productie voor de periode 2013-2014. Deltares rapport 1204963-000-0041.
- Huizenga M.W. (2010). Meten met Medusa Gammaspectrometer en het nemen van bodemhappen en steekbuizen op verschillende punten met doel de bodemopbouw te bekijken, 29, 30-10-2010. Medusa expeditieverslag 2009-P-206 20101101"
- Kabuta S. (2010). Verslag Bezoek Rostock Onderwatergeluid faciliteit op 22-06-2010. Rijkswaterstaat Waterdienst Verslag 05-07-2010.
- Kamermans P., Dedert M. (2012). Effect of variations in concentration of algae and silt on filtration and growth of the razor clam (*Ensis directus*, Conrad). IMARES Wageningen UR Report C017/12.

- Kamermaans P., Brummelhuis E., Wijsman J. (2011.) First pioneering laboratory experiments on filtration, respiration and growth of the razor clam (*Ensis directus*, Conrad). IMARES Wageningen UR Rapport C115/11.
- Keetels G., Harezlak V., van Kessel T., Friocourt Y., van Rooijen A., van der Kaaij T., Los H. (2012). Winning suppletiezand Noordzee 2013-2017. Validatierapport. Deltares rapport 1204963.
- Koomans R. L. (2010). Fingerprint analyse. Medusa meetrapport 2009-P-260 20101227.
- Koomans R.L., de Kok, J., de Ronde J., Rozemeijer M.J.C., Vries de K. (2012). Monitoring silt content in sediments off the Dutch Coast. In: NCK-days 2012 (Ed W.M.a.H. Kranenburg, E.M. and Wijnberg, K.M., eds.), pp. 157-160, Crossing borders in coastal research : jubilee conference proceedings. University of Twente, Department of Water Engineering & Management, Enschede, the Netherlands.
- Lengkeek, W., Bouma S., van den Boogaard B. (2010). Onderwater videobeelden van de Voordelta en de Zeeuwse banken. BuWa rapport nr. 10-036.
- Leopold M.F., van Bemmelen R., Perdon J.K., Poot M., Heunks C., Beuker D., Jonkvorst R.J., de Jong J. (2013). Zwarte Zee-eenden in de Noordzeekustzone: verspreiding en aantallen in relatie tot voedsel en verstoring. IMARES Wageningen UR rapport C023/13.
- Leopold M.F., Perdon J., Poot M.J.M., Heunks C., RJ Jonkvorst (2012). Vliegtuigsurveys Zwarte Zee-eenden Noordzeekustzone: na de winter. IMARES Wageningen UR Voortgangsrapport 28-06-2012.
- Leopold M.F., Poot M.J.M., Heunks C., Beuker D. (2011). Vliegtuigsurveys Zwarte Zee-eenden Noordzeekustzone mid-winter. IMARES Wageningen UR Voortgangsrapport 19-12-2011.
- Leopold M.F., Verdaat H., Spierenburg P., van Dijk J. (2010). Zee-eendenvoedsel op een recente zandsuppletie bij Noordwijk. IMARES Wageningen UR Rapport C021/10.
- Nedwell J.R., Brooker A.G., Bryant S.A.H., Gardner P.J., Lovell J. (2010). Controlled exposure tests to establish the effects of noise produced by Trailing Suction Hopper Dredgers on common seals. Subacoustech Report No. E234R0402.
- Paap B. (2011). Benthos kartering met behulp van side scan sonar voor de kust van Noordwijk. Deltares rapport 1203108-000
- Rooke W. (2010). Expeditieverslag Monitoring van het slibgehalte in de toplaag van de zeebodem, 02 03 2010. Medusa Expeditieverslag 2009-P-206 20100308.
- Rooke W. (2010). Expeditieverslag Monitoring van het slibgehalte in de toplaag van de zeebodem, 16 en 17 februari 2010. Medusa Expeditieverslag 2009-P-206 20100222.
- Rooke W. (2012). Slibmonitoring Noordzee veldverslag meting 08-08-2012. Medusa rapport 2012-P-391
- Rooke W. (2012). Slibmonitoring Noordzee veldverslag meting 08-10-2012 (4e meeting van 2012). Medusa rapport 2012-P-391.
- Rooke W. (2012). Slibmonitoring Noordzee veldverslag meting 10-01-2012. Medusa rapport 2012-P-391.
- Rooke W. (2012). Slibmonitoring Noordzee veldverslag meting 31-01-2012. Medusa rapport 2012-P-391.
- Rozemeijer M.J.C. (2009). Rekolonisatie van de zeebodem na zandwinning en suppletie: een review. Visie voor een onderzoeksplan als onderdeel van het MEP zandwinning RWS & LaMER. RWS-Waterdienst Memo NWOB/MJCR-2009.01.
- Rozemeijer M.J.C., de Kok J., de Ronde J.G., Kabuta S., Marx S., van Berkel. G. (2013). Het Monitoring en Evaluatie Programma Zandwinning RWS LaMER 2007 en 2008-2012: overzicht, resultaten en evaluatie. IMARES Wageningen UR rapport C181/13, Deltares rapport 1207903-000-ZKS-004.
- Rozemeijer M.J.C., Graafland M. (2007). Effecten van zandwinning 2007 op de Natura2000-gebieden Voordelta en Noordzeekustzone vanuit het perspectief van de natuurbeschermingswet. Bijlage bij brief van Rijkswaterstaat Noord-Holland d.d. 1 mei 2007, kenmerk WSV 2007/2642 aan Directie Regionale zaken van het Ministerie van LNV.
- Schellekens T., Witbaard R. (2012). DEB<sub>Ensis</sub> vs. Data. IMARES Wageningen UR Report number C155/12.
- Schellekens T. (2012). Groei en conditie van zwaardschede (*Ensis directus*, Conrad) voor, tijdens en na geplande zandwinning in 2013-2017; Berekeningen voor het HHNK. IMARES Wageningen UR Rapport C089/12.
- Schellekens T. (2012). Groei en conditie van zwaardschede (*Ensis directus*, Conrad) voor, tijdens en na geplande zandwinning in 2013-2017; Berekeningen voor het RWS. IMARES Wageningen UR Rapport C088/12.

- Talmon A.M. (2007). Meetrapport SiltProfilermetingen 22-24 mei 2007 voor de Noord-Hollandse kust. WL | Delft hydraulics rapport Z4426.
- Talmon A.M. (2008). Meetrapport SiltProfilermetingen Ms Spirit 17 september, 1 en 2 oktober 2007 voor de Noord-Hollandse kust. Deltares rapport Z4481.
- Talmon A.M. (2008). Meetrapport suspensiemetingen Ms. Zirfaea bij zandwinning 17, 18 en 19 september voor de Noord-Hollandse kust. Deltares rapport Z4521.
- van Didden K., Bouma S., Lengkeek W. (2011). Onderwater videobeelden van de zeebodem ten noorden van Ameland. Een test van een videoteknik als quick-scan methode om benthos te Inventariseren. BuWa rapport nr. 11-140.
- van Kessel, T., van Oeveren-Theeuwes M.C., van Rooijen A.A. (2012). Kalibratie slibtransportmodel voor de Hollandse kustzone aan de hand van cadmium-metingen. Eindrapport Fase 2. Deltares report 1203191-001.
- van Maren, B., Kuijper, K., Friocourt, Y., Caires, S. van Kessel, T (2009). Voortschrijdend OnderzoeksProgramma Slib, Rapportage 2008. Deltares Report Z773.00 January 2009.
- van Oeveren-Theeuwes M.C. (2011). Validation of the mud buffer model for mud transport in the North Sea coastal zone on the basis of long-term measurements of Cd. Deltares rapport 1203191-000.
- Wijsman J.W.M. (2011). Dynamic Energy Budget (DEB) parameters for *Ensis directus*. IMARES Wageningen UR Report C116/11.
- Wijsman J.W.M., Goudswaard P.C., Escaravage V., Wijnhoven S. (2013a). Bemonstering van de macrofauna op de Zeeuwse Banken in 2011. Data -rapport. IMARES Wageningen UR NIOZ Rapport C032/12.
- Wijsman J.W.M., Goudswaard P.C., Escaravage V., Wijnhoven S. (2013b). De macrobenthosgemeenschap van de Zeeuwse Banken na zandwinning. Een overzicht van drie TO jaren en een eerste jaar van rekolonisatie. IMARES Wageningen UR Rapport C164/13, NIOZ, Monitor Taskforce Publication Series 2013 – 17. Concept.
- Witbaard R. (2010). Expeditie verslag; najaars lander deployment RWS. NIOZ Rapportage LM-10485.
- Witbaard R. (2010). Verslag; Havenproef *Ensis* monitor en *Ensis* groei. NIOZ rapportage Zaak LM-10093.
- Witbaard R. (2010). Voorjaars lander deployment RWS. NIOZ Rapportage LM-10092.
- Witbaard R., G.C.A. Duineveld & M. Bergman (2011). Environmental monitoring off the coast of Egmond in 2010. NIOZ Report 2011-project 2624.
- Witbaard R., G.C.A. Duineveld & M. Bergman (2012). Progress report on the study into the dynamics and growth of *Ensis directus* in the near coastal zone off Egmond, in relation to environmental conditions in 2011. NIOZ report 2012-7.
- Witbaard R., G.C.A. Duineveld & M. Bergman (2013). The final report on the growth and dynamics of *Ensis directus* in the near coastal zone off Egmond, in relation to environmental conditions in 2011-2012. NIOZ report 2013-2.
- Witbaard R., Kamermans P. (2010). De bruikbaarheid van de klepstandmonitor op *Ensis directus* ten behoeve van de monitoring van aan zandwinning gerelateerde effecten. NIOZ rapport 2009-10.

## 14 Literatuur

- Aarninkhof S.G.J., Spearman J.R., de Heer A.F.M., van Koningsveld M. (2010). Dredging-induced turbidity in a natural context status and future perspective of the TASS program. WODCON conferentie, 09-2010 Shanghai.
- Ainslie M.A., de Jong C.A.F., Dol H.S., Blacquièrre G., Marasini C. (2009). Assessment of natural and anthropogenic sound sources and acoustic propagation in the North Sea. TNO report TNO-DV 2009 C085.
- Anonymous (2003). Literature review of effects of resuspended sediments due to dredging operations, Anchor Environmental C.A. L.P., One Park Plaza, Suite 600, Irvine, California 92614 USA.
- Armonies W., Reise K. (1999). On the population development of the introduced razor clam *Ensis americanus* near the island of Sylt (North Sea). *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 52: 291-300.
- Archambault M.-C, Bricelj V.M., Grant J., Anderson D.M. (2004). Effects of suspended and sedimented clays on juvenile hard clams, *Mercenaria mercenaria*, within the context of harmful algal bloom mitigation. *Marine Biology* 144: 553-565.
- Arentz L., Harezlak V., van Kessel T., van der Kaay T. (2012). Kalibratie slibtransport- en GEM-model, Deltares rapport 1205620-000-ZKS-0014.
- Baptist M.J., Leopold M.F. (2010). Prey capture success of Sandwich Terns *Sterna sandvicensis* varies non-linearly with water transparency. *Ibis* (2010), 152: 815-825.
- Bergman M., Duineveld G., van 't Hof P., Wielsma E. (2010). FINAL REPORT. Impact of OWEZ Wind farm on bivalve recruitment. Benthos Recruitment T1. NIOZ Rapport OWEZ\_R\_262\_T1\_20100910.
- Berkenbosch R.J., Meulepas G.J.M., Brouwer L., van Ledden M., Heinis F., Vertegaal C.T.M., van Zanten M., de Mars H. (2007) Milieueffectrapport Aanleg Maasvlakte 2. Hoofdrapport. Havenbedrijf Rotterdam N.V., Royal Haskoning 9R7008.A1/R011/MVZ/IBA/Rott1.
- Beukema J.J., Honkoop P.J.C., Dekker R. (1998). Recruitment in *Macoma balthica* after mild and cold winters and its possible control by egg production and shrimp predation. *Hydrobiologia* 375/376: 23-34.
- Bijkerk R. (1988). Ontsnappen of begraven blijven. De effecten op bodemdieren van een verhoogde sedimentatie als gevolg van baggerwerkzaamheden - Literatuuronderzoek. RDD Aquatic Ecosystems, Groningen.
- Blok B. (2010). Meetvis metingen van september en december 2009 en februari en maart 2010. Deltares rapport 1201293-000.
- Blok B. (2012). Vector en LISST metingen met NIOZ-lander, datarapport. Deltares rapport 1204697-000.
- Blok B. (2013). Grain size distribution analysis of bottom samples. Deltares Memo, 21 March 2013.
- Blok B., Arentz L. (2012). Bodemmonsteranalyse Egmond. Deltares rapport 1205620-000.
- Boon A. R., Gerrits G.W.R., van Ledden M., Meulepas J.M., de Vriend M.C. (2006a). MER winning suppletiezand Noordzee (2007). Achtergrondrapport, Royal Haskoning 29 september 2006.
- Boon A. R., Gerrits G.W.R., van Ledden M., Meulepas J.M., de Vriend M.C. (2006b). MER winning suppletiezand Noordzee (2007). Hoofdrapport, Royal Haskoning 29 september 2006.
- Brasseur S., Creuwels J., van der Werf B., Reijnders P.J.H. (1996). Deprivation indicates necessity for haul-out in harbour seals. *Mar. Mamm. Sci.* 12: 619-624.
- Brasseur S.M.J.M., Fedak M.F. (2003). Habitat use of harbour seals in relation to recreation, fisheries and large infra-structural works. In: CWSS (eds), Management of North Sea harbour and grey seal populations. Proceedings of the International Symposium at EcoMare, Texel, The Netherlands, November 29-30, 2002. Wadden Sea Ecosystem No. 17, 27-31. Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.
- Brasseur S.M.J.M., Reijnders P.J.H. (1994). Invloed van diverse verstoringsbronnen ophet gedrag en habitatgebruik van gewone zeehonden: consequenties voor deinrichting van het gebied. IBN-rapport 113. ISSN: 0928-6888.
- Brasseur S.M.J.M., Reijnders P.J.H. (2001). Zeehonden in de Oosterschelde, fase 2 Effecten van extra doorvaart door de Oliegeul. Alterra rapport 353, ISSN 1566-7197. Alterra Wageningen.
- Brinkman A.G. (2012). Zandwinning in de Nederlandse kustzone 2013-2017 en productie in de westelijke Waddenzee, een modelstudie. IMARES Wageningen UR rapport C087/12.

- Brenninkmeijer A., Douglas G., de Fouw J. (2002). Foerageergedrag van sterns in de westelijke Westerschelde in 2002, Altenburg en Wymenga, A&W-rapport 346.
- Brenninkmeijer A., Stienen E.W.M. (1994). Pilot study on the influence of feeding conditions at the North Sea on the breeding results of the Sandwich Tern *Sterna sandvicensis*. IBN Research Report, 94. Institute for Forestry and Nature Research (IBN-DLO): Wageningen. 51 pp.
- Brinkman A.G., Ens B.J., R. Kats (2003). Modelling the energy budget and prey choice of eider ducks. Alterra-rapport 839.
- Cardoso J.F.M.F. (2007). Growth and reproduction in bivalves: an energy budget approach. Dissertations University of Groningen ISBN: 9789036731393.
- Cardoso J.F.M.F., Nieuwland G., Wijsman J., Witbaard R., Van der Veer H.W. (2011). Validation of a method for age determination in the razor clam *Ensis directus*, with a review on available data on growth, reproduction and physiology. NIOZ-Report 2011-9: 33 pp.
- Cardoso J.F.M.F., Witte J.I.J., Van der Veer H.W. (2006). Intra- and interspecies comparison of energy flow in bivalve species in Dutch coastal waters by means of the Dynamic Energy Budget (DEB) theory. J. Sea Res. 56: 182–197.
- Cleveringa J., van Vliet F., Bergsma J.H., Jonkvorst R.J. (2012) Zandwinning op de Zeeuwse banken. Onderzoek naar effecten op ecologische en aardkundige waarden en kostenaspecten. BuWa rapport 11-180.
- Dankers P.J.T. (2002). The behaviour of fines released due to dredging. A literature review. Hydraulic Engineering Section, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology.
- Dannheim J., Rumohr H. (2012) The fate of an immigrant: *Ensis directus* in the eastern German Bight. Helgol Mar Res 66:307–317. DOI 10.1007/s10152-011-0271-2.
- De Mesel I., Craeymeersch J., de Vries P., van der Wal J.T., Schellekens T., Brummelhuis E. (2012a) Trends in indicatoren van KRM-Zeebodintegriteit Impact van natuurlijke factoren en menselijk handelen: Analyse van schaal en methodiek. IMARES Wageningen UR Rapport C119/12.
- De Mesel I., Craeymeersch J., de Vries P., van der Wal J.T., Schellekens T., Brummelhuis E. (2012b) BIJLAGEN Trends in indicatoren van KRM-Zeebodintegriteit Impact van natuurlijke factoren en menselijk handelen: Analyse van schaal en methodiek. Bijlagen IMARES Wageningen UR Rapport C119/12.
- De Mesel, I., Craeymeersch J., Schellekens T., van Zweeden C., Wijsman J., Leopold M., Dijkman E., Cronin K. (2011a) Kansencarten voor schelpdieren op basis van abiotiek en hun relatie tot het voorkomen van zwarte zee-eenden. IMARES Wageningen UR Rapport C042/11.
- De Mesel, I., Craeymeersch J., Schellekens T., van Zweeden C., Wijsman J., Leopold M., Dijkman E., Cronin K. (2011b) BIJLAGEN Kansencarten voor schelpdieren op basis van abiotiek en hun relatie tot het voorkomen van zwarte zee-eenden. IMARES Wageningen UR Rapport C042/11.
- De Ronde J.G. (2008) Toekomstige langjarige suppletiebehoefte. Deltares Rapport Z4582.24.
- De Roos A.M., Schellekens T., van Kooten T., van de Wolfshaar K.E., Claessen D., Persson L. (2007). Food-dependent growth leads to overcompensation in stage-specific biomass when mortality increases: the influence of maturation versus reproduction regulation. American Naturalist, 170, E59-E76.
- De Roos AM, Schellekens T., Van Kooten T., van de Wolfshaar K.E., Claessen D., Persson L. (2008). Simplifying a physiologically structured population model to a stage-structured biomass model. Theoretical population biology 73: 47-62.
- De Vries S., Huizinga M., Koomans R.L. (2012a). Slibmonitoring Noordzee, Evaluatie. Medusa rapport 2009-P-260.
- De Vries S., Rooke W., Koomans R.L. (2012b). Monitoring slib t. b.v. MEP winning suppletiezand Noordzee. Metingen 2012 en statistische analyse metingen 2009-2012. Medusa rapport 2012-P-391.
- de Vries S., Rooke W., Koomans R.L. (2013). Monitoring slib t.b.v. MEP winning suppletiezand Noordzee metingen 2012 en statistische analyse metingen 2009-2012. Medusa rapport 2012-P-391-v4 04/2013.

- Dekker R., Beukema J. J. (2012). Long-term dynamics and productivity of a successful invader: The first three decades of the bivalve *Ensis directus* in the western Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 71: 31-40.
- Dirksen S., Witte R.H., Leopold M.F. (2005). Nocturnal movements and flight altitudes of Common Scoters (*Melanitta nigra*): research north of Ameland and Terschelling, February 2004, for the baseline study Near Shore Windfarm; Bureau Waardenburg Report 05-062.
- Erdsack N., Hanke F. D., Dehnhardt G., Hanke W. (2012). Control and amount of heat dissipation through thermal windows in harbor seals (*Phoca vitulina*). *Journal of Thermal Biology* 37: 537–544.
- Frid C.I.J., Garwood P.R., Robinson L.A. (2009). The North Sea benthic system: a 36 year time-series *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*.89: 1-10.
- Gajewski L.S., Uscinowicz S. (1993). Hydrologic and Sedimentologic Aspects of Mining Aggregate from the Slupsk Bank (Baltic Sea). *Marine Georesources & Geotechnology* 11: 229-244.
- Goudswaard P. C., Escaravage V. (2010). Een kwalitatieve en kwantitatieve bemonstering van de Zeeuwse Banken in 2009 op macrofauna gemeenschappen. IMARES Wageningen UR Rapport C120/09.
- Goudswaard P. C., Kesteloo J.J., Perdon K.J., Jansen J. M. (2008). Mesheften (*Ensis directus*), halfgeknotte strandschelpen (*Spisula subtruncata*), kokkels (*Cerastoderma edule*) en otterschelpen (*Lutraria lutraria*) in de Nederlandse kustwateren in 2008. IMARES Wageningen UR Rapport C069/08.
- Goudswaard P.C., Perdon J. (2009a). Kwalitatieve bemonstering in het zandwingebied Zeeland in 2009 S7W, SW) en S7X op de aanwezigheid van schelpdierbanken. IMARES Wageningen UR Rapport C031/09.
- Goudswaard P.C., Perdon J. (2009b). Kwalitatieve bemonstering in de zandwinlocatie Hollandse Kust in 2009 Q13K en Q2D op de aanwezigheid van schelpdier voorkomens. IMARES Wageningen UR Rapport C053/09.
- Goudswaard P.C., Perdon K.J., Jol J., Hartog E., van Asch M., Troost K. (2012). Het Bestand aan Schelpdieren in de Nederlandse Kustwateren in 2012. IMARES Wageningen UR Rapport C085/12.
- Goudswaard P.C., Perdon K.J., Jol J., Kesteloo J.J., van Zweeden C., Troost K. (2011a). Schelpdieren in de Nederlandse kustwateren Bestandsopname 2011. IMARES Wageningen UR Rapport C094/11.
- Goudswaard P. C., Wijsman J. W. M., Escaravage V. (2012). Bemonstering van de macrofauna op de Zeeuwse Banken in 2010. Wageningen IMARES/NIOO-CEME, Rapport C046/11.
- Goudswaard P. C., Van Bemmelen R. S. A., Bos O. G. (2011b) Een verkenning naar de natuurwaarden van de Zeeuwse Banken. IMARES Wageningen UR Rapport: C061a/10.
- Goudswaard P.C., Perdon K.J., Kesteloo J.J., Jol J., van Zweeden C., Hartog E., Jansen J.M.J., Troost K. (2010). Schelpdieren in de Nederlandse kustwateren, een kwantitatieve en kwalitatieve bestandsopname in 2010. IMARES Wageningen UR Rapport C099/10.
- Goudswaard P.C., Perdon K.J., Kesteloo J.J., Jol J., van Zweeden C., Jansen J. M. (2009). Mesheften (*Ensis directus*), Strandschelpen (*Spisula subtruncata*), Kokkels (*Cerastoderma edule*), Mosselen (*Mytilus edulis*) en Otterschelpen (*Lutraria lutraria*) in de Nederlandse kustwateren in 2009. IMARES Wageningen UR Rapport C086/09.
- Graf G. (1992). Benthic pelagic coupling: a benthic review. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 30, 149-190.
- Grasmeijer B.T. (2010a). Effect of dredging on SPM concentrations in the North Sea. Alkyon rapport 4500150916.
- Grasmeijer B.T. (2010b). - Trends in SPM concentrations along the Dutch coast. Alkyon Rapport A2518.
- Grasmeijer B.T., Eleveld M.A. (2010). Evaluation of SPM measurements in the North Sea. Research in the framework of the EIA sand extraction North Sea 2008-2012. Alkyon Hydraulic Consultancy & Research and the Vrije Universiteit Amsterdam rapport A2273R2r1.
- Harezlak V., van Rooijen A., Friocourt Y., van Kessel T., Los H. (2012a). Winning suppletiezand Noordzee. Scenariostudies m.b.t. slibtransport, nutriënttransport en primaire productie voor de periode 2013-2017. Deltares rapport 1204963-000-0040.

- Harezlak V., van Rooijen A., Friocourt Y., van Kessel T., Los H. (2012b). Winning suppletiezand voor herstel zwakke schakels Noord-Holland. Scenariostudies m.b.t. slibtransport, nutriënttransport en primaire productie voor de periode 2013-2014. Deltares rapport 1204963-000-0041.
- Heath M.R. (2005). Changes in the structure and function of the North Sea fish foodweb, 1973-2000, and the impacts of fishing and climate. ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil 62: 847-868.
- Heinis F., de Jong C., M. Ainslie, Borst W., Vellinga T. (2013). Monitoring programme for the Maasvlakte 2, part III. The effects of underwater sound. Terra et Aqua 132: 21-32.
- Hitchcock D.R., Bell S. (2004). Physical impacts of marine aggregate dredging on seabed resources in coastal deposits. Journal of Coastal Research 201: 101-114.
- Hitchcock D.R., Drucker, B.R. (1996). Investigation of benthic and surface plumes associated with marine aggregates mining in the United Kingdom. The Global Ocean-Towards Operational Oceanography. Proceedings of the Oceanology International Conference 1996: 221-234.
- Houziaux J.-S., Craeymeersch J., Merckx B., Kerckhof F., Van Lancker V., Courtens W., Stienen E., Perdon J., Goudswaard P.C., Van Hoey G., Vigin L., Hostens K., Vincx M., Degraer S. (2011). 'EnSIS' - Ecosystem Sensitivity to Invasive Species. Final Report. Brussels : Belgian Science Policy 2011 - Research Programme Science for a Sustainable Development. 100 pp.
- Kaiser M.J., Galanidi M., Showler D.A., Elliott A.J., Caldow R.W.G., Rees E.I.S., Stillman R.A., Sutherland W.J. (2006). Distribution and behaviour of Common Scoter *Melanitta nigra* relative to prey resources and environmental parameters. Ibis 148: 110-128.
- Kamermans P., Dedert M. (2012). Effect of variations in concentration of algae and silt on filtration and growth of the razor clam (*Ensis directus*, Conrad). IMARES Wageningen UR Report C017/12.
- Kamermans P., Brummelhuis E., Wijsman J. (2011). First pioneering laboratory experiments on filtration, respiration and growth of the razor clam (*Ensis directus*, Conrad). Rapport C115/11
- Kastelein R.A., van der Heul S., Verboom W.C., Triesscheijn R., Jennings N.V. (2006). The influence of underwater data transmission sounds on the behaviour of harbour seals (*Phoca vitulina*) in a pool. Mar. Environ. Res. 61: 19-39.
- Kenny A. J., Skjoldal H. R., Engelhard G. H., Kershaw P. J., Reid J. B. (2009). An integrated approach for assessing the relative significance of human pressures and environmental forcing on the status of large marine ecosystems. Progress in Oceanography 81: 132-148.
- Kent C.S., McCauley R. D. (2006). Underwater noise assessment report, Port of Melbourne Channel Deepening Project, CMST Report 2006-19 Underwater Noise Impacts CDP Report 2006.
- Kirby R.R., Beaugrand G., Lindley J.A., Richardson A.J., Edwards M., Reid P.C. (2007). Climate effects and benthic-pelagic coupling in the North Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 330: 31-38.
- Koomans R.L., de Kok J.M., de Ronde J.G., Rozemeijer M.J.C., de Vries K. (2012). Monitoring silt content in sediments off the Dutch Coast. In: NCK-days 2012 (Ed W.M.a.H. Kranenburg, E.M. and Wijnberg, K.M., eds.), pp. 157-160, Crossing borders in coastal research : Jubilee Conference Proceedings. University of Twente, Department of Water Engineering & Management, Enschede, the Netherlands.
- Krijgsveld K.L., Smits R.R., van der Winden J. (2008). Verstoringsgevoeligheid van vogels Update literatuurstudie naar de reacties van vogels op recreatie. Bureau Waardenburg Rapport nr. 08-173.
- Kröncke I., Reiss H., Eggleton J.D., Aldridge J., Bergman M.J.N., Cochrane S., Craeymeersch J., Degraer S., Desroy N., Dewarumez J.-M., Duineveld G., Essink K., Hillewaert H., Lavaleye M.S.S., Moll A., Nehring S., Newell J., Oug E., Pohlmann T., Rachor E., Robertson M., Rumohr H., Schratzberger, M., Smith R., Vanden Berghe E., van Dalssen J., van Hoey G., Vincx M., Willems W., Rees H.L. (2011). Changes in North Sea macrofauna communities and species distribution between 1986 and 2000. Estuarine, Coastal and Shelf Science 94: 1-15.
- Kröncke I., Stoeck T., Wieking G., Palojarvi A. (2004). Relationship between structural and trophic aspects of microbial and macrofaunal communities in different areas of the North Sea. Marine Ecology Progress Series 282, 13-31.
- Kröncke I., Zeiss B., Rensing C., (2001). Long-term variability in macrofauna species composition off the island of Norderney (East Frisia, Germany) in relation to changes in climatic and environmental condition. Senckenbergiana Maritima 31, 65-82.



- Leopold M.F., Baptist M.J. (2007). De effecten van onderwaterzandsuppleties op het habitat van de Kustzee, *Spisula* en enkele beschermde soorten zeevogels. IMARES Wageningen UR Rapport C014/07.
- Leopold M.F., van Bemmelen R., Perdon J.K., Poot M., Heunks C., Beuker D., Jonkvorst R.J., de Jong J. (2013). Zwarte zee-eenden in de Noordzeekustzone: verspreiding en aantallen in relatie tot voedsel en verstoring. IMARES Wageningen UR Rapport C023/13.
- Leopold M.F., Verdaat H., Spierenburg P., van Dijk J. (2010). Zee-eendenvoedsel op een recente zandsuppletie bij Noordwijk, IMARES Wageningen UR Rapport C021/10.
- Lin J., Hines A.H. (1994). Effects of suspended food availability on the feeding mode and burial depth of the Baltic clam, *Macoma balthica*. *Oikos* 69: 28–36.
- Lindeboom H.J., Brinkman A.G., van Oostenbrugge H., Rijnsdorp A.D., Ruurdij P. (2007). Fosfaataddities om de visproductie te verhogen? Effecten van fosfatering, mogelijkheden voor onderzoek en kosten-batenanalyse. IMARES Wageningen UR Rapport C036/07.
- Lindeboom H.J., Dijkman E.M., Bos O.G., Meesters E.H., Cremer J.S.M., de Raad I., van Hal R., Bosma A. (2008). Ecologische Atlas Noordzee ten behoeve van gebiedsbescherming. IMARES Wageningen UR Den Burg. ISBN 978-90-7454-12-7. 289 pp.
- McGlade J.M. (2002). 12 The North Sea Large Marine Ecosystem. Large Marine Ecosystems of the North Atlantic. K. Sherman and H.R. Skjoldal (Editors), Published by Elsevier Science B.V. pp 339-412.
- Ministerie V&W (2010). Beleidsregels ontgrondingen in rijkswateren. 20 september 2010. Nr. VENW/BSK-2010/127556. Staatscourant 2010 nr. 14987.
- Nedwell J.R., Brooker A.G., Bryant S.A.H., Gardner P.J., Lovell J. (2010). Controlled exposure tests to establish the effects of noise produced by Trailing Suction Hopper Dredgers on common seals. Subacoustech Report No. E234R0402.
- Nedwell J.R., Parvin S.J. (2006). A summary report on subsea suction dredging noise and the prediction of impact ranges for marine mammals during the Maasvlakte 2 harbour development. 21 February 2006 Subacoustech Report No. 709R0103.
- Newell R.C., Seiderer L.J., Hitchcock D.R. (1998). The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the seabed. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 36: 127-178.
- Olafsson E.B., Peterson C.H., Ambrose W.G. Jr (1994). Does recruitment limitation structure populations and communities of macro-invertebrates in marine soft sediments. The relative significance of pre- and post-settlement processes. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* 32: 65-109.
- Palmer D.W. (2004). Growth of the razor clam *Ensis directus*, an alien species in the Wash on the east coast of England. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 84: 1075-1076.
- Philippart C.J.M., Anadon R., Danovaro R., Dippner J.W., Drinkwater K.F., Hawkins S.J., Oguz T., O'Sullivan G., Reid P.C. (2007a). Impacts of climate change on the European marine and coastal environment: ecosystems approach. ESF Marine Board Position Paper, 9. European Science Foundation, Marine Board: Strasbourg, France. ISBN 2-912049-63-6. 82 pp.
- Philippart C.M., Beukema J.J., Cadée G.C., Dekker R., Goedhart P.W., Van Iperen J.M., Leopold M.F., Herman P.M.J. (2007b). Impacts of nutrient reduction on coastal communities. *Ecosystems* 10: 95–118.
- Philippart C.J.M., Anadon R., Danovaro R., Dippner J.W., Drinkwater K.F., Hawkins S.J., Oguz T., O'Sullivan G., Reid P.C. (2011). Impacts of climate change on European marine ecosystems: Observations, expectations and indicators. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 400: 52-69.
- Pulfrich A. (1997). Seasonal variation in the occurrence of planktic bivalve larvae in the Schleswig-Holstein Wadden Sea. *Helgol Meeresunters* 51: 23–39.
- Rees H.I., Pendle M.A., Limpenny D.S., Mason C.E., Boyd S.E., Birchenough S., Vivian C.M.G. (2006). Benthic responses to organic enrichment and climatic events in the western North Sea *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 86: 1-18.
- Reijnders P.J.H. (1981). Threats to the harbour seal population in the Wadden Sea, in: Reijnders, P. et al. (Eds.). *Marine mammals of the Wadden Sea: final report of the section 'Marine Mammals' of the Wadden Sea Working Group. Reports of the Wadden Sea Working Group* 7: 38-47.

- Reiss H., Kröncke I.A. (2005). Seasonal variability of infaunal community structures in three areas of the North Sea under different environmental conditions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 65: 253-274.
- Rijnsdorp A.D., Peck M.A., Engelhard G.H., Möllmann C., Pinnegar J.K. (2009). Resolving the effect of climate change on fish populations. – *ICES Journal of Marine Science* 66: 1570–1583.
- Rozemeijer M.J.C. (2009) Rekolonisatie van de zeebodem na zandwinning en suppletie: een review. Visie voor een onderzoeksplanpak als onderdeel van het MEP zandwinning RWS & LaMER. Memo RWS-Waterdienst NWOB/MJCR-2009.01.
- Rozemeijer M.J.C. (2010) Aanvullende cumulatieparagraaf behorend bij de aanvraag voor de natuurbeschermingswet voor de zandwinning op de Noordzee ten behoeve van de kustsuppletie 2010. De cumulatie van slibstromen door zandwinning voor kustsuppleties: aanvulling loswallen en wijziging uitvoering Maasvlakte 2. Memo RWS-Waterdienst NWOB/MJCR-2010.01.
- Rozemeijer M.J.C., Smith S. (in prep.). Deskstudie naar de mogelijke effecten van sedimentatie bij overvloed door zandwinning. IMARES Wageningen UR Rapport in prep.
- Schellekens T. (2012a). Groei en conditie van zwaardschede (*Ensis directus*, Conrad) voor, tijdens en na geplande zandwinning in 2013-2017; Berekeningen voor het RWS. IMARES Wageningen UR Rapport C088/12.
- Schellekens T. (2012b). Groei en conditie van zwaardschede (*Ensis directus*, Conrad) voor, tijdens en na geplande zandwinning in 2013-2017; Berekeningen voor het HHNK. IMARES Wageningen UR Rapport C089/12.
- Schellekens T., Smaal A.C. (2012). BO Zuidwestelijke Delta: Nutriëntendynamiek en verandering van draagkracht. IMARES Wageningen UR Rapport C070/12.
- Schellekens T., Witbaard R. (2012). DEB<sub>Ensis</sub> vs. Data. IMARES Wageningen UR Rapport C155/12.
- Schückel U, Ehrich S., Kröncke I. (2010). Temporal variability of three different macrofauna communities in the northern North Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 89: 1-11.
- Spearman J., de Heer A., Aarninkhof S., van Koningsveld M. (2011) Validation of the Tass System for Predicting the Environmental Effects of Trailing Suction Hopper Dredgers. *Terra et Aqua* 125: 14-22.
- Stienen E.W.M., Brenninkmeijer A. (1994). Voedseleecologie van de grote sterns (*Sterna sandvicensis*): onderzoek ter ondersteuning van een populatie-dynamisch model. IBN-DLO, IBN-Rapport 120. 94 pp.
- Stienen E.W.M. (2006). Living with gulls: trading off food and predation in the Sandwich Tern *Sterna sandvicensis*. PhD Thesis Groningen. ISBN: 90-367-2481-3.
- Stienen E.W.M., Brenninkmeijer A., Geschiere C.E. (1993). De relatie tussen de foerageermogelijkheden van de grote stern *Sterna sandvicensis* en het doorzicht van het water, alsmede de invloed van kleptoparasitisme door de kokmeeuw *Larus ridibundus* op de visaanvoer en het broedsucces van de grote stern: voorlopige resultaten. IBN2DLO, DG2512.
- Strasser M. Guenther C.P. (2001). Larval supply of predator and prey: temporal mismatch between crabs and bivalves after a severe winter in the Wadden Sea. *Journal of sea research* 46: 57-67.
- Suijlen J.M., Duin R.N.M. (2001). Variability of near-surface total suspended matter concentrations in the Dutch coastal zone of the North Sea; Climatological study on the suspended matter concentrations in the North Sea. Rijkswaterstaat Report RIKZ/OS/2001.150X.
- Talmon A.M. (2007). Meetrapport Siltprofielmetingen 22-24 mei 2007 voor de Noord-Hollandse kust. WL | Delft hydraulics Rapport Z4426.
- Talmon A.M. (2008a). Meetrapport Siltprofielmetingen Ms Spirit 17 september, 1 en 2 oktober 2007 voor de Noord-Hollandse kust. Deltares Rapport Z4481.
- Talmon A.M. (2008b). Meetrapport suspensiemetingen Ms. Zirfaea bij zandwinning 17, 18 en 19 september voor de Noord-Hollandse kust. Deltares Rapport Z4521.
- Team Heijkoop (2011). Vissen in de natuur: Afspraken voor regulering en ontwikkeling van de visserij in de Natura 2000-gebieden Noordzeekustzone en Vlakte van de Raan. VIBEG accord. Ministerie van Economische Zaken, Landbouw & Innovatie.

- Troost T.A., Wijsman J.W.M., Saraiva S., Freitas V. (2010). Modeling shellfish growth with Dynamic Energy budget (DEB) models: an application for cockles and mussels in the Oosterschelde (SW Netherlands). *Phil. Trans. R. Soc. B* 365, 3567–3577.
- Troost K., van Asch M., Baeye M., Brummelhuis E., Davaasuren N., van den Ende D., Van Lancker V. (2013). KBWOT 2012: the use of an acoustic technique in mapping beds of razor clams (*Ensis* sp.). CVO report: CVO report 13.001.
- Tulp I., Craeymeersch J., Leopold M., van Damme C., Fey F., Verdaat H. (2010). The role of the invasive bivalve *Ensis directus* as food source for fish and birds in the Dutch coastal zone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* doi:10.1016/j.ecss.2010.07.008.
- van Dalfts J.A., Essink K. (2001). Benthic community response to sand dredging and shoreface nourishment in Dutch coastal waters. *Senckenbergiana maritima* 31: 329-332.
- Van de Wolfshaar K.E., HilleRisLambers R., Gårdmark A. (2011). Effect of habitat productivity and exploitation on populations with complex life cycles. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 438: 175–184.
- van Denderen P.D., van Kooten T., Rijnsdorp A.D. (2013). When does fishing lead to more fish? Community consequences of bottom trawl fisheries in demersal food webs. *Proc. R. Soc. B* 280: 20131883. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.1883>.
- Van der Meer J. (1997). A handful of feathers. Thesis, Groningen State University.
- Van der Veer H.W., Cardoso J.F.M.F., van der Meer J. (2006) The estimation of DEB parameters for various Northeast Atlantic bivalve species. *Journal of Sea Research* 56: 107-124
- van Duin C.F., Gotjé W., Jaspers C.J., Kreft M. (2007). MER Winning suppletiezand Noordzee 2008 t/m 2012. Grontmij 13/99080995/CD, revisie D1.
- van Duin C.F., Gotjé W., Jaspers C.J., Kreft M. (2008). MER winning ophoogzand Noordzee 2008 t/m 2017. Grontmij 13/99083239/CD.
- Van Duin C.F., Vrij Peerdeman M., Jaspers C.J., Bucholc A.M., Wessels S.C., Roodzand S.J. (2012a) MER winning suppletiezand Noordzee 2013 t/m 2017. Grontmij GM-0052992 revisie D1.
- Van Duin C.F., Vrij Peerdeman M., Jaspers C.J., Bucholc A.M. (2012b) MER zandwinning Zwakke Schakels Noord. Hoofdpapport. Definitief. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Grontmij 311131, GM-007152 D1.
- Van Hoey G., Degraer S., Vincx M. (2004). Macrobenthic community structure of soft-bottom sediments at the Belgian Continental Shelf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59: 599-613.
- Van Hoey G., Vincx M., Degraer S. (2007). Temporal variability in the *Abra alba* community determined by global and local events. *Journal of Sea Research* 58: 144-155.
- Van Kessel T., van Oeveren-Theeuwes M.C., van Rooijen A.A. (2012) Kalibratieslibtransportmodel voor de Hollandse kustzone aan de hand van cadmium-metingen. Eindrapport Fase 2. Deltares Rapport 1203191-001.
- Van Oeveren-Theeuwes M.C. (2011) Validation of the mud buffer model for mud transport in the North Sea coastal zone on the basis of long-term measurements of Cd. Deltares Rapport 1203191-000.
- Vanaverbeke J., Braeckman U., Cuveliers E., Courtens W., Huyse T., Lacroix G., Larmuseau M.H.D., Maes G., Provoost P., Rabaut M., Remerie T., Savina M., Soetaert K., Stienen E.W.M., Verstraete H., Volckaert F., Vincx M. (2009) Understanding benthic, pelagic and airborne ecosystem interactions in shallow coastal seas "WESTBANKS" Brussels : Belgian Science Policy 2009 - 46 p. (Research Programme Science for a Sustainable Development: Final Report Phase 1).
- Weijerman M., Lindeboom H., Zuur A.F. (2005). Regime shifts of the marine ecosystems of the North Sea and Wadden Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 298: 21-39.
- Wieking G., Kröncke I. (2003). Macrofauna communities of the Dogger Bank (central North Sea) in the late 1990s: spatial distribution, species composition and trophic structure. *Helgoland Marine Research* 57: 34-46.
- Wieking K., Kröncke I. (2003). Abundance and growth of the sea urchin *Echinocardium cordatum* in the central North Sea in the late 80s and 90s. *Senckenbergiana Maritima* 32 113-124.
- Wijsman J., Goudswaard P.C., Escaravage V. (2013a). Bemonstering van de macrofauna op de Zeeuwse Banken in 2011. Data -rapport. Wageningen IMARES/NIOO-CEME Rapport C032/12.
- Wijsman J.W.M., P.C. Goudswaard, en V. Escaravage (2013b) De macrobenthosgemeenschap van de Zeeuwse Banken na zandwinning. Een overzicht van drie TO jaren en een eerste jaar van

- rekolonisatie. IMARES Wageningen UR Rapport C164/13, NIOZ, Monitor Taskforce Publication Series 2013 – 17. Concept.
- Wijzman J., Dedert M., Schellekens T., Teal L., van Kruchten Y. (2012). Adaptive Monitoring Strategies in dredging; Case Study Mussels – Modeling the effect of dredging on filter-feeding bivalves. IMARES Wageningen UR Report C123/12.
- Wijzman J.W.M. (2011) Dynamic Energy Budget (DEB) parameters for *Ensis directus*. IMARES Wageningen UR Report C116/11.
- Witbaard R. (2010). Expeditie verslag; najaars lander deployment RWS. NIOZ Rapportage LM-10485.
- Witbaard R. (2010). Verslag; Havenproef Ensis monitor en Ensis groei. NIOZ Rapportage Zaak LM-10093.
- Witbaard R. (2010). Voorjaars lander deployment RWS. NIOZ Rapportage LM-10092.
- Witbaard R., Duineveld G.C.A., Bergman M. (2011a). Environmental monitoring off the coast of Egmond in 2010. NIOZ Report 2011-project 2624.
- Witbaard R., Duineveld G.C.A., Bergman M. (2011b). RWS lander deployment 2010. Report on environmental monitoring off the coast of Egmond in the year 2010. NIOZ Report 2011-project 2735.
- Witbaard R., Duineveld G.C.A., Bergman M. (2012). Progress report on the study into the dynamics and growth of *Ensis directus* in the near coastal zone off Egmond, in relation to environmental conditions in 2011. NIOZ Report 2012-7.
- Witbaard R., G.C.A. Duineveld & M. Bergman (2013). The final report on the growth and dynamics of *Ensis directus* in the near coastal zone off Egmond, in relation to environmental conditions in 2011-2012. NIOZ report 2013-2.
- Witbaard R., Duineveld G.C.A., Bergman M. (2011) RWS lander deployment 2010. Report on environmental monitoring off the coast of Egmond in the year 2010. NIOZ Rapport 2011-project 2735.
- Witbaard R., Franken R., Visser B. (1997). Growth of juvenile *Arctica islandica* under experimental conditions. Helgoländer Meeresuntersuchungen 51, 417-431.
- Witbaard R., Kamermans P. (2010). De bruikbaarheid van de klepstandmonitor op *Ensis directus* ten behoeve van de monitoring van aan zandwinning gerelateerde effecten. NIOZ Rapport 2009-10.

## Bijlage A. Aanpak onderzoek Impact van slib en algen op benthos

In dit stuk worden stapsgewijs de keuzes gerechtvaardigd die ten grondslag liggen aan het onderzoek gericht op de impact van slib en algen op benthos. Zoals eerder vermeld is er behoefte aan meer inzicht in de relatie tussen primaire productie, de impact van verandering in lichtklimaat door slib en de groei van benthos. Daarvoor is gekozen (binnen de financiële en tijdsgebonden randvoorwaarde) voor een benadering van het intensief volgen en grondig beschrijven van het groeiproces gecombineerd met abiotiek op één locatie.<sup>17</sup> Modellen zijn daarbij gebruikt om een meting op een punt in een breder verband te kunnen plaatsen. Het grondig beschrijven van groei en abiotiek in het veld is als basis gebruikt.

### Veldmetingen aan groei en (a)biotiek

Veldmetingen zijn gekozen als uitgangspunt omdat zij het meest ongestoorde beeld geven en staan waar het omdraait: de groei in het veld. Veldmetingen aan groei en (a)biotiek zijn daarmee de basis. Deze combinatie van data biedt de kans om statische relaties te leggen tussen groei van *Ensis* en abiotiek. Deze statistische relaties kunnen ook gebruikt worden om de effecten van meer slib en minder algen te schatten. De veldmetingen geven ook een langdurige hoogfrequente tijdsreeks van algen en slib op een locatie waar de Rofi<sup>18</sup> en kusttrivier het best gedefinieerd is; basis informatie.

Laboratorium of mesocosm-proeven aan effecten van slib zijn moeilijk te realiseren. Er is al veel gedaan aan de effecten van slib op groei (Anonymous, 2003). In de meeste gevallen gaat het om proeven met extra hoge doseringen gedurende korte en middellange termijn, wat niet representatief voor deze activiteit. Het gaat bij zandwinning van RWS of LaMER namelijk om langdurige, zeer kleine verhogingen (Van Duin e.a. 2007, 2008). Resultaten zoals gepresenteerd in Anonymous (2003) zijn niet direct 1:1 vertaalbaar. De tijdsreeks aan groei gemonitord volgens DEB variabelen geeft ook basis materiaal voor het kalibreren dan wel valideren van het DEB model. In hindsight, aan de hand van de latere resultaten is besloten dat het DEB model voldoende gekalibreerd was met de Waddenzee- en laboratoriumdata en is deze Noordzee veld-data set gebruikt voor de validatie (Schellekens en Witbaard e.a., 2012).

### Modelkeuze

Qua modellen zijn er dan meerdere mogelijkheden zoals bijvoorbeeld de ruimtelijk modellen Delft3D aanpak, ERSEM, EcoWASP, Osmose, meer conceptuele benaderingen waarin vooral interacties en processen worden onderzocht (Structured Biomass Community modelling) (Schellekens & Smaal, 2012, De Roos e.a., 2007, 2008) of fysiologische groeimodellen als Dynamic Energy Budget modelling (DEB). Het voordeel van de ruimtelijke modellen is het ruimtelijke beeld en de integratie over tijd. Het nadeel is dat het slechts eerste benaderingen zijn die de werkelijkheid redelijk benaderen maar uiteindelijk toch benaderingen zijn met alle manco's van dien. Zie bijvoorbeeld de uitgebreide foutendiscussie in Harzelak e.a. (2012a,b) en Brinkman (2012). De transportprocessen zijn grootschalig met veel variatie en dynamiek in tijd en ruimte waar de metingen schaars en dun bezaaid zijn in tijd en ruimte: ontoereikend. Ook de ecologie kent een grote variabiliteit in de ruimte en tijd. Een ruimtelijk model aanpak moet dan vaak schipperen met de realiteit om toch tot een acceptabel beeld te komen (zie bijvoorbeeld het fytoplankton gedeelte in Arends e.a., 2012). Voor conceptuele modellen is eerst basis informatie nodig over *Ensis* die juist gegenereerd gaat worden. Het DEB model biedt eigenlijk een mooie volledige ingang die ook voor alle andere modellen gebruikt kan worden. Ten eerste kan het onafhankelijk gecreëerd worden met zowel bestaande data (vooral Waddenzee) en de nieuw te genereren data. Vervolgens is het DEB model inzetbaar om met veldgegevens aan fytoplankton, slib en temperatuur de gemeten groei van *Ensis* in het veld na te rekenen (zie bv Schellekens en Witbaard e.a., 2012). Vervolgens kan eventueel

---

<sup>17</sup> Hierbij was bekend dat het programma voor de Maasvlakte2 zich zou richten op de grootschalige verspreiding van slib, de effecten van slib op de benthosgemeenschap en de effecten van de verandering van de timing van de algenbloei op bivalven larven (pre- en post-settlement).

<sup>18</sup> Region of Freshwater influence.

een eerste effectschatting gemaakt worden door bijvoorbeeld de gemeten waardes van slib (van de lander) structureel te verhogen met 3-5% en van Chl-a structureel te verlagen met 2-3%. Hier mee kan het probleem van stapeling van fouten door modellen aan elkaar te koppelen worden voorkomen. Daarnaast kan het DEB model gekoppeld dan wel geïntegreerd worden in de ruimtelijke en conceptuele modellen (Troost e.a., 2010, Schellekens, 2012a,b, Wijsman e.a., 2012)

Naast de langdurige respons van groei is het ook relevant te weten wat de directe respons is van *Ensis* op structureel kleine veranderingen. Dit zou een verklarende factor kunnen zijn in de groei van *Ensis*. Hiertoe is een bestaande klepstandmonitor voor mosselen aangepast voor *Ensis* waardoor de directe respons van *Ensis* op veranderende omstandigheden geobserveerd kan worden. Ten tweede geeft het de mogelijkheid de klepstandrespons van een gevoeliger dier als de mossel te vergelijken met een ongevoeliger dier (*Ensis*) wat een genuanceerder beeld geeft voor besluitvorming.

Uiteindelijk is het DEB<sub>Ensis</sub> model succesvol toegepast voor de MERren Zandwinning RWS en HHNK (Schellekens, 2012a,b) waar het door in de beoordeling van de Commissie MER wordt aangehaald als het bewijs dat de zandwinningen van RWS en HHNK geen effect hebben.

### **Keuze *Ensis directus***

Als systeemindicator is *Ensis directus* gekozen. Dit is een invasieve soort (Armonies & Reise, 1999) die een eigen niche gevonden heeft in de Nederlandse en Duitse Waddenzee en de Belgische kustzone en Duitse Bocht (Goudswaard e.a. 2011a, Houziaux e.a. 2011, Dekker & Beukema, 2012, Dannheim & Rumohr, 2012). In de Nederlandse kustzone vertegenwoordigt deze soort de voornaamste schelpdiersoort in biomassa en aantallen. In 2011 bijvoorbeeld vertegenwoordigde *Ensis* ~ 90% van de schelpdierbiomassa (Goudswaard e.a. 2011). Daarnaast is *Ensis* op dit moment één van de belangrijkste voedselbronnen voor demersale vis (Tulp e.a., 2010) en de belangrijkste bron van voedsel voor de zwarte zee-eend (Leopold e.a. 2010, 2013, Tulp e.a., 2010, De Mesel e.a. 2011).

### ***Ensis* in een veranderd systeem**

De *Ensis* invasie en dominantie kan een indicatie zijn voor veranderende omstandigheden in de kustzone. Ook het verdwijnen van *Spisula* kan wellicht gezien worden als een marker van veranderingen in de abiotiek (Van Hoey et al., 2007). De kustzone behoort tot het grotere Noordzeesysteem. In dat Noordzee systeem kenmerkt het Nederlandse Kustzone (en de Zuidelijke Bocht) zich als een deelsysteem gereguleerd door saliniteit, nutriënten en fysische energie door stromingen en golven (Kenny e.a., 2009). Eigenlijk is de Noordzee continu aan het veranderen door allerlei cyclische bewegingen, een meer permanente driver als klimaatverandering en menselijke ingrepen, zowel als totaalsysteem als ook in de Kustzone (zie bijvoorbeeld Weijerman e.a., 2005, Kenny e.a., 2009). Door de Noord Atlantische Oscillatie (NAO) komen steeds fluctuerende hoeveelheden Noord Atlantische water in de Noordzee wat leidt tot veranderende temperaturen en veranderingen in het systeem zoals bijvoorbeeld steviger frontvorming tussen watermassa's (Kenny e.a., 2009, Kröncke e.a. 2011). Veranderingen in saliniteit, temperatuur, windsterkte en -richting NAO en energie-input van de zon spelen een grote rol in de correlatie met regime-shift zoals berekend door Weijerman e.a. (2005). Ook veranderingen in visserijdruk lijken een belangrijke rol te spelen in de toestand van het Noordzeesysteem (Kenny e.a., 2009). Lokaal, Kustzone, speelt ook de verandering in nutriënten een rol voor Kustzone en Waddenzee (Lindeboom e.a., 2005, Phillipart e.a., 2007a,b, 2011). Klimaatverandering speelt ook in rol waarop grenzen van soortcomplexen verschuiven (zuidelijke en noordelijke soortcomplexen schuiven noordwaarts, Rijnsdorp e.a., 2009) en ook trofische verhoudingen kunnen verschuiven (Kirby e.a. 2007).

In de Kustzone zien we dat vanaf 2002 *Ensis* het voornaamste schelpdier wordt in plaats *Spisula* (Goudswaard e.a., 2012, Tulp e.a. 2010, De Mesel e.a., 2010, 2012). *Ensis* vult de niche schelpdierbank met meer biomassa dan *Spisula* deed. De verandering kan van betekenis zijn op Kustsysteemniveau. Witbaard & Kamermans (2010) schatten dat de totale biomassa van *Ensis* in staat is om orde grootte 25% van de primaire productie te consumeren; een dermate hoog getal dat men implicaties voor andere soorten kan vermoeden. *Ensis* is ook in staat om extra slib in de omringende sedimenten te brengen

(Armonies & Reise, 1999). Ook hier schatten Witbaard & Kamermans (2010) dat orde grootte 20-25% van het jaarlijks slibbudget (van de zone tot ca 15 km uit de kust) de kieuwen van de *Ensis* populatie passeert. De verandering van *Spisula* naar *Ensis* kan daarmee ook een significante verandering in de slibhuishouding betekenen, vooral 's zomers. *Ensis* is wel een belangrijke voedselbron voor demersale vis (20-100%) en vogels als zwarte zee-eenden en eiders al lijkt het erop dat met name de kleine *Ensis* beschikbaar is en niet de grotere (Tulp e.a., 2010). Dat geldt zeker voor zwarte zee-eenden (De Mesel e.a. 2010, Leopold e.a., 2010, 2013). Het zou kunnen betekenen dat slechts een deel van de enorme biomassa aan *Ensis* beschikbaar is waar *Spisula* meer beschikbaar was (en daarmee energiestromen tussen trofisch lagen).

Over de oorzaak van het verdwijnen van *Spisula* bestaan enige theorieën. Aan de ene kant is er de theorie dat *Ensis* *Spisula* heeft verdrongen (J. de Vlas, pers. comm.). De HGKen voor beide soorten laten een grote overlap zien en de opkomst van *Ensis* valt wel erg goed samen met de afname van *Spisula* (Goudswaard e.a., 2009, De Mesel e.a., 2010, 2012). Aan de andere kant wordt ook een koppeling gemaakt tussen de dynamiek van *Spisula* en gemeenschapsveranderingen met grootschalige variaties in slib en temperatuur (Van Hoey e.a., 2007). Meer onderzoek is nodig om te achterhalen wat oorzaken zijn van de overgang van *Spisula* naar *Ensis*.

**Bijlage B. Waarderingstabellen van de quick-scanmethodes**



Tabel 11 Waardering van de toegepaste videotechneek op specifieke aspecten. De waardering is uitgedrukt op een schaal van 1-3 (1 = lage waardering; 2 = neutraal of voor- én nadelen); 3 = hoge waardering). Deze tabel kan een gedetailleerde vergelijking met andere onderzoekstechnieken faciliteren. Kosten zijn gebaseerd op tarieven van 2010.

	Camera			Sidescansonar			Medusa		
	Specificatie	Waardering	Opmerkingen / uitleg	Specificatie	Waardering	Opmerkingen / uitleg	Specificatie	Waardering	Opmerkingen / uitleg
<b>Kosten</b>									
Uitvoering per dag (inclusief vaartuig)	Ca € 3000	3	Manuren + boot	€ 1550 plus meetschip (€ 2000 inshore tot € 25.000 offshore).	2		Ca. € 2.500 per dag (2 personen, apparatuur, en RTKGPS: excl schip)	3	
Materiaal verwerking per velddag	Ca € 500	3	Geen labwerk, slechts video-inspectie en registratie	€ 5000	2	Uitwerk tijd neemt af bij grotere dataset	ca. 2-3 dagen	3	
<b>Omstandigheden</b>									
Afhankelijkheid wind	Max 0,5-1 m golven	1	Hoge golven zorgt voor slechte beeldkwaliteit	Indien windkracht tot 5 (afhankelijk golfhoogte) en de waterdiepte > 15 meter is kan er gemeten worden.	2		Meting zelf is wind-onafhankelijk. Schip en varen is beperkende factor.	3	
Afhankelijkheid zicht	20 cm doorzicht is al genoeg	3		Niet afhankelijk van doorzicht	3		Niet afhankelijk van doorzicht	3	
Afhankelijkheid substraat type	Alle substraat typen mogelijk	3		Alle substraat typen mogelijk	3		n.v.t.	3	
Afhankelijkheid diepte	Alle dieptes op de Noordzee liggen binnen het bereik	3		Tot 100 m geen probleem.	3		ca. 200 meter waterdiepte, afhankelijk van kabellengte	3	
<b>Inzet mensen en materiaal</b>									
Aantal mensen	3	3	Onderzoek: 2 man, derde man schipper en veiligheid	1	3		2	3	
Type schip	RIB (7m)	3	Snelheid groot voordeel	Moet afgestemd zijn op nautische omstandigheden, kan vanaf klein schip.	3		Zeewaardig en enige dekruimte	2	

Beschikbaarheid apparatuur	Altijd beschikbaar	3	Relatief eenvoudige apparatuur	Afhankelijk van overige projecten, maar vooral van planning.	2		Relatief eenvoudig inzetbaar	3	
<b>Milieuaspecten</b>									
Brandstof verbruik per dag	40-100 liter	3	Afhankelijk van verspreiding monsterpunten	Afhankelijk van meetschip.	3 <sup>1</sup>	Apparatuur voegt nauwelijks drag toe aan meetschip. De metingen kunnen ook gecombineerd worden met andere surveys. Het zou ook op een zeilboot kunnen.	Afhankelijk van schip	3	
<b>Wetenschappelijke waarde</b>									
Kwantitatief		2	Dichtheid van dieren op het sediment goed, onder het sediment redelijk	Afhankelijk van type benthos.	2	Voor kolonies werkt dit goed, voor individuen is dit complex	Schaalbaar indicatie over hoeveelheden	1	
Kwalitatief		2	Soorten onder het sediment minder goed te determineren	Als het geen informatie geeft over benthos kan de meting in ieder geval gebruikt worden om de 'mariene habitat' te bepalen en om te kijken in hoeverre de klassieke punt waarnemingen evenredig verdeeld zijn over de diverse typen morfologie.	3		Doordat tijdens meting tevens informatie over de sediment-samenstelling wordt verzameld geeft dit meerwaarde op de kwalitatieve analyses van de aanwezige bodemfauna.	1	
Soorten in het sediment		1	Soorten determineren moeilijk	De sidescan sonar kijkt naar zeebodem oppervlak,	1	Verder onderzoek is noodzakelijk	Nee	1	

				niet er onder, verstoring van oppervlak tgv bv bioturbatie is een mogelijkheid om 'dieper' te kunnen kijken.		om de potentie voor deze soorten verder in kaart te brengen. Een combinatie van andere geofysische technieken is een optie.			
Soorten op het sediment		3	Soortherkenning goedmogelijk	Hiervoor is de methode goed toepasbaar. Het is wel afhankelijk van de omvang en concentratie van benthos.	3		Geen onderscheid in soorten m.u.v. grote ruwheidsverschillen (bijv. oesters)	1	
Mobiele soorten		3	Ook mobiele soorten worden waargenomen	Dit zou kunnen maar is nog niet onderzocht. Er zijn wel ideeën om dit te doen.	2		Nee	1	
Duur bestaande meetreeks	Geen	1	Geen	Zijn nog geen herhalingsmetingen mee gedaan. De techniek is goed geschikt voor herhalings-metingen.	2	Herhalingsmeting en zijn nog niet gedaan, althans de beschikbare data is niet op deze manier uitgewerkt. Er zijn echter wel grote datasets die zicht hiervoor lenen (bv bij de marine).	Nee	1	
Verder analyse mogelijkheden		3	Videobeelden blijven bewaard voor latere onderzoeksvragen	Metingen kunnen voor verschillende toepassingen worden gebruikt, de	3	De metingen geven ook waardevolle	Nee	1	

				techniek is nog niet volledig 'uitgeput'.		informatie over de plaatsing van punt waarnemingen (bv happen). Hiermee kunnen haplokaties representatief verdeeld worden over de waargenomen mariene habitats.			
<b>Noodzaak aanvullende metingen</b>	Ja <sup>1</sup>	2	Indien soortenspectrum endofauna belangrijk is (zie aanbevelingen)	Ja <sup>1</sup>	1 <sup>1</sup>		Ja <sup>1</sup>	1	
<b>Rendement</b>									
Aantal locaties per dag	Bodemtraject van ca 6000m	3	Leverd vlakdekkende film op dit traject				ca. 10 km/uur	3	
Bemonsterd oppervlakte zeebodem per dag	Ca 2000 m <sup>2</sup>	3					1 meting per seconde	3	
Aanvullende kennis gegenereerd (verklarende factoren)	Veel informatie over substraat eigenschappen, ander zeeleven	3	Veel informatie over substraat eigenschappen, ander zeeleven				Raaimeting	3 <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> : Aangepast dan wel ingevuld door het schrijvend team.									

## Bijlage C. Kwaliteitsborging en Verantwoording

### Kwaliteitsborging


IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 124296-2012-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2015. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Vis over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 1 april 2017 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

### Verantwoording

IMARES Wageningen UR rapport C181/13, Deltares rapport 1207903-000-ZKS-004.  
Projectnummer: 430.25039.01, 430.25053.01

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker van IMARES en Deltares en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

Akkoord: T. Schellekens  
Onderzoeker IMARES

Handtekening: 

Datum: 20-12-2013

Akkoord: L.A. van Duren  
Senior onderzoeker Deltares

Handtekening:



Datum: 20-12-2013

Akkoord: J. Schobben  
Afdelingshoofd Vis IMARES

Handtekening: 

Datum: 23-12-2013